

[Annales des ponts et
chaussées. 1ère partie.
Mémoires et documents
relatifs à l'art des
constructions et au service
de [...]

. [Annales des ponts et chaussées. 1ère partie. Mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur]. 1908.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter utilisation.commerciale@bnf.fr.

ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

1^{re} PARTIE



MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

78^e ANNÉE

8^e SÉRIE. — TOME XXXI

1908 — I

PARIS

E. BERNARD, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

1, Rue de Médicis,

Ecole nationale des Ponts et 8
Annales de l'Ecole 31
1908



612594

TABLE DES MATIÈRES

PAR ORDRE D'INSERTION

NUMÉROS des articles	INDICATION DES MATIÈRES	NUMÉROS	
		des pages	des planches
MÉMOIRES ET DOCUMENTS			
1	Le réservoir de la Vingeanne, par M. Jacquinet, Ingénieur des Ponts et Chaussées	5	1 et 2
2	Los lignes de Montagne de l'Oberland-Bernois. Extrait d'un rapport de mission de M. Amilhau.	39	3
3	Les grandes forces hydrauliques dans la région des Alpes. Etude de contrôle des débits par la mesure des pontes, par M. Mougny, Conducteur des Ponts et Chaussées	94	»
4	Note sur la détermination du moment fléchissant maximum et de la flèche dans une poutre reposant sur deux appuis, sous l'influence d'une surcharge mobile, par M. Mayor, Ingénieur des Ponts et Chaussées	100	»
5	Note sur une méthode accélérée pour comparer l'aptitude des liants hydrauliques à la décomposition par l'eau de mer, par M. Feret, ancien élève de l'École Polytechnique. Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-mer	107	»
6	Commission des chaux et ciments. — Note sur les additions de pouzzolanes aux mortiers en prise à l'eau de mer; par M. Vétillard, Inspecteur général des Ponts et Chaussées et M. Feret, Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-mer	121	»
7	Note sur la restauration du pont de Pont-du-Château, par M. Tavera, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.	135	4
CHRONIQUE			
8	Etude sur les mouvements d'eau qui peuvent se produire au contact et au voisinage d'une paroi plane verticale, par MM. Fortant et Le Bosnerais, Ingénieurs de la Marine. Compte rendu par M. Goupil, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.	142	»
BIBLIOGRAPHIE			
9	Les Ponts de la Grèce dans l'antiquité qui subsistent encore aujourd'hui, par M. Athan.-S. Georgiados, Ingénieur en chef, ancien élève de l'École des Ponts et Chaussées de Paris et de l'École Polytechnique d'Athènes. Compte rendu par M. Choisy, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite	149	»
10	Les oscillations du matériel des chemins de fer et la voie, par M. Georges Marié, Ingénieur, Chef de division des chemins de fer P. L. M. en retraite. Compte rendu par M. F. Launay, Ingénieur en chef, Inspecteur de l'École des Ponts et Chaussées.	151	»

NUMÉROS des articles	INDICATION DES MATIÈRES	NUMÉROS	
		des pages	des planches
11	Distillation en grand de l'eau pour la production d'eau potable et l'alimentation des locomotives, par M. Ludwig Bothas. Compte rendu par M. Goupil, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées	157	»
12	Revue de l'Industrie du Naphte à Bakou, pour l'année 1906. Compte rendu par M. de Timonoff, Professeur à l'Institut des voies de communication, à Saint-Pétersbourg.	160	»
COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES			
13	Français, Allemands, Anglais, Italiens	162	»
14	Liste des ouvrages reçus à la bibliothèque de l'Ecole des Ponts et Chaussées	205	»

N° 1

LE RÉSERVOIR DE LA VINGEANNE

Par M. JACQUINOT, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Le canal de la Marne à la Saône (*) ouvert à la navigation au commencement de 1907 est alimenté par quatre grands réservoirs ; celui de la Vingeanne a été mis en exploitation pendant l'hiver 1905-1906. Il diffère des ouvrages analogues construits antérieurement par les principaux caractères suivants.

La digue en terre est une des plus longues qui existent (1.250 mètres) ; elle est en courbe et concave vers l'amont.

Le mur de garde est en mortier comprimé composé de ciment de laitier et de gros sable ; ce sable est fabriqué par le broyage de pierres calcaires au broyeur à marteaux.

Le revêtement du talus amont est composé de grandes dalles en mortier de ciment portland et de gros sable, avec joints de retrait et de dilatation préparés.

Tous les ouvrages de prise d'eau et de décharge sont réunis dans deux tours dont le sommet est aménagé en déversoirs à seuil rendu variable par de grandes vannes baissantes ; ces tours peuvent évacuer des crues de 50 mètres cubes à la seconde quand le réservoir est plein.

Les terres ont été entièrement corroyées avec des rouleaux mécaniques et principalement avec des rouleaux à pétrole, système Galliot, qui ont été employés à cette digue pour la première fois.

L'emploi des rouleaux à pétrole et le mode de revêtement du talus amont ont permis d'exécuter cette grande digue avec une rapidité exceptionnelle sans rien sacrifier de sa perfection.

(*) Voir dans les *Annales* de 1899 (1^{er} semestre) l'article de M. Cadart sur le canal et les réservoirs de la Liez et de la Mouche.

Plusieurs de ces procédés d'exécution ont été employés à la digue de Charmes. Pour n'y plus revenir, nous dirons quels perfectionnements leur ont été apportés sur ce dernier chantier, sauf à revenir ultérieurement sur les problèmes très spéciaux qui se sont posés à Charmes.

SITUATION DU RÉSERVOIR

Le réservoir est établi dans la haute vallée de la Vingeanne, affluent de la Saône, à 11 kilomètres environ de sa source. Il avait été tout d'abord projeté plus à l'amont, dans une gorge assez resserrée du plateau de Langres, mais une étude géologique approfondie a montré que le sous-sol était perméable en ce point et que des fuites pourraient s'y produire. Notre éminent et bien regretté prédécesseur, M. Cadart, a fait adopter l'emplacement où la digue est exécutée. Cet emplacement diffère assez sensiblement de ceux ordinairement choisis pour les digues de réservoir : il est situé dans une partie où la vallée, sortie de la région montagneuse, s'épanouit largement après le confluent d'un ruisseau important, le Vallinot.

Les coteaux d'enracinement sont très bas, celui de rive droite dépasse à peine de quelques mètres le sommet de la digue. De plus, ces coteaux ne sont pas parallèles, ils forment un angle assez ouvert vers l'aval, de telle sorte que, pour s'y enraciner, la digue a dû être tracée en courbe concave vers l'amont, contrairement à la règle habituelle.

En résumé, une étude approfondie et hardie de M. Cadart a pu seule conduire à choisir cet emplacement qui ne semblait pas, au premier abord, convenir pour un grand réservoir et qui cependant convenait parfaitement.

La Vingeanne est un cours d'eau torrentiel.

A l'emplacement de la digue, son débit d'étiage descend à 50 litres par seconde. Les crues sont subites et de courte durée; leur débit s'élève jusqu'à 35 mètres cubes à la seconde. L'une d'elles, observée pendant les études, les 2, 3 et 4 février 1897, a

donné un volume de 3.700.000 mètres cubes en soixante douze heures ; 650.000 mètres cubes sont arrivés en six heures. Pendant le premier remplissage, de fin novembre 1905 à avril 1906, un cube d'eau de 29.106.000 mètres cubes est arrivé au réservoir ; la plus grande partie a dû être écoulee par les ouvrages de décharge puisque le réservoir ne peut contenir que 8.700.000 mètres cubes.

Le bassin versant s'étend sur le lias moyen et le lias supérieur ; les coteaux sont couronnés par l'oolithe inférieure. La superficie de ce bassin versant est de 8.650 hectares, non compris 610 hectares constituant le bassin d'un ruisseau dont les crues sont amenées au réservoir par une rigole dont nous parlerons plus loin. La superficie mouillée au niveau normal est de 199 hectares, la profondeur moyenne n'est donc que de 4^m,35. Les terrains acquis s'étendent sur une surface de 225 hectares. Ces acquisitions ont été faites pour permettre une surélévation momentanée de 0^m,20 quand une grande crue arrive dans le réservoir plein. Une route nationale traverse le réservoir, les crues ne peuvent s'écouler sous l'action d'une dénivellation entre les deux têtes, cette dénivellation est estimée devoir être, au maximum, de 0^m,06. Une autre dénivellation de 0^m,06 se produira à la traversée d'un chemin rural à la queue du réservoir. La surélévation exceptionnelle, qui est de 0^m,20 dans le bassin inférieur, sera donc de 0^m,26 à l'amont de la route nationale et de 0^m,32 à l'amont du chemin rural. Par prudence les terrains ont été acquis jusqu'à la cote + 0^m,35 à l'amont de la route. Dans le golfe à l'amont du chemin rural, ils ont été acquis sur une longueur de 350 mètres jusqu'au niveau des hautes eaux connues et sur une largeur moyenne de 40 mètres dans une partie où le lit majeur naturel était nettement tracé ; ce lit majeur a été régularisé et tous les arbres qui y existaient ont été coupés. Ces précautions ne sont pas superflues, car une rivière tombant dans un réservoir y trouve à son écoulement un obstacle qu'on peut appeler un barrage d'eau qui provoque un remous très net et tendrait à surélever exceptionnellement les crues. Les formules de l'hydraulique permettent difficilement de calculer cette surélévation. C'est pourquoi on doit assurer largement l'écoulement des crues immédiatement à l'amont du réservoir et sous les ponts des traversées,

surtout lorsqu'un village exposé aux inondations se trouve immédiatement à l'amont comme c'est le cas ici.

En plan (voir pl. 1, *fig. 1*) la digue est composée d'un alignement droit de 606 mètres sur la rive gauche, puis, au milieu, d'une courbe de 400 mètres de rayon avec angle au centre de $51^{\circ}51'$ et enfin, sur la rive droite, d'un alignement droit de $287^m,74$.

La concavité tournée vers l'amont ne présente pas d'inconvénient. Il n'y a aucune probabilité pour qu'un massif de cette grandeur travaille comme une voûte et chaque tronçon, compris entre deux profils en travers, est largement suffisant pour résister à la pression de l'eau. Toutefois, il ne conviendrait pas, dans un cas semblable, de réduire par trop le rayon de courbure si on n'est pas absolument certain qu'aucun glissement de la digue sur le sol de fondation ne peut se produire sous l'influence de la composante horizontale de la pression de l'eau sur le parement amont. Si, en effet, un tel glissement, très petit, vient à se produire sur un tronçon de la digue et que des fissures se forment aux extrémités de la masse glissante, la concavité vers l'amont tend à les faire ouvrir tandis qu'une courbure en sens inverse n'aurait pas cet inconvénient. Il n'y a aucune crainte de ce genre à avoir à la digue de Villegusien. Le rayon de courbure est suffisamment grand et aucun glissement n'a été constaté.

Nous avons dit le motif principal de la concavité vers l'amont. Elle présente encore un avantage : celui d'augmenter beaucoup la capacité du réservoir sans augmenter sensiblement la dépense, le corroyage au rouleau automobile n'étant pas notablement plus coûteux en courbe qu'en alignement droit.

Le profil en travers (voir pl. 1, *fig. 3*) ne présente rien de particulier. C'est, à très peu près, le type déjà employé à la digue de la Liez, la première construite pour le canal de la Marne à la Saône.

Le point le plus bas de la vallée, au pied du talus amont, était à $10^m,41$ au-dessous de la retenue normale, il a été remblayé de $0^m,41$ pour être arasé au niveau du seuil de la vanne la plus basse, de façon à permettre de vider complètement le réservoir. Le couronnement est à $1^m,80$ au-dessus du plan d'eau, non compris une

banquette de sûreté, en terre corroyée, de 1^m,15 de hauteur. Cette banquette remplace le parapet maçonné construit à la digue de la Liez et à plusieurs autres. L'expérience a montré que ce parapet avait des tassements propres en grande partie indépendants de ceux de la digue, sans doute pour la raison que la pluie qu'il arrête et la poussière d'eau lancée par les vagues s'infiltrent dans les fondations, y gèlent et soulèvent la maçonnerie. Des cassures très disgracieuses s'y produisent; le public, voyant ce parapet disloqué, s'imagine que la digue l'est aussi et se livre à des commentaires qu'il est sage d'éviter.

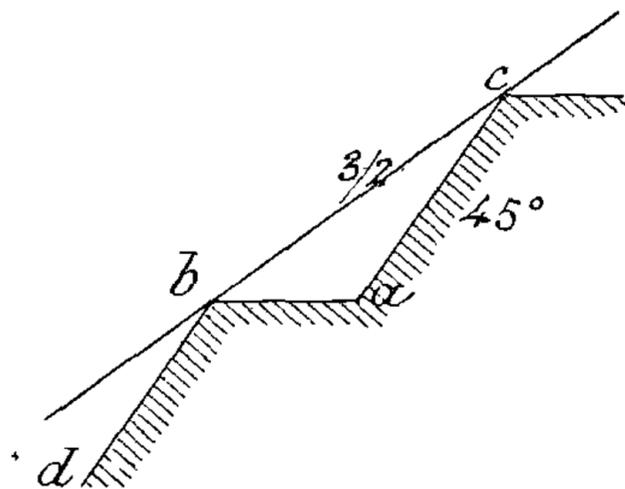
La plus grande largeur de la digue, à la base, est de 43^m,89.

Les digues en terre, antérieurement construites, ont des profils en travers de différents types. Pour le talus amont notamment, on adapte parfois une inclinaison assez raide au sommet, on la diminue ensuite et on la fait très douce vers le bas; le nombre des gradins peut être plus petit. Deux considérations sont à envisager pour cette inclinaison du talus amont: la prendre assez douce pour que le revêtement maçonné ne glisse pas sur les terres parfois détrempées sur lesquelles il repose; ensuite prendre cette inclinaison assez raide dans le haut pour que les vagues glissant sur ce parement ne dépassent pas le sommet de la digue.

L'expérience des digues du canal de la Marne à la Saône a montré qu'une inclinaison régulière du talus amont ne présentait, à ces réservoirs, aucun inconvénient au point de vue des vagues. Le vent du Nord souffle parfois d'une façon assez violente au réservoir de la Vingeanne, le coteau qui pourrait l'arrêter ne dépassant que de quelques mètres le niveau de la retenue. Les vagues produites par le vent s'arrêtent notablement en contre-bas du couronnement de la banquette, lequel est situé à 2^m,95 en contre-haut de la retenue, ce couronnement est seulement arrosé par un peu de poussière d'eau produite par le déferlage des vagues. Pourtant ce vent du Nord parcourt 1.400 mètres sur la nappe d'eau avant d'arriver à la digue. L'expérience montre donc qu'il n'était pas utile, à ce réservoir, de raidir la partie supérieure du talus amont pour protéger le sommet de la digue contre les vagues.

Quant à la condition d'empêcher tout glissement du revêtement

maçonné, elle dépend, bien entendu, du type de ce revêtement, mais elle dépend aussi et même davantage de la nature des terres employées dans le massif de corroi. Il faudrait bien se garder à ce point de vue d'employer des terres contenant une proportion même très faible de vase et les emprunts de vallées d'alluvion sont à redouter pour ce motif, d'autant plus qu'elles contiennent parfois de petites particules de tourbe qu'on risque de confondre avec du minerai de fer. Nous ne voulons pas dire que les emprunts de vallée doivent être proscrits, nous en avons même employés, mais il faut en faire une étude très approfondie avant de les adopter et les surveiller de très près en cours d'exécution pour faire rejeter les poches trop argileuses ou un peu vaseuses qui s'y rencontrent à l'improviste. Les emprunts de coteau sont généralement préférables. Quoi qu'il en soit, avec les terres employées à la digue de Villegusien et avec le type de revêtement adopté aucun glissement du revêtement n'est à craindre sur un talus incliné à $3/2$ en moyenne du haut en bas. Nous devons observer, toutefois, que l'économie d'un talus raide n'est pas aussi grande qu'on le pense, car il est généralement impossible de faire tenir les terres à une inclinaison plus raide que $3/2$ pendant l'exécution du remblai. Nos gradins définitifs étant à 45° suivant ac et db ,



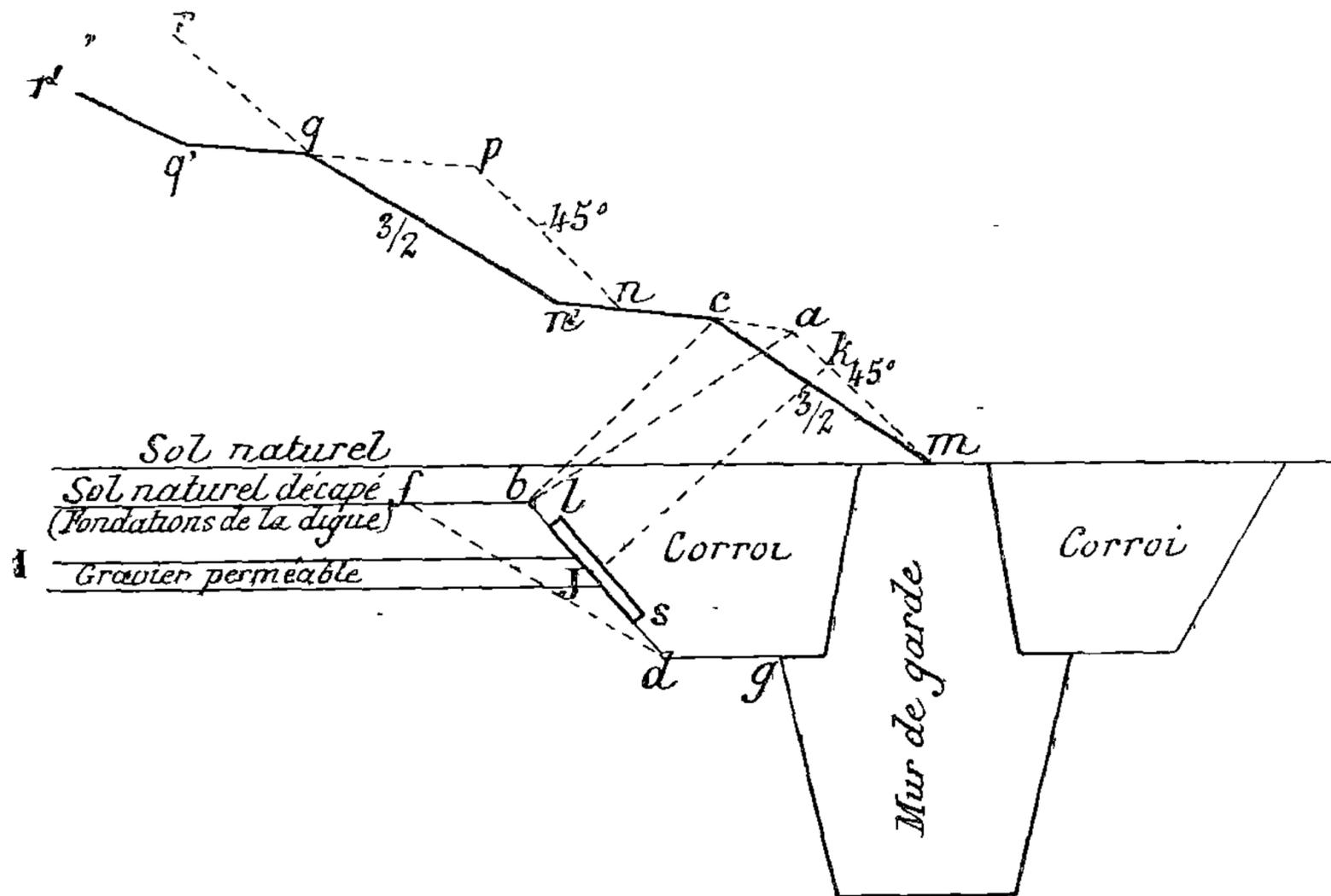
nous avons dû les exécuter suivant (bc) à $3/2$ et la recoupe s'est trouvée ainsi augmentée du triangle (abc) dont le déblai exige des reprises assez coûteuses pour être rejeté jusqu'au sommet ou jusqu'au pied de la digue. Un adoucissement du talus amont n'augmenterait donc pas sensiblement

la dépense des terrassements, elle augmenterait par contre celle du revêtement. Mais l'adoucissement du talus amont ne constitue une amélioration qu'en prenant certaines précautions qui peuvent passer inaperçues.

Considérons en effet le pied du talus. En examinant le profil d'une digue projetée, il importe de rechercher attentivement le

tracé de la ligne qui présente à l'écoulement de l'eau la moindre résistance, en tenant compte de cette ligne et de toutes les facilités qu'elle peut présenter à l'écoulement, ce que nous proposons d'appeler le *chemin d'eau*, pour abrégé.

La discussion d'un ouvrage hydraulique au point de vue de l'étanchéité se ramène généralement à la recherche de cette ligne.



Considérons deux profils en travers de digue, l'un $m a n p q r$ avec talus partiels à 45° et l'autre $m c n' p' q' r'$ avec talus à $3/2$ et cherchons le chemin d'eau à la base; il n'est sûrement pas une horizontale, car l'écoulement, suivant cette ligne, rencontre comme obstacle tout le massif bien étanche et large des corrois. Le chemin d'eau est une ligne telle que $a b$ dans le premier profil et $c b$ dans le second, car, en suivant cette ligne, l'eau n'a à traverser qu'une épaisseur réduite de corrois pour atteindre les couches moins imperméables et surtout moins sûres et moins bien connues du sol naturel.

Or $b c < a b$; l'adoucissement du talus amont diminue donc la longueur du chemin d'eau. Cette réduction doit par suite être compensée par une augmentation de fondation du massif général des

corrois; la partie de ce massif flanquant le mur de garde à l'aval doit être augmentée au moins de tout le triangle bdf . Il y a là, ainsi que nous le verrons, en parlant du mur de garde, une partie délicate qui peut être, si on n'y prend des précautions, un point très faible de la digue en ce qui concerne l'étanchéité.

Le joint entre le pied amont de la digue et le mur de garde est d'une très grande importance. Il importe, pendant l'exécution, de se rendre bien compte de tous les chemins d'eau possibles et de les améliorer sans toutefois s'en effrayer et recourir à des travaux coûteux comme on l'a fait à quelques digues.

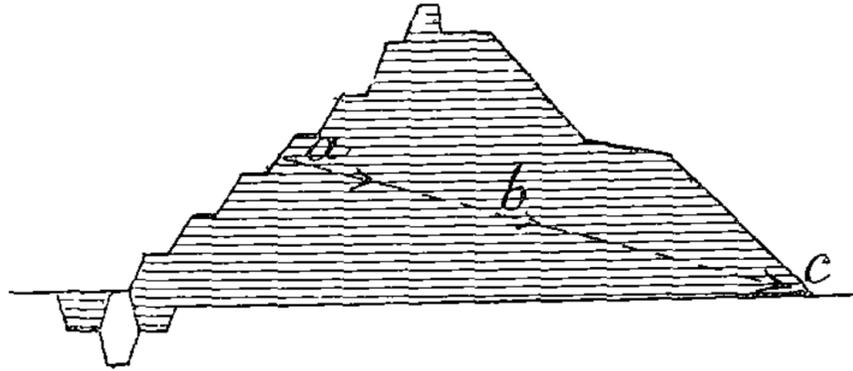
Pendant l'exécution de la digue de Villegusien nous avons reconnu un chemin d'eau qui aurait pu devenir dangereux; une couche de gravier très perméable existait suivant IJ ; elle pouvait être atteinte par un suintement suivant JK . Pour éviter ce danger, il a suffi de couvrir le talus de fouille d'une dalle ls en mortier savaté.

La digue de la Vingeanne est fondée sur le sol naturel simplement décapé sur $0^m,50$ d'épaisseur. Cette fondation est suffisante en raison de la faible hauteur de la retenue et de la nature du sous-sol; elle serait imprudente dans des conditions moins favorables, surtout au point de vue des dangers de glissement horizontal. Au point le plus bas de la vallée, la poussée horizontale de l'eau est d'environ $1/10$ du poids de la digue y compris celui de l'eau sur le talus amont. Nous avons vérifié que le coefficient de glissement sur les couches les moins bonnes du sous-sol était de $1/3$; le coefficient de sécurité contre le glissement de la digue sur sa base est donc environ de trois. Mais il serait imprudent de compter d'une façon générale sur une telle garantie avant de s'être assuré qu'aucune couche du sous-sol n'est susceptible de se décomposer sous l'influence de faibles infiltrations, car le coefficient de glissement pourrait être ainsi considérablement diminué. Par contre, nous ne pensons pas que de légers tassements du sous-sol aient une grande importance; le massif de terre corroyée est suffisamment élastique pour qu'aucune fissure ne se forme. A la digue de la Liez, un tassement de $0^m,55$ dans la partie centrale s'est effectué sans aucun autre inconvénient que la dislocation du parapet qu'on avait eu le tort d'exécuter en maçonnerie.

Des clefs d'ancrage sont exécutées à la base du corroi. Elles ont surtout pour but de constituer des chicanes pour les suintements qui tendraient à se produire à la partie supérieure du terrain naturel non déblayé. Cette partie supérieure est toujours un peu perméable quoi qu'on fasse, surtout lorsque le décapage est fait sur une aussi faible épaisseur. Les trous de taupes et les racines pénètrent toujours jusqu'à un mètre de profondeur et certaines plantes descendent encore plus bas; nous avons vu, sur d'autres chantiers, des racines de prêle, très dangereuses au point de vue des suintements, descendre jusqu'à trois mètres de profondeur. De plus, quelle que soit la rapidité d'exécution des corrois, on ne peut empêcher le soleil de gercer ou de décomposer un peu la base de fondation. Les clefs d'ancrage coupent le chemin d'eau provenant de cette perméabilité relative. Elles ont encore un autre avantage. Un joint plan entre deux parties d'ouvrages non identiques, ici entre les corrois et le terrain naturel conservé, est toujours une surface de moindre étanchéité. Nous avons constaté bien souvent que les infiltrations, dans un tel joint, étaient considérablement diminuées par la moindre chicane. Nous reconnaissons, d'ailleurs, que les clefs d'ancrage nécessitent beaucoup de précautions pour être réussies. Il faut d'abord que les fouilles soient sans eau au moment de leur remplissage et du corroyage du remblai; il faut, en outre, que les parois soient inclinées à $1/3$ au moins et qu'elles soient mordues par le rouleau corroyeur à chaque couche de corroi qu'on exécute, afin d'enlever la couche superficielle effritée sur ces talus. Faute de prendre ces précautions, les clefs d'ancrage sont plus dangereuses qu'utiles, car tout leur pourtour peut être rendu perméable par l'action de l'eau ou du soleil pendant l'exécution et les infiltrations les contournent avec une grande facilité.

L'inclinaison du talus aval de la digue est de $3/2$ dans le haut et de $7/4$ dans le bas. Nous pensons que cette dernière inclinaison ne répond plus aux conditions d'exécution actuelles perfectionnées des digues en terre et qu'on pourrait la raidir sans aucun inconvénient. Cet adoucissement progressif du talus aval du haut en bas de la digue est rationnel pour des digues en maçonnerie, il n'a

nullement les mêmes raisons d'être pour une digue en terre beaucoup plus lourde qui n'est jamais exposée à un renversement. On a pu craindre autrefois des glissements du talus aval aux points d'émergence de petites infiltrations, cette idée ne signifie plus rien avec les corrois qu'on exécute aujourd'hui en France. A Ville-gusien où ce talus aval a plusieurs hectares de superficie, on n'y



aperçoit pas la moindre trace d'humidité et pourtant, s'il en existait une, même très faible, elle serait immédiatement révélée. Ce talus est si sec que son gazonnement a été très difficile à réussir. Craindre des glissements de surface dans de telles conditions serait absurde.

Pour justifier l'empatement de la digue à sa base aval on a prétendu aussi (*) que des suintements suivant une ligne telle que *abc* pouvaient se produire, les pertes de charge allant en diminuant assez rapidement avec le chemin parcouru; on avançait, comme preuve, que les suintements se produisaient presque toujours au pied aval des digues. Des suintements de cette forme sont sûrement absolument impossibles avec de bons corrois. La traversée oblique des couches de remblai présente beaucoup plus de difficultés que la traversée horizontale par les surfaces séparatives de ces couches. Si des suintements apparaissent au pied aval des digues bien corroyées, ils viennent toujours de la fondation.

A la digue de la Vingeanne on a proscrit, dans toute la mesure du possible, tout dépôt de déblais non corroyables aux abords de la digue, aussi bien à l'amont qu'à l'aval. Cette proscription est basée sur ce fait qu'un suintement traversant de tels dépôts y suit

(*) Voir *Centralblatt der Bauverwaltung* du 15 novembre 1905, article de M. le professeur Ehlers.

souvent des chemins si bizarres qu'il est très difficile de savoir où il entre dans la digue et où il en sort. En débarrassant les abords de la construction de tout remblai non étanche, il est, au contraire, bien plus facile de voir l'entrée et la sortie des suintements qui se produiraient et de les colmater s'il est nécessaire.

MUR DE GARDE

Le mur de garde est descendu dans la partie centrale à six mètres de profondeur sur le calcaire à gryphées très dur; sur de faibles longueurs au pied des coteaux, il repose sur les marnes bleues et dans les coteaux il repose sur les argiles marneuses. La fondation à l'extrémité de la digue n'a que deux mètres de profondeur.

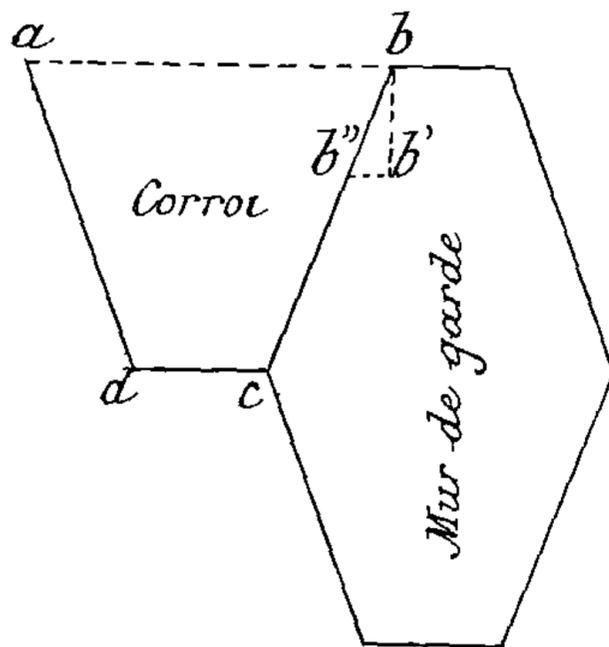
La section de ce mur se compose de deux trapèzes se touchant par leur grande base. Le trapèze inférieur est moulé à pleine fouille dans des couches de terrains pouvant tenir sous des talus assez raides. La partie supérieure ne pouvant être moulée à pleine fouille, surtout parce que ce serait trop coûteux, est flanquée de deux massifs de terre corroyée. Dans cette partie supérieure les talus sont inclinés de telle sorte que le tassement du remblai serre le joint; il l'ouvrirait, comme il est facile de s'en rendre compte, si les talus étaient inclinés en sens inverse, comme ils le sont dans le bas, et il se créerait ainsi un chemin d'eau extrêmement dangereux.

Il n'est toutefois pas prudent de compter beaucoup sur le serrage du joint produit par l'inclinaison convenable des talus. Considérons, en effet, un massif de remblai corroyé $abcd$ tassant contre un talus de maçonnerie bc incliné au $1/5$ (*fig.* p. 16).

Une particule de terre b viendrait par le tassement en b' si l'inclinaison du talus de maçonnerie ne l'obligeait à venir en b'' . La longueur horizontale $b'b''$ mesure la compression et le serrage. Soit h la hauteur de b au-dessus de la base dc du remblai et α le tassement par unité de hauteur.

$$b'b'' = \frac{1}{5} \alpha h$$

On voit d'abord que le serrage est proportionnel à h ; il est donc nul à la base et maximum au sommet. Supposons $\alpha = 0^m,02$, c'est



un tassement considérable qui n'est jamais atteint dans une digue bien corroyée.

Pour

$$h = 4^m, b' b'' = 1/5 \times 0,02 \times 4 = 0^m,016$$

Le serrage produit par un tel retrait n'est pas négligeable, mais il le serait si le tassement était notablement inférieur à 0,02 et si le

fruit de la maçonnerie est inférieur à $1/5$. On voit la conséquence de cette observation pour certaines digues étrangères à noyau central maçonné; le fruit de ce noyau est généralement insuffisant pour produire un serrage sérieux et dans tous les cas ce serrage est maximum au sommet de la digue où il est inutile et nul à la base où il serait le plus nécessaire.

Nous n'avons donc pas compté sur l'étanchement du joint par tassement et nous avons serré énergiquement les terres contre la maçonnerie.

A cet effet, les rouleaux corroyeurs à pétrole sont construits de telle sorte qu'ils puissent circuler contre cette maçonnerie; celle-ci doit même être étudiée soigneusement de façon que son parement ne présente aucun angle, surtout aucun angle rentrant, mais seulement des courbes très douces que puissent suivre les rouleaux pour corroyer les terres jusqu'à ce parement. Le joint entre terre et maçonnerie est, en outre, serré fortement au moyen d'une barre de fer à tête ronde appelée « crayon ».

Dans une autre digue terminée en 1906, celle de Charmes, on a même pris la précaution de tailler le parement aval du mur de garde au fur et à mesure que montait le corroi afin d'enlever les quelques millimètres où la maçonnerie, exposée quelque temps au contact de l'air, est un peu moins étanche. Si nous insistons sur ce point, c'est qu'il nous paraît important dans la construction de la digue. Une ligne tracée dans ce joint entre terre et maçonnerie

est sûrement moins étanche qu'une ligne de même longueur tracée dans le corroi lui-même. Alors à quoi servirait de donner 43 mètres de largeur à la base de la digue pour empêcher l'eau de suinter s'il suffit à cette eau de parcourir à l'amont 4 ou 5 mètres d'un chemin plus facile pour atteindre des couches de terrains naturels qui sont d'une étanchéité relative et *en partie inconnue*?

Les talus de fouille du mur de garde doivent toujours être taillés assez doux pour qu'on n'ait jamais à craindre des éboulements. S'il s'en produisait d'importants, ils pourraient être presque impossibles à réparer d'une façon satisfaisante.

Le mur de garde de la digue de Villegusien a été exécuté en mortier de ciment de laitier au dosage de 300 kilogrammes de ciment par mètre cube de gros sable de broyeur. Ce dosage a été porté à 350 kilogrammes dans la partie inférieure où le mur de garde fait seul étanchéité, sans corrois adjacents, au milieu d'une couche de gravier.

Le mortier était répandu par couches de 0^m,10 à 0^m,12 d'épaisseur et recevait trois savatages de compression au moyen de savates en cuir garnies de gros clous pesant environ 6 kilogrammes. Ce savatage produit une bonne compression. Il a toutefois l'inconvénient de faire remonter un peu le mortier à la partie supérieure de la couche et d'appauvrir la partie inférieure. C'est pourquoi il est avantageux, pour bien lier les couches entre elles, de fouetter un lait de ciment un peu ferme sur chaque couche terminée avant de répandre la suivante. On obtient ainsi un massif monolithe sans aucun vide et présentant au point de vue de l'étanchéité des garanties beaucoup plus grandes qu'un mur en maçonnerie de moellons. Il est aussi beaucoup plus rapidement exécuté et le joint avec les terres corroyées est beaucoup meilleur.

Le mélange des matières était fait à sec puis jeté dans une bétonnière verticale où il recevait son eau de gâchage. On fabriquait ainsi environ 100 mètres cubes dans une journée de 12 heures. Il est bien préférable d'exiger l'emploi d'une bétonnière à meules qui comprime le mortier pendant sa fabrication et lui donne plus de liant. C'est ce qui a été fait à la digue de Charmes.

Il serait intéressant d'essayer dans un mur de garde en mortier,

pour remplacer le savatage, un appareil analogue au piston d'une sonnette à vapeur, un peu moins lourd mais battant plus vite. La compression serait meilleure, plus économique et plus rapide; les couches pourraient être plus épaisses, le dosage plus maigre et on serait en partie dispensé de la surveillance qui doit être constante avec le savatage. Les difficultés, toujours plus grandes, de trouver de bons maçons conduiront à développer l'emploi de telles maçonneries.

Il venait beaucoup d'eau dans la fouille du mur de garde de Villegusien. Pour l'écouler, pendant la construction de ce mur, on a dû placer des tuyaux en ciment dans le fond de la fouille et même sur les banquettes servant de base aux massifs corroyés, car l'eau qui sortait là d'une couche de gravier perméable, se serait déversée sur les talus inférieurs et y aurait causé des éboulements. Ces tuyaux aboutissaient à un point bas du profil en long du fond; de là, les eaux étaient conduites à un puisard de pompe éloigné de quelques mètres de la fouille du mur de garde de façon à conserver, même en ce point, leur forme normale aux massifs de corroi flanquant le mur de garde. Cet écoulement a présenté quelques difficultés. Les puisards d'épuisements avaient été placés, d'après les sondages, aux points où la fondation était présumée devoir descendre à la plus grande profondeur. On partait de ces points avec deux attaques s'éloignant l'une de l'autre. Mais il arrivait dans la traversée de la vallée que le calcaire à gryphées, généralement très dur et très compact, devenait brusquement disloqué et perméable. Il fallait alors approfondir la fouille et créer, en ce point, de nouveaux épuisements. Impossible de songer à descendre plus bas la fouille déjà faite pour assurer l'écoulement de l'eau, le roc était tellement dur qu'on ne pouvait l'entamer. On y serait parvenu avec la poudre et la dynamite, mais l'emploi des explosifs doit être absolument proscrit dans une fouille de mur de garde, car ils disloquent le sol, le rendent perméable sous le mur de garde et ce mur devient alors inutile puisque l'eau peut passer en dessous.

Après l'achèvement du mur de garde les tuyaux d'assainissement de la fouille sont remplis de mortier coulé dans de petites

cheminées préalablement placées tous les dix mètres et qui sont, elles-mêmes, remplies de mortier. Mais le bouchage le plus important est celui du branchement placé aux points bas de la fouille pour envoyer les eaux des tuyaux du côté aval de la fouille vers l'amont où se trouvent les puisards de pompe. Le bouchage de ces branchements est important puisque, s'il n'était pas bien fait, l'eau y trouverait une communication entre l'amont et l'aval du mur de garde. C'est pourquoi un puits est ménagé dans le mur en ces points. Le branchement exécuté en tuyau de fonte à brides traverse le fond de ce puits. La construction étant achevée, on enlève un tronçon de ce tuyau, on ferme les extrémités des parties restantes en boulonnant des plaques de fonte et, l'eau ne coulant plus, on remplit le puits avec du mortier pilonné. Cette disposition, employée à Charmes, présente une sécurité complète (voir pl. 2 *fig* 1).

REVÊTEMENT DU TALUS AMONT

Le talus amont des digues en terre est généralement recouvert, en France, par une maçonnerie de moellons à mortier. La digue de Villegusien est tellement longue qu'il aurait été très difficile et très coûteux de trouver à proximité une quantité suffisante de moellons de parement résistant à la gelée au contact de l'eau. D'autre part, l'entretien consiste surtout à la réfection périodique des joints. Or ceux-ci devaient se compter ici par centaines de kilomètres. Pour ces raisons et pour un motif général d'économie, le revêtement du talus amont a été exécuté au moyen de grandes dalles en mortier de ciment portland moulées sur place, damées et savatées, de 0^m,20 d'épaisseur normale. Ce système présente de grands avantages de toutes sortes, il réussit parfaitement moyennant quelques précautions.

Il importe tout d'abord de ménager des joints, car autrement le retrait de prise du mortier, les variations de température et les petits tassements du remblai feraient casser le revêtement irrégulièrement et dans tous les sens et l'eau pénétrerait dans les fissures. La *fig.* 3, pl. 2, montre que des joints ont été exécutés à

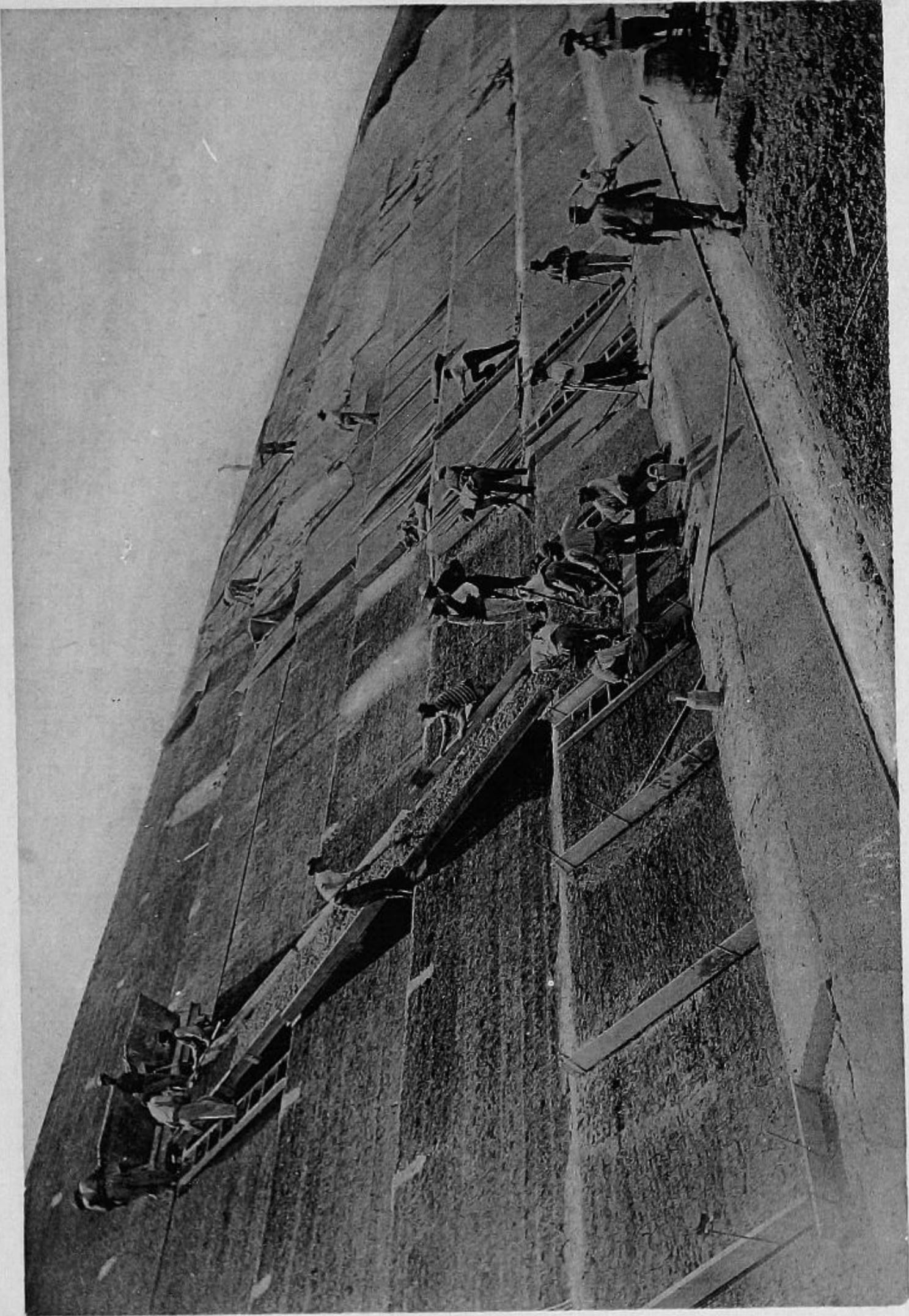
tous les raccordements de dalles de talus avec les dalles de bermes. En outre, des joints dans les plans verticaux ont été ménagés tous les trois mètres; ces derniers joints auraient pu être un peu plus espacés, car les fissures n'ont guère de tendance à se produire que tous les 5 et même 8 mètres. Mais il importe de limiter la surface d'une dalle pour que la durée de son exécution ne dépasse pas une demi-heure au plus. Une plus grande dalle serait exécutée plus lentement, le mortier du début commencerait à prendre avant l'achèvement et des fissures seraient à craindre, tandis qu'avec les procédés d'exécution employés à Villegusien, pas une seule dalle ne s'est fissurée, et pourtant ces dalles sont au nombre de 4.600 et couvrent une surface de 23.510 mètres carrés.

Les joints sont remplis d'argile jusqu'à trois centimètres du parement; ils sont recouverts d'une couche de mortier de 0^m,02 d'épaisseur. L'exécution commence naturellement par le bas. La dalle du talus inférieur repose sur le mur de garde.

La *fig. p. 20 bis*, qui est la reproduction d'une photographie, montre ce travail en exécution.

Avant de commencer une dalle de talus, on applique sur la dalle de berme qui vient d'être achevée une galette d'argile battue, puis on fixe, au moyen de broches, les planchettes des joints latéraux situés dans des plans verticaux. On applique, à la main, sur ces planchettes un madrier horizontal et on coule le mortier entre ce madrier et le talus de terre. Le madrier est remonté au fur et à mesure de la coulée du mortier jusqu'à ce que le moulage de la dalle soit achevé. On passe ensuite à la dalle de berme immédiatement supérieure. Pour exécuter cette dalle de berme on couvre d'une galette d'argile battue l'about supérieur de la dalle de talus située en dessous, on place les planchettes des joints latéraux, puis un petit madrier de coffrage à l'emplacement du joint avec la dalle de talus supérieur; cela fait, on moule la dalle et, quand elle est achevée, on peut enlever le petit madrier de coffrage, il ne sert plus à rien.

Dès que le mortier d'une dalle commence à faire prise on dame à la dame plate, puis on savate deux fois avec la savate en cuir garnie de gros clous.

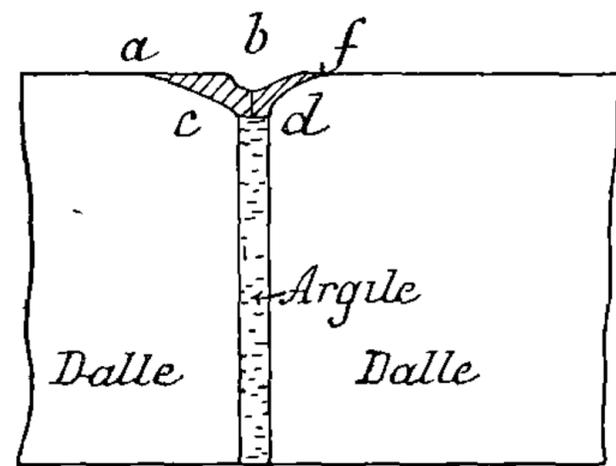


Réservoir de la Vingeanne. — Exécution du revêtement du talus amont.

Au bout de trois jours ou deux au moins, on retire les planchettes de joints et on peut faire ces joints au mortier fin.

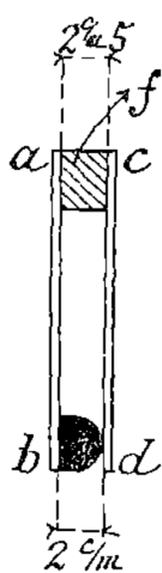
Jusqu'à ce que les dalles soient bien prises, elles doivent être couvertes de bâches et tenues humides. Quand le mortier est bien sec on arrose, deux fois au moins, les dalles au lait de ciment portland, autant que possible le soir. Cet arrosage donne un meilleur aspect au revêtement, rien n'empêche de l'ajourner de plusieurs semaines ou même de plusieurs mois, à la condition que les dalles restent propres ou qu'elles soient préalablement lavées si elles ont été un peu salies. L'arrosage au lait de ciment peut constituer un procédé d'entretien des dalles, il est très peu coûteux.

Dans la confection du revêtement en mortier il est très important de ne jamais faire le moulage en maigre en aucun point ; le mortier qu'on ajouterait pour compenser ce maigre ne tient jamais, même s'il est placé très peu de temps après le moulage. Pour cette raison, il faut bien choisir les planchettes de joints pour n'avoir pas besoin de rajouter du mortier lors du jointolement pour régulariser les arêtes. Si le mortier placé lors de l'exécution du joint a la forme $a c d f$, l'arête de la dalle de droite ayant été épaufrée, le retrait produit invariablement une fissure en (a) . Pour éviter cela nous avons pris, à la digue de Charmes, la précaution de couper le joint de mortier, au moyen d'une mince lame de couteau, au milieu (b) dès que le mortier est posé (Idée suggérée par M. Habert, chef de section). Cette coupure est ensuite remplie par un coulage de lait de ciment. On est à peu près sûr alors que la fissure de retrait se fera au milieu du joint et non pas un peu à côté.



Les joints situés dans des plans verticaux sont les plus difficiles à réussir. Après divers essais, le système auquel on s'est arrêté consiste à employer deux tôles $a b, c d$ (*fig. p. 22*) donnant l'épaisseur prévue pour le joint : 2 centimètres au fond et 2 centimètres $1/2$ en parement. Elles étaient tenues écartées dans le bas par des

têtes de rivets et dans le haut par une petite réglette de bois *f*. Au moment du démoulage, on enlève la réglette, les deux tôles se

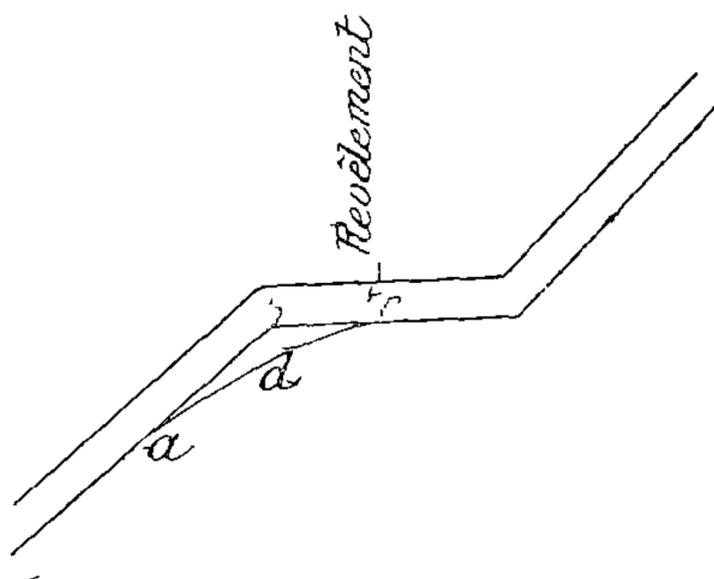


rapprochent l'une de l'autre et se détachent des dalles de mortier; on peut alors les enlever facilement sans dégrader les lèvres du joint. Pour le moulage, on doit clouer, sous le madrier glissant sur le bord des planchettes, comme nous avons dit, deux petits tasseaux, de façon que la dalle vienne un peu plus épaisse que les planchettes, c'est la surépaisseur qui doit disparaître par la compression du savatage. Après celui-ci la surface des dalles affleure le bord supérieur des planchettes.

Il est important de mouler le mortier sec.

Les joints de la digue de la Vingeanne, exécutés comme nous venons de le dire, ont parfaitement bien réussi. Les cassures prévues sont toutes dans les joints sans aucune exception; leur épaisseur ne dépasse pas quelques millimètres; même par les plus grands froids, elle n'augmente pas. Toutefois les fissures près des angles saillants du parement sont un peu plus grosses, elles ont parfois une forme un peu sinueuse et s'écartent du milieu du joint. On en sera quitte pour refaire ce joint quand le retrait du mortier et le tassement seront terminés ou à peu près. Mais nous allons indiquer tout de suite comment nous avons évité, à la digue de Charmes, ce petit inconvénient ainsi que deux autres. Signalons d'abord ces derniers.

Dans une digue en exploitation depuis vingt ans, celle de la Liez, nous avons constaté qu'il existait parfois sous les angles saillants du revêtement un petit vide triangulaire (*a b c d*). Il nous paraît dû à ce fait que la recoupe du terrassement que l'on a faite



en avant des maçons a précédé un peu trop longtemps l'exécution de la maçonnerie du revêtement. Pendant cet intervalle de temps, le soleil et l'air ont gercé et effrité la terre à l'angle saillant qui est

devenu ainsi, lors du remplissage, un chemin d'eau qui a pu se délayer. Il est très facile d'éviter cet inconvénient en recoupant immédiatement le corroi suivant l'arrondi *a d c*. C'est ce que montre la *fig. 6 bis*, pl. 1, relative au réservoir de Charmes. On voit aussi, sur cette figure, que le joint d'angle saillant est placé presque verticalement dans la berme; il est ainsi bien plus facile à réussir. Enfin la même figure montre une petite dalle sous ce joint. Voici son but.

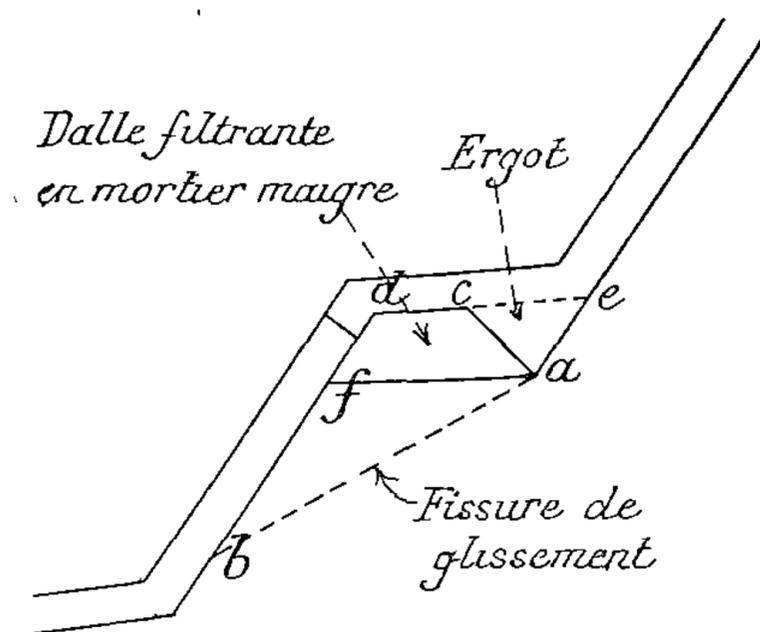
Certains ingénieurs ont critiqué les revêtements en mortier en observant que les fissures pouvaient s'agrandir et donner lieu à une entrée d'eau lors d'un remplissage. Au moment de la vidange l'eau sort du joint en entraînant un peu de la terre du remblai sous-jacent. Au remplissage suivant l'eau entre en quantité un peu plus grande et sort en entraînant un peu plus de terre. Il se créerait ainsi un vide croissant avec une rapidité de plus en plus grande et toujours invisible. Un affaissement serait ainsi à redouter au bout d'un certain temps.

Cette critique est exagérée. Ayant réfléchi plusieurs années à l'avance au mode de revêtement de la digue de Villegusien, nous avons fait exécuter, en 1897, une certaine surface de ce revêtement sur les bords d'un réservoir en exploitation. Nous pouvons déclarer aujourd'hui, après une expérience de dix ans, que les fissures n'ont pas sensiblement augmenté et que l'argile mise dans les joints y est encore.

Toutefois, comme on ne saurait prendre trop de précautions dans de tels ouvrages, nous plaçons maintenant sous les joints d'angle saillant une petite dalle filtrante de mortier maigre qui empêche l'eau sortant du joint d'entraîner de la terre. Nous avons songé à cette amélioration après la critique intéressante d'un collègue allemand, M. le professeur Ehlers, et nous sommes heureux de l'en remercier.

Une précaution supplémentaire a été prise à la digue de la Vingeanne pour prévenir tout glissement du revêtement en mortier sur le remblai sous-jacent. Nous avons moulé en même temps que la dalle de berme et faisant bien corps avec elle, une sorte d'ergot *a e c* ancrant cette dalle dans le corroi (Voir *fig. 4* et *5*). Mais cet ergot

n'a pas toute la longueur de la dalle de berme qui est de 3 mètres ; il n'a que 1 mètre de longueur, de telle sorte qu'au moment où le massif de la digue vient d'être préparé pour l'exécution du revêtement, on voit sur chaque berme une série d'alvéoles isolées les unes des autres, ce sont les petites fouilles spéciales de ces ergots (*fig. 4*). Nous avons craint qu'au moment de la vidange du réservoir il reste un peu d'eau dans ces alvéoles même remplies de mortier. Pour éviter cela, une petite rigole transversale *d c a f* ayant la largeur d'un fer de bêche et remplie de mortier maigre perméable conduira ces eaux sous le parement. Avec ces précautions le glissement du revêtement ne pourrait se produire qu'en entraînant un morceau de revêtement tel que *abde* par exemple. Or si l'on



peut admettre que les dalles de talus ont une tendance à glisser sur le talus de remblai sous-jacent *db* qui risque d'être un peu humide, une fissure de glissement telle que *ab* n'a aucune chance de se produire dans un corroi sain et sec. Cette sécurité serait un peu moins

grande si on n'assurait pas, au moment de la baisse du réservoir, l'assainissement de l'alvéole comme nous l'avons dit. Un corroi sans gradins ou à gradins très espacés ne permettrait pas d'obtenir la garantie complémentaire que nous venons d'indiquer.

Le mode de revêtement en mortier de la digue de Vingeanne permet une grande rapidité d'exécution. Le mortier était fabriqué avec la bétonnière à tambour tournant horizontalement avec, à l'intérieur, une sorte d'hélice de malaxage. On fabriquait et on employait environ 100 mètres cubes par jour, ce qui équivaut à $\frac{100 \text{ m}^3}{0^{\text{m}},20} = 500$ mètres carrés de parement. On devine quelle armée de maçons il aurait fallu organiser pour arriver à un tel rendement avec un revêtement de maçonnerie de moellons ! Cette rapidité d'exécution est très précieuse au point de vue suivant. Immédiate-

ment avant d'exécuter le parement on recoupe 0^m,75 environ d'épaisseur horizontale de corroi afin d'asseoir la maçonnerie sur la partie saine du remblai, celle qui n'a été exposée ni à l'action du soleil, ni à celle des pluies ou de la gelée. Or une maçonnerie lente à exécuter suit toujours, à un assez long intervalle, la recoupe des corrois, il n'est pas rare que cet intervalle soit de quinze jours et même plus. Pendant ce temps-là les terres exposées à l'air et au soleil se gercent et c'est ainsi que le revêtement en moellons est parfois assis sur du remblai un peu perméable superficiellement et pouvant devenir un peu glissant. Avec un revêtement en béton au contraire, le talus de terre recoupé peut être rapidement recouvert et on arrive très bien, en y tenant la main, à ne pas le laisser exposer à l'air plus de trois jours.

L'entrepreneur de la digue de la Vingeanne fabriquait le mortier au sommet du remblai. Il coulait le mortier au moyen de longs couloirs en tôle dans lesquels étaient placés à l'aplomb de chaque gradin une trappe qui fermait la partie du couloir située en dessous, arrêtait ainsi le mortier et le laissait tomber par l'ouverture dégagée par une seconde trappe dans des wagonnets circulant sur les bermes et le conduisant à la dalle en exécution.

Le revêtement en béton présente de grands avantages : économie, grande rapidité d'exécution, résistance au glissement, facilité d'entretien, etc.

On avait pensé pouvoir exécuter les dalles d'avance sur un chantier à part, amenées en place avec des grues et bardées comme des pierres de taille. Elles auraient pu être un peu plus économiques et mieux comprimées, mais ces avantages, relativement peu importants, auraient été achetés au prix d'un très grave inconvénient.

En moulant les dalles sur place, on réalise une grande adhérence entre le remblai et la dalle, à tel point qu'en soulevant celle-ci on détache toujours une croûte de terre moulant toutes les aspérités. Au contraire, une dalle préparée d'avance et simplement posée sur le talus terreux laisse toujours de petits vides en dessous. Nous avons essayé de voir si on ne pourrait pas boucher ces vides avec un coulis de ciment, il en reste toujours assez pour

constituer des chemins d'eau qu'il est très bon d'éviter, et c'est pourquoi le moulage des dalles en place a été exigé.

L'administration, en approuvant le projet, a prescrit d'exécuter à titre d'essai, quelques dalles avec treillis métalliques interposé au milieu de leur épaisseur. Cette armature passe pour diminuer les chances de fendillement. Elle est difficile à poser, augmente beaucoup la dépense d'exécution, surtout celle de main-d'œuvre, oblige forcément à exécuter la dalle en deux parties dont l'adhérence entre elles laisse des doutes et finalement ne sert à rien, puisque pas une seule des nombreuses dalles non armées n'est fendillée. Il était utile de faire cet essai, il est concluant.

Pour terminer, ajoutons que l'épaisseur du revêtement a été doublée au plan d'eau : la dalle de talus voisine de la retenue a 0^m,20 d'épaisseur au bas et 0^m,40 en haut. C'est une bonne précaution puisque cette dalle est la plus exposée à la gelée au contact de l'eau.

A Villegusien, les trois dalles voisines du plan d'eau ont été exécutées avec une surépaisseur. A Charmes, la dalle de talus située immédiatement au-dessous du plan d'eau a seule reçu une surépaisseur et cela est suffisant.

TOURS DE PRISE D'EAU. — AQUEDUCS DE FUITE

Deux tours de prise d'eau ont été construites. L'une a plus particulièrement pour rôle d'assurer l'alimentation des moulins d'aval (tour du moulin); l'autre est plus spécialement destinée aux lâchures d'alimentation du canal, mais toutes deux sont nécessaires pour l'écoulement des grandes crues.

Les tours de Villegusien ont ceci de particulier qu'elles sont aménagées pour remplacer le déversoir régulateur et le vannage de décharge qu'on place d'habitude à une extrémité de la digue et qui sont destinés à écouler une crue arrivant quand le réservoir est plein. Les dispositions habituelles présentaient un grave inconvénient ici en raison de la longueur exceptionnelle de la digue le canal de décharge faisant suite au déversoir et au vannage de-

vait avoir 800 mètres de longueur et une grande section puisque les crues à écouler sont importantes. C'était une grosse dépense de construction et d'entretien. Nous avons cherché à l'éviter en plaçant le déversoir et le vannage de décharge au sommet même des tours. A cet effet, dans chaque face des tours carrées est ouverte, au sommet, une grande baie de 3^m,10 d'ouverture horizontale avec seuil à 0^m,90 en contre-bas du niveau normal, soit 1^m,10 au-dessous du plan d'eau momentanément surélevé. Nous avons ainsi un déversoir de $3.10 \times 8 = 24^m,80$ de longueur. Mais le seuil est généralement trop bas à 0^m,90 sous la retenue, il faut pouvoir le relever et le régler suivant le débit à écouler. A cet effet, devant chaque baie est placée une grande vanne baissante en tôle. Lorsqu'elle est baissée complètement, elle dégager complètement l'ouverture; on peut la relever au moyen d'un cric et remonter son sommet jusqu'au niveau normal de la retenue, mais jamais plus haut.

Nous tenions beaucoup à ce que, dans une position quelconque, la vanne baissante puisse toujours faire déversoir et non pas dégager une ouverture en dessous d'elle et notablement en contre-bas du plan d'eau, comme le fait une vanne levante ordinaire. Une régulation de plan d'eau n'est jamais aussi bien assurée que par un déversoir, car il se règle de lui-même et les erreurs qu'on peut commettre dans une manœuvre se corrigent en grande partie automatiquement par la baisse ou la montée du réservoir qu'elles produisent.

Naturellement le sommet des tours est aménagé en voûtes d'arêtes au-dessus du seuil des grandes baies déversantes. Ces voûtes ont été exécutées rapidement et facilement en mortier de ciment portland, cependant les parements situés dans les faces des tours sont en moellons et pierres de taille, pour l'harmonie avec la partie inférieure exécutée de cette façon.

En outre des quatre vannes baissantes, chaque tour a trois vannes de prise d'eau dégagant des ouvertures de 0^m,80 \times 1^m,00 étagées à différents niveaux et deux vannes de garde à la tête amont de l'aqueduc de fuite.

Ces vannes de prises d'eau permettront de régler les lâchures

d'alimentation et concourront à l'écoulement des crues, mais faiblement, les vannes baissantes-déversoirs étant plus puissantes.

Les tours sont carrées et mesurent extérieurement 6^m,40. Elles ont, aux quatre angles, des piliers faisant saillie de 0^m,35 sur les faces intermédiaires. Cette disposition, à peu près commandée par par les vannes baissantes, améliore l'aspect.

A l'intérieur, la section des tours est normalement un cercle de 3^m,10 de diamètre. Cette section devient carrée dans le haut pour ne pas réduire les crêtes déversantes. Dans le bas le plan des vannes de garde est une corde du cercle normal. Ces trois sections sont raccordées entre elles en pentes douces et sans saillies brusques, cela exige des appareils de pierres de taille compliqués mais indispensables, car les moindres saillies produiraient des coups de bélier et réduiraient notablement le débit dont les tours sont capables.

En avant des baies-déversoirs sont placées des grilles suffisamment résistantes pour supporter le choc des corps flottants et des glaçons qu'il faut arrêter à tout prix pour éviter l'obstruction des vannes de garde. Ces grilles sont composées de fers à  verticaux. Nous reconnaissons qu'on pourrait exécuter des grilles aussi résistantes, présentant moins de pleins et diminuant un peu moins le débit et, si nous avions à les refaire, nous les placerions plus en avant des tours afin que l'eau puisse passer en dessous en attendant qu'on ait eu le temps de dégager un corps flottant produisant une obstruction momentanée. Mais enfin les grilles de Villegusien remplissent bien leur rôle telles qu'elles sont et aucune déception ne s'est produite de ce côté.

Les vannes baissantes sont en tôle et aciers profilés. Elles sont manœuvrées au moyen d'un cric agissant sur deux crémaillères.

Les vannes de prise d'eau et de garde sont des panneaux de fer forgé glissant sans galets. C'est le type déjà employé au canal de la Marne à la Saône pour les digues de la Mouche et de la Liez (*).

(*) Voir communication au cinquième Congrès de Navigation par M l'ingénieur en chef Gustave Cadart.

Ces vannes n'ont jamais donné, en exploitation, le moindre ennui et la sécurité devant passer avant tout dans de tels ouvrages, il nous a paru inutile de rechercher des vannes plus perfectionnées. Naturellement des crics de manœuvre puissants ont été installés, celui d'une vanne de garde a une force de 12.000 kilogrammes. On sait que ces crics doivent être fortement amarrés aux maçonneries pour le cas où on continue à exercer un effort sur la manivelle après la fermeture complète de la vanne. Cet amarrage était rendu ici un peu compliqué par la disposition du sommet des tours en voûte d'arêtes. Un fort cadre constitué par des poutres à caisson en acier laminé a été posé au sommet des tours et solidement fixé aux quatre piliers des voûtes (pl. 2, fig. 5). Les crics ont été boulonnés sur ce cadre de telle sorte que pour être soulevés, ils devraient entraîner avec eux le cadre et toute la voûte d'arêtes y compris les piliers, ils ne sont pas assez forts pour cela. L'intérieur des poutres à caisson est rempli de mortier et l'extérieur même est noyé dans le mortier de façon que le cadre est invisible et bien protégé contre la rouille.

Les aqueducs de fuite du moulin et du thalweg ont la même section. Chacun d'eux est composé de deux pertuis accolés en plein cintre de 1^m,50 d'ouverture et 1^m,70 de hauteur sous clef. Mais en approchant de la tête amont cette section se rétrécit progressivement et se modifie de façon à devenir finalement un rectangle de 1^m,50 de hauteur et 1 mètre de largeur; c'est le pertuis d'une vanne de garde. Ce raccordement devait se faire sans aucune saillie et sans aucun jarret, car il est parcouru par le courant violent s'échappant de la tour sous une pression qui peut dépasser 9 mètres d'eau. Cette condition a exigé un appareil de pierre de taille très compliqué qui a été très bien étudié par M. Habert, chef de section, et très bien exécuté par la Société des carrières de Villebois.

Les aqueducs de fuite sont fondés sur le terrain solide au moyen de petits viaducs en béton.

Sur chacun d'eux est placé un tuyau en fonte de 0^m,65 de diamètre intérieur pouvant servir plus tard pour utiliser les forces motrices assez importantes que peut fournir le réservoir. On s'est

contenté de poser ces tuyaux qu'il aurait été impossible de placer après l'exécution de la digue, réservant pour plus tard l'aménagement de l'usine hydraulique qui pourra être des plus simples.

Un eminent ingénieur hongrois, le regretté M. Iszacki, visitant les travaux, nous observait que des tuyaux en fonte placés dans ces conditions pouvaient présenter quelque danger de cassure, il préconisait de préférence des tuyaux en béton armé plus élastiques et se prêtant mieux à de petits tassements. L'idée peut être bonne dans le cas où de tels tassements sont à craindre; il ne s'en est produit aucun à Villegusien. Toutefois il serait sans doute prudent de placer un manchon en tôle à l'intérieur de tels tuyaux en béton armé lorsqu'ils doivent être parcourus par des courants d'eau rapides.

Quel que soit le mode de fabrication des tuyaux, de grandes précautions doivent être prises pour bien comprimer le mortier tout autour et pour éviter de petits suintements venant de la tête amont, surtout en dessous où la compression est plus difficile.

A la mise en eau du réservoir de la Vingeanne un petit suintement s'est produit de cette façon, il se colmate progressivement et rapidement et ne présente aucun danger.

On établit souvent en souterrain les aqueducs de fuite des digues de réservoir. Ce procédé est très coûteux et exige des soins pour empêcher des suintements le long de l'extrados. A Villegusien, l'exécution d'une telle galerie eût été à peu près impossible, la disposition des lieux ne s'y prêtait pas. Les aqueducs ont donc été tout simplement placés sous la digue au fond de la vallée; ils peuvent, d'ailleurs, être parfaitement réussis dans cette position avec quelques soins. L'intervalle entre les maçonneries et les parois de la fouille a été rempli avec de la terre argileuse mélangée de gros sable, sorte de mortier de terre, qui se pilonne bien mieux que la terre seule. En outre, des oreilles d'ancrage en maçonnerie ont été exécutées à des intervalles de 5^m,20 et 5^m,65 pour constituer des chicanes aux suintements qui auraient des tendances à suivre l'extrados ou les parois de la fouille (pl. 2, fig. 3). Nous avons exposé plus haut la grande importance qu'avaient ces chicanes. Les oreilles d'ancrage enveloppent tout l'extrados et les

piédroits; elles pénètrent dans le terrain naturel mis à vif au dernier moment et aussi dans le massif de corroi. Les premières couches de corroi recouvrant l'extrados des aqueducs ont même été exécutées avant la partie supérieure des oreilles, puis on y a retaillé exactement la fouille à remplir complètement par les maçonneries. Si on avait terminé celles-ci à l'avance, il aurait été difficile d'approcher le rouleau corroyeur assez près pour que la terre fût partout bien comprimée.

L'aqueduc du moulin ayant son point haut d'extrados un peu au-dessus de la base de fondation du massif corroyé de la digue, les premières couches de remblai recouvrant les reins de la voûte ont dû être corroyées transversalement, dans un sens perpendiculaire à l'axe de la digue et parallèle à celui de l'aqueduc. Ce travail n'a présenté aucun inconvénient, mais il vaut mieux le réduire quand cela est possible en plaçant le point haut de l'extrados au niveau de la base des corrois aux abords, c'est ce que nous avons fait à la digue de Charmes.

En hiver il se produit un appel d'air depuis la tête aval des aqueducs de fuite jusqu'au sommet évidé des tours ou inversement. Des glaces se forment dans la tour. On les empêche au moyen d'un rideau mobile descendu à la tête aval des aqueducs.

L'expérience nous a montré qu'il serait très avantageux d'éloigner un peu les tours du pied amont de la digue. Voici pourquoi.

Les sections de vannes de garde sont forcément petites pour toutes sortes de raisons évidentes et notamment parce qu'il serait impossible de manœuvrer sous de fortes charges des vannes de grande section. Or, pendant la construction de la digue, il serait imprudent de demander à ces ouvertures d'écouler une grande crue, elles ne pourraient le faire que sous une charge qui nécessiterait un remplissage partiel prématuré du réservoir au risque de noyer les fouilles de fondation ou de corroyer les talus amont non encore revêtu. On est donc obligé de réserver pour l'écoulement des crues pendant la construction toute l'ouverture normale des aqueducs de fuite et d'ajourner, pour la dernière campagne, tout le raccordement entre cette section normale et les pertuis rétrécis des vannes de garde. Si on place ces vannes immédiatement au

piéd amont de la digue, comme nous regrettons de l'avoir fait à Villegusien, on est obligé d'exécuter des maçonneries provisoires et de les démolir ensuite pour construire, au dernier moment, les pertuis de vannes de garde et leurs raccordements dans une petite fouille ouverte dans le massif des corrois. Cette méthode présente toutes sortes de petits inconvénients qu'on éviterait en continuant la section normale des aqueducs de fuite jusqu'au piéd du talus amont et en ne commençant qu'à ce piéd de talus le raccordement avec les vannes de garde. Celles-ci se trouvent ainsi reportées d'environ 2^m,50 à l'amont. On trouverait à cette modification bien des avantages et un seul inconvénient bien insignifiant : un petit allongement des passerelles d'accès au sommet des tours.

Pendant la construction, il est utile de protéger le chantier contre les crues. On y parvient au moyen d'une levée de protection en remblai corroyé exécutée un peu en amont de la digue. A l'entretien cette levée est très utile, car elle permet de vider complètement l'espace compris entre elle et la digue pour visiter le mur de garde et le revêtement jusqu'à sa base. Un petit cube d'eau maintenu à l'amont de la levée assure la conservation de l'empoissonnement du réservoir.

Exécution des terrassements. — Les remblais de la digue cubent 296.000 metres cubes. Ils ont été exécutés facilement en deux campagnes.

Les emprunts étaient d'abord tous prévus dans la vallée afin d'éviter des acquisitions de terrain en dehors de celles prévues pour le réservoir et ses francs bords. Ces emprunts de vallée ont été successivement abandonnés, sauf celui de la Couchotte, les déblais corroyables qu'ils pouvaient fournir se présentaient sous une épaisseur trop faible pour être exploitée à l'excavateur, leur composition était trop variable, souvent trop argileuse et ils contenaient presque toujours des traces de vase très dangereuses dans une digue de réservoir.

L'emprunt de vallée, dit de la Couchotte, qui a été conservé a donné beaucoup d'ennuis. On y a trouvé des parties argileuses qui ont dû être évitées et cela a beaucoup compliqué le travail de

l'excavateur. Au contraire, les deux autres emprunts ouverts à la base des coteaux ont été extrêmement commodes parce qu'ils ont assuré une régularité de production très précieuse en pareil cas; ils ont réduit, au minimum, la surveillance pour choix des terres qui constitue un gros souci pendant les travaux.

La recherche de bons emprunts fournissant régulièrement de la bonne terre est une des parties les plus importantes d'un projet de digue et on ne doit pas hésiter à allonger les distances de transport pour trouver de tels emprunts.

Les divers emprunts des digues de Villegusien donnaient des terres contenant de 30 à 70 p. 100 de sable fin. Les plus sableuses n'ont pas toujours été les meilleures. A Charmes, certaines couches contenant une forte proportion de sable extrêmement fin ont dû être rejetées parce qu'elles conservaient longtemps un excès d'humidité qui ne permettait pas un bon corroyage.

Les terres les plus lourdes à l'emprunt sont généralement les meilleures. A Villegusien, les emprunts de coteaux donnaient des terres pesant 1.800 à 1.900 kilogrammes au mètre cube de déblai.

Les déblais d'emprunts à la digue de la Vingeanne ont été, en presque totalité, extraits avec deux excavateurs Normand fournissant chacun 1.000 à 1.500 mètres cubes par journée de 12 heures, suivant la régularité de l'emprunt et sa profondeur; celle-ci variait entre 1^m,50 et 3^m,50.

Les excavateurs sont à peu près indispensables pour les déblais d'une digue en terre. Tout d'abord ils emiettent mieux la terre, ce qui est une condition de bonne exécution. Ensuite et surtout l'emploi des terrassiers pour l'exécution des déblais se heurte ici à une difficulté spéciale : la longueur exceptionnelle des chômages pour intempéries. Impossible de travailler pendant l'hiver à cause des gelées et des pluies. Même pendant l'été, après un orage, il faut attendre que l'emprunt soit égoutté et le sommet du remblai asséché pour recommencer le travail, car on ne peut corroyer de la terre trop humide, ni recouvrir d'une nouvelle couche une autre déjà corroyée mais détremnée. On obvie partiellement à ce dernier inconvénient en arasant toujours le sommet de la digue

en forme de toit à double pente de $0^m,03$ à $0^m,04$. Mais malgré cette précaution, l'assèchement des chantiers nécessite de longs chômages, qui découragent les ouvriers, conduit à augmenter leur salaire et rend leur recrutement difficile. C'est pourquoi un tel chantier ne peut être assuré de sa marche régulière qu'à la condition d'extraire, au moins la moitié des déblais à l'excavateur.

L'aménée des terres à la digue de Villegusien était bien organisée pour une grande production. La *fig. 2*, pl. 2 montre le tracé des voies. Les emprunts de la Couchotte et de Sous-Fraitieux étaient exploités en même temps et fournissaient, par jour 1.800 à 2.400 mètres cubes de déblai. L'aménée des terres de Sous-Fraitieux était notablement compliquée par l'obligation de traverser sous un P. I. une ligne de chemin de fer située entre la digue et l'emprunt. L'emprunt de Fraitieux a servi seul à exécuter la partie supérieure de la digue.

Les terres étaient régaliées sur la digue par l'entrepreneur et corroyées en régie. Cette division du travail a donné lieu, sur certains chantiers analogues, à des difficultés qui ont conduit parfois à confier le corroyage à l'entrepreneur au risque de compromettre un peu sa bonne exécution. Ces difficultés sont à peu près complètement supprimées par l'emploi des rouleaux à pétrole qui sont très facilement déplaçables et franchissent les voies de l'entreprise très aisément. Ces rouleaux vont partout et à la digue de Villegusien les corrois exécutés au pilon sont insignifiants : 100 mètres cubes environ (sur 296.000).

On peut compter qu'un rouleau à pétrole peut corroyer 250 mètres cubes par jour. Il est bon d'en avoir un de rechange pour trois en fonctionnement et il est nécessaire de revoir complètement toutes ces machines pendant l'hiver.

Ces rouleaux donnent des corrois excellents, cela tient en partie au faible diamètre de leur disque. Il est facile de se rendre compte qu'en diminuant le diamètre de ces disques on diminue notablement la surface portante sur une couche élastique et par suite on augmente beaucoup la compression.

A Villegusien, le retrait des terres n'a été que de $0^m,053$, mais avec des déblais pesant 1.900 kilogrammes au mètre cube cela

donne pour le mètre cube de corroi $1.900 \times 1,053 = 2.000$ kilogrammes, poids assez voisin de celui de la maçonnerie.

Nous avons toujours observé qu'on améliorerait beaucoup les corrois en mélangeant à la terre du gravier et surtout du gravier à grains anguleux comme celui que nous obtenions par le broyage des pierres calcaïres. Cette addition n'a pu se faire à Villegusien où le gravier coûtait trop cher, mais elle a été faite à Charmes, même pour des terres très sableuses, avec une proportion de gravier de 5 p. 100 environ. Le mélange de terre et de sable se fait avec la plus grande facilité au moyen d'une charrue canadienne, sorte de herse dont les dents sont en forte tôle d'acier courbée en croissant.

Après deux remplissages le tassement maximum observé, en un point, à la digue de Villegusien, n'a pas dépassé $0^m,14$. Encore ce tassement doit-il être très probablement attribué au sous-sol. Les tassements de tels corrois sont tellement insignifiants qu'à la digue de Charmes nous avons pu, sans inconvénient, exécuter dans la même campagne le remblai de la partie supérieure de la digue et le revêtement du talus amont sans attendre, comme on le fait d'habitude, qu'un hiver ait déjà produit le tassement de ces remblais.

Ouvrages accessoires. — Le réservoir de la Vingeanne est traversé par une route nationale qui a été exhaussée sur place de $2^m,30$ en moyenne et $3^m,40$ au maximum. Cette modification a été exécutée sur 800 mètres de longueur. Le remblai a été corroyé au rouleau à pétrole, ce qui a permis d'exécuter et de réussir parfaitement la chaussée immédiatement après l'achèvement de ce remblai.

Les talus exposés aux vagues ont reçu un revêtement rocheux en deux couches, comme l'indique la *fig. 4*, pl. 2. La couche extérieure est presque uniquement composée de pierres pesant 60 kilogrammes, rangées à la main et clouées.

Un emprunt de terre à corroi étant nécessaire pour l'exhaussement de cette route, il a été choisi de façon à servir de rigole d'amenée au réservoir d'un ruisseau qui a permis d'augmenter le bassin versant du réservoir de 610 hectares.

Dépenses. — Les dépenses sont indiquées par le tableau ci-après qui fait ressortir le mètre cube d'eau emmagasiné annuellement à

$$\frac{3.375.000}{8.700.000} = 0 \text{ fr. } 39.$$

En réalité, ce prix du mètre cube d'eau est un peu plus faible parce que le réservoir peut, à l'automne et au printemps, donner lieu à des alternatives de remplissage et de vidange partiels, de telle sorte que le cube fourni par le réservoir est un peu plus grand que sa capacité. En admettant une utilisation annuelle de 9.500.000 mètres cubes, le prix du mètre cube d'eau se réduirait à

$$\frac{3.375.000}{9.500.000} = 0 \text{ fr. } 355.$$

PRIX DE REVIENT DES TRAVAUX

Mur de garde . . .	Fouilles	89.000	343.000	Cube des corrois: 296,000 m. cub. Prix de revient d'un mètre cube de corroi en place: $\frac{832.000}{296.000}$ = 2',80 Pour obtenir 1 ^m de corroi à la digue, on a exécuté 1 ^m ,033 aux emprunts, d'où un retrait de $\frac{53}{1000}$
	Maçonneries de mortier comprimé. . .	254.000		
Massif de corroi	Décapage de la digue, essartage des emprunts, etc. . .	104.000	936 000	Pour obtenir 1 ^m de mortier comprimé en place (joints déduits) on a employé 1 ^m 313 de sable d'où un retrait de $\frac{13}{100}$
	Fouille des chambres d'emprunt, transport et corroyage des terres . . .	832.000		
Revêtement. . .	Fouilles et divers . . .	35.000	304.000	Prix de revient du mortier en place, au mètre cube 46 f. 40. Prix de revient du mortier en place, au m ² de surface couverte 11 f. 45. Arrosage au lait de ciment compris.
	Dallos en mortier de ciment et escaliers	269.000		
Tours d'alimentation . . .	Terrassements . . .	7.000	115.000	
	Maçonneries . . .	59.000		
	Métaux (vannes, crics passerelles, grilles)	49.000		
Aqueducs de fuite. . .	Terrassements . . .	20 000	84.000	
	Maçonneries . . .	64.000		
Travaux divers dans le réservoir, entretien des chemins déviés, semis, plantations, aménagement des abords de la digue, etc. . .		103.000	103.000	
Rétablissement des communications . . .		275.000	275 000	
Total pour les travaux. . .			2.160.000	
Acquisitions de terrains . . .			1.215.000	
Dépense totale			3.375.000	

Durée des travaux. — Les travaux ont été adjugés en septembre 1901. Après une résiliation contentieuse due à une maladie mortelle de l'entrepreneur, on a réadjudgé, en 1903, ce qui restait à faire.

En 1901 on a exécuté l'aqueduc de fuite du thalweg.

En 1902 on a exécuté le mur de garde et les fondations de la digue.

Le massif corroyé a été exécuté de mai 1903 à septembre 1904 avec interruption pendant l'hiver, d'octobre à avril.

Le revêtement et les tours ont été exécutés de mai à octobre 1905, mais les rétablissements de communications, exécutés dans la seule campagne 1906, n'ont été achevés qu'en décembre.

Le remplissage du réservoir a été continué régulièrement et achevé en mars.

M. Cadart a étudié l'avant-projet comme ingénieur ordinaire. Sous sa direction comme ingénieur en chef et celle de MM. Mallez et Derôme, inspecteurs généraux, les études définitives ont été faites et les travaux exécutés par M. Jacquinot, ingénieur ordinaire, avec la collaboration très active de MM. Habert, chef de section, Varney et Bruot, sous-chefs.

MM. les conducteurs Gagnot et Changey ont pris une part importante aux études d'avant-projet.

Enfin M. l'ingénieur en chef Galliot nous a prêté, de la façon la plus bienveillante, un concours extrêmement précieux pour l'étude et l'exécution des engins de corroyage.

Les entrepreneurs des terrassements et maçonneries ont été : M. Perrin (Eugène), puis MM. Dequéker (frères); M. Marlaud (Eugène) et ses fils ont exécuté les rétablissements de communications. Les vannes et crics ont été exécutés par la Société alsacienne de Constructions mécaniques, sous la direction spéciale de M. Schuppert, ingénieur.

Les passerelles ont été exécutées par la Société des Forges de Franche-Comté.

Langres, le 14 juin 1907.

Nota. — Les grands massifs de mortier comprimé ont été exécutés pour la première fois (en ce qui concerne le canal de la Marne à la Saône) à la digue de la Vingeanne puis à celle de Charmes dont les grands ouvrages évidés par des galeries horizontales ont fourni le principe de l'écran également évidé de la digue de la Mouche.

Dans son mémoire sur cette dernière digue (*Annales des Ponts et Chaussées* de 1907, n° 58), M. l'ingénieur en chef Moissenet montre comment ces massifs peuvent être colmatés au moyen d'injections de ciment. Nous pensons que ces injections peuvent être évitées par une bonne compression des mortiers.

Ces injections permettent dans certains cas de parachever de la façon la plus satisfaisante les parties qui n'auraient pas été complètement étanchées par la compression, ainsi que l'a montré M. Moissenet.

JACQUINOT.

N° 2

EXTRAIT D'UN RAPPORT DE MISSION

(Juin à Octobre 1906)

SÜR

LES LIGNES DE MONTAGNE
DE L'OBERLAND-BERNOIS

Par M. V. AMILHAU

Le réseau des lignes de montagne de l'Oberland-Bernois, qui présente une grande variété de modes de traction, est exploité, actuellement, par trois Compagnies intimement liées, qui sont :

1° La Compagnie l'Oberland, qui se compose :

a) des lignes mixtes (adhérence et crémaillère), reliant Interlaken à Lauterbrunnen et au Grindelwald, par les deux Lüs-chines ;

b) du funiculaire de Lauterbrunnen à Grütsch et du tronçon électrique Grütsch à Mürren ;

c) de la ligne à crémaillère de Wilderswyl à Schynige Platte ;

2° La Compagnie de la Wengernalp, qui exploite la ligne à crémaillère de Lauterbrunnen au Grindelwald par le col de la Kleine Scheidegg ;

3° La Compagnie de la Jungfrau, qui exploite la ligne électrique et à crémaillère de la Kleine Scheidegg à Eismeer.

Nous allons d'abord étudier les lignes mixtes, puis la ligne funiculaire et électrique et enfin les lignes à crémaillère.

I. — LIGNES MIXTES

Tracé.

a) Chemin de fer d'Interlaken au Grindelwald et à Lauterbrunnen.
— La longueur de la ligne est de 23.650 mètres, dont 12.488 de Lauterbrunnen à Interlaken et 11.162 de Zweilutschine au Grindelwald.

Le premier projet date de 1873. Ce n'est qu'en 1887 que les ingénieurs du B. O. B. (Bern-Oberland-Bahn), mettant à profit les enseignements de Brünig, commencèrent les travaux.

La voie est à écartement de 1 mètre avec courbes de 100 mètres dans les parties à adhérence, et de 120 mètres dans les sections à crémaillère.

La ligne part d'Interlaken, gare de l'Est, à l'ancienne douane. Cette gare est reliée à celle de l'Ouest des chemins de fer fédéraux par l'ex-ligne du Bodeli et, par suite, les trains de Berne viennent déposer leurs voyageurs vis-à-vis des trains du B. O. B.

En même temps, elle est située sur le canal de Brienz, débarcadère des bateaux qui amènent les voyageurs de Lucerne (viâ le Brünig).

Sa position, au point de vue trafic, est donc excellente.

Le tracé quittant la gare laisse à sa gauche ce qui subsiste de l'ancienne Compagnie du Bodeli, la section Interlaken-Bonigen et traversant une plaine assez longue, se dirige vers Wilderswyl, qu'il traverse. C'est de Wilderswyl que part le tronçon entièrement à crémaillère de la Schynige Platte.

A la sortie de Wilderswyl, la voie franchit la Lutschine sur un pont de 30 mètres de portée et suit la rive droite jusqu'à Zweilutschine. Ici, la rivière se partage en deux, la Lutschine noire, qui descend des glaciers de Grindelwald, et la Lutschine blanche, qui vient des contreforts du Breithorn en traversant Lauterbrunnen.

De Wilderswyl à Zweilutschine, le terrain est assez varié. On y trouve des roches très dures, des éboulis et d'énormes blocs isolés, d'origine glaciaire, qui ont nécessité des travaux assez considérables.

De nombreux ruisseaux descendent au-dessus de la ligne. Il a fallu régulariser leurs lits et leur ménager un passage sous la ligne.

Après Zweilütschine, le chemin de fer croise la route de Grindelwald et suit la rive droite de la Lütschine blanche ; il traverse la Sausbach, sur un pont de 17 mètres et peut attaquer la première crémaillère avec rampe de 60 millimètres. Un peu au-dessus, ligne et route sont parallèles et côte à côte. Elles traversent des couloirs fort dangereux où l'on a fait d'importants travaux de défense.

La deuxième crémaillère avec rampe de 120 millimètres, conduit en gare de Lauterbrunnen.

L'embranchement de Grindelwald est à Zweilütschine. En sortant de la gare, on traverse un tunnel de 60 mètres et l'on arrive au pied des couloirs d'avalanches du Mannlichen ; pour franchir ce passage difficile, on a établi une galerie à ouvertures latérales de 55 mètres de long.

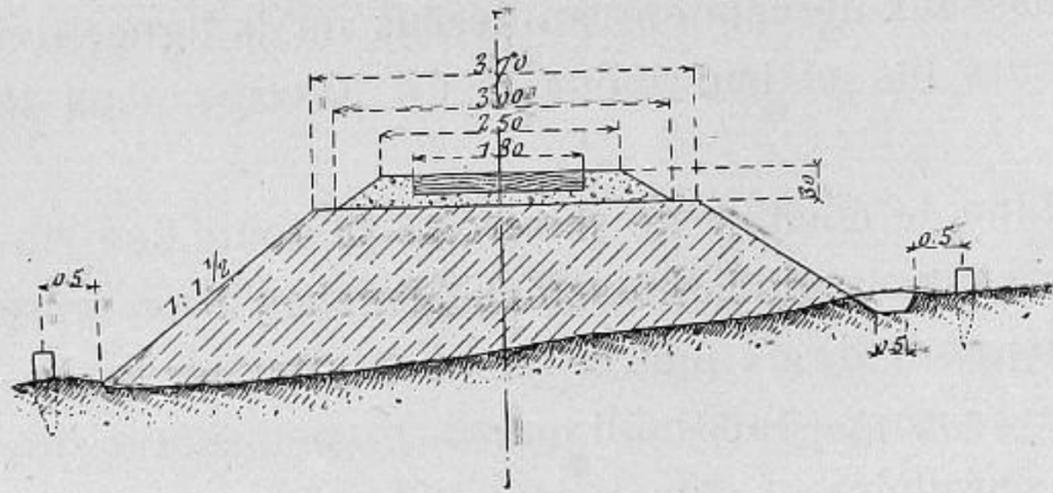
Après avoir traversé quelques torrents, l'on arrive à la halte de Lütschenthal. C'est ici que commence la première section à crémaillère de 1.850 mètres de longueur, avec rampes de 90 et 120 millimètres. Le tracé remonte les derniers contreforts du Saggishorn, traverse Stalden et arrive au plateau sur lequel est construite la gare de Burglauenen, avec prise d'eau et où se fait le croisement des trains. La différence de niveau avec Lütschenthal est de 180 mètres.

De Burglauenen, station qui ne voit pas le soleil pendant quatre mois d'hiver, la voie se dirige vers Grindelwald en traversant une plaine et en côtoyant la route et la Lütschine noire.

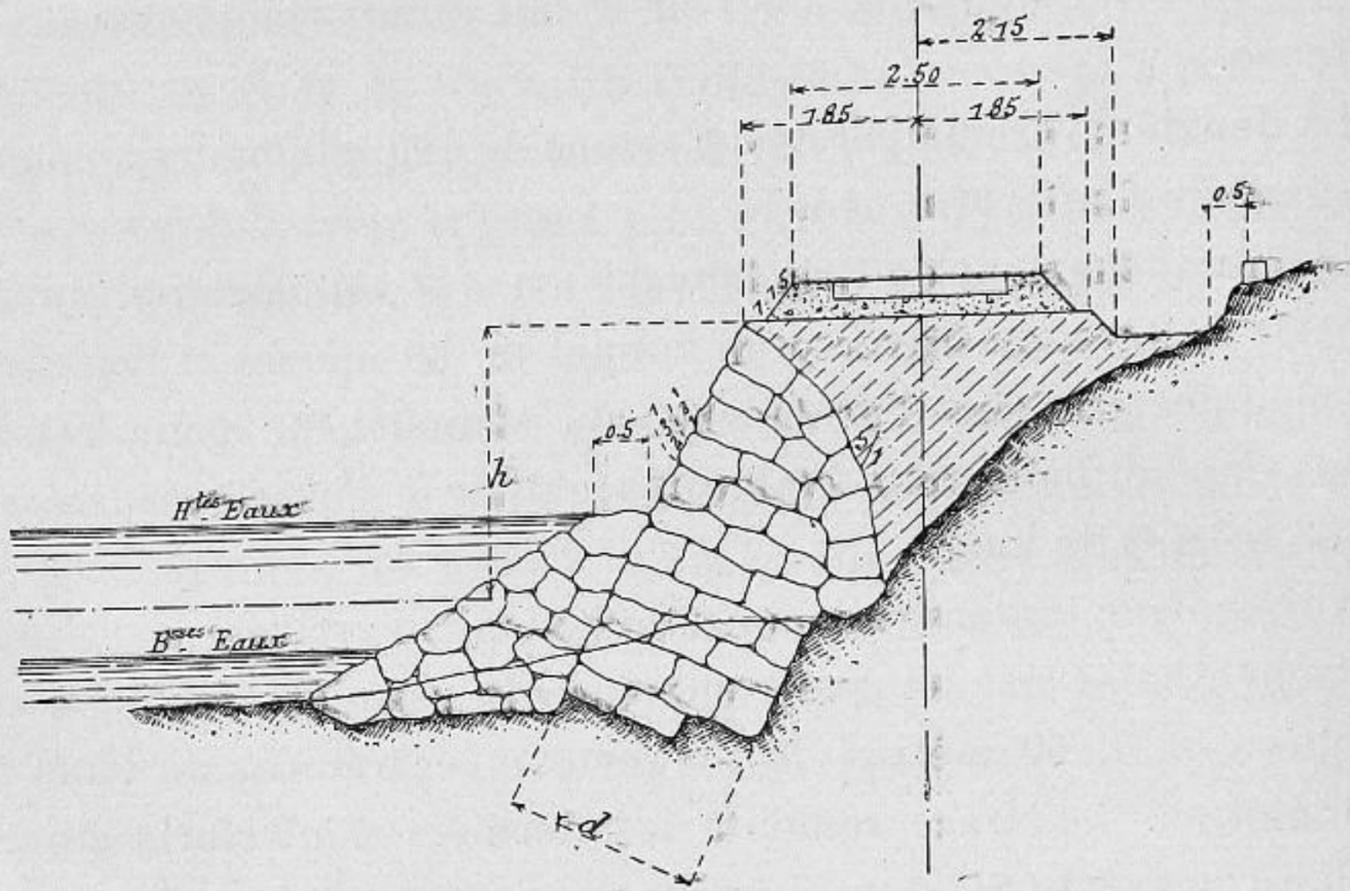
Après le passage des rives de la Lutschine, une dernière crémaillère de 1.250 mètres de longueur, avec une rampe de 100 millimètres, conduit en gare de Grindelwald.

Profils. — Les profils en travers types sont donnés par les *fig. 1 et 2.*

La voie à écartement de 1 mètre repose sur des traverses en bois de 1^m,80, appuyées sur une couche de ballast de 0^m,30.



Remblai ordinaire.



Bord des Lutschines.

Fig. 1. — Profils en travers.

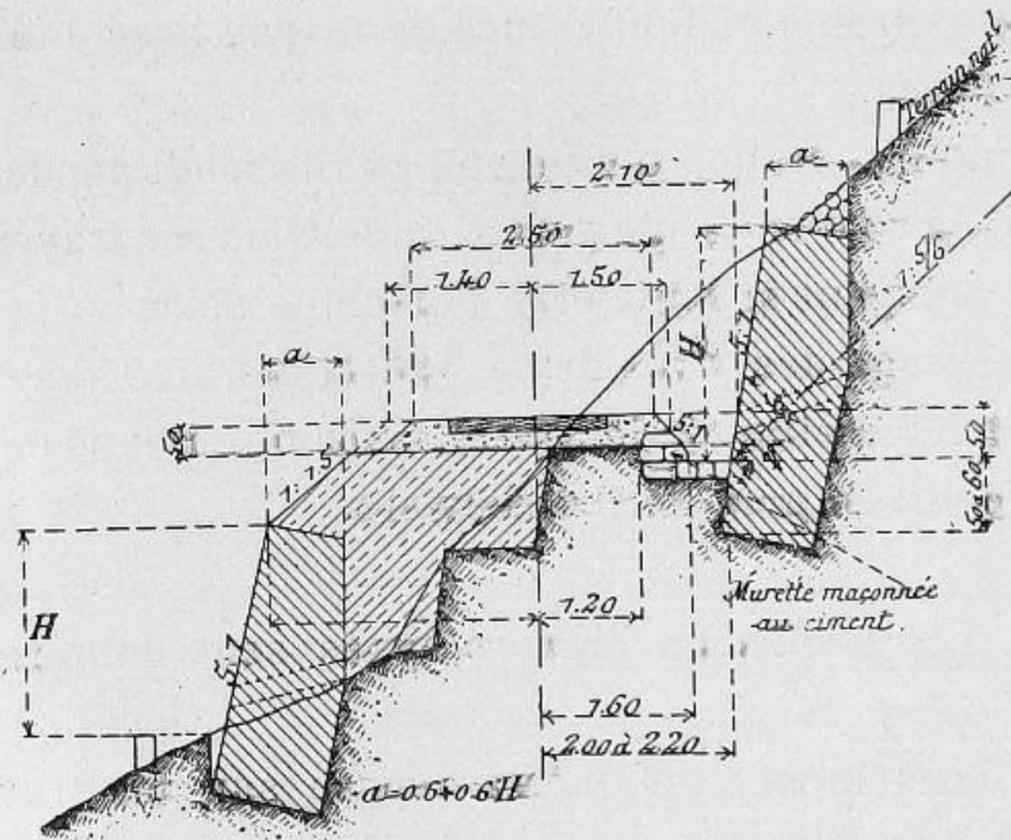


Fig. 2. — Remblai et déblai.

À flanc de coteau, où l'on emploie le profil *fig. 2*, la plateforme est établie sur gradins taillés d'avance; l'épaisseur du mur de soutènement, côté vallée, est calculée d'après la formule $a = 0^m,60 + 0^m,6 H$. Les fossés ont une largeur variant entre $0^m,40$ et $0^m,60$.

Le profil en long des deux embranchements est donné par les *fig. 3* et *4*.

Berner Oberland Bahn.

Profil en long.

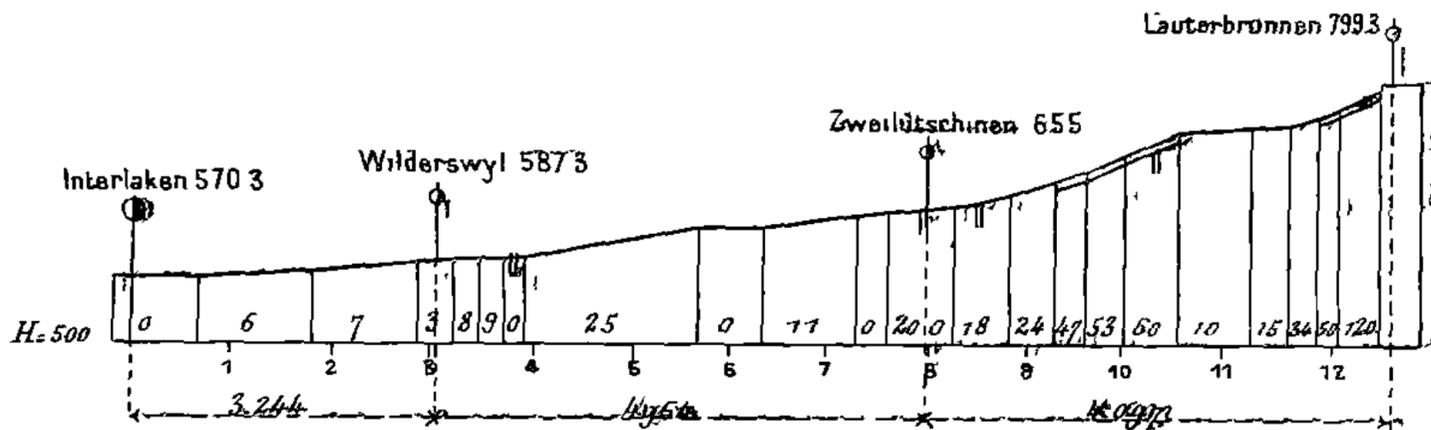


Fig. 3. — Section. Interlaken. Lauterbrunnen.

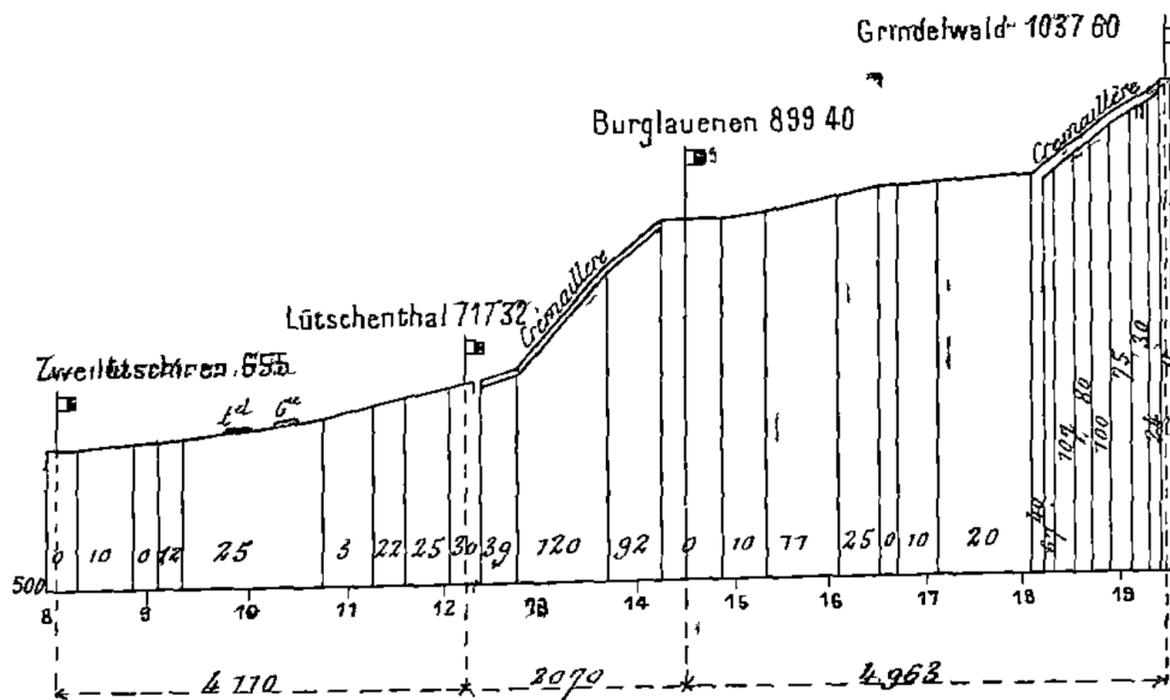


Fig. 4. — Section. Zweilütschinen. Grindelwald.

La différence des hauteurs cumulées est de $613^m,96$, avec rampe moyenne de $26,19$ p. 1000 pour la ligne entière et de $31,20$ p. 1000 pour les parties en rampe. La rampe maxima est de 120 p. 1000 .

Les passages à niveau sont au nombre de $13\frac{1}{4}$. Il y a cinq passages en dessous et un en dessus.

Voies et rails. — Voici les caractéristiques du rail en acier Bessemer :

Poids	23 kg. au mètre
Longueur	9 ^m , 600
et tout dernièrement	10 ^m , 960
Hauteur	0 ^m , 110
Largeur de champignon	0 ^m , 094
Épaisseur de l'âme	0 ^m , 008
Moment d'inertie	492 cm ⁴
Moment résistant.	89 cm ³

Le rail, incliné au 1/20, repose sur les traverses au moyen de sellettes en acier. Il est fixé à l'intérieur par deux tire-fonds et à l'extérieur par un crampon. Le joint se compose de deux éclisses réunies par quatre boulons ; dans les parties en crémaillère, on a placé au milieu de la longueur du rail deux éclisses de 0,20 maintenues par deux boulons.

Les quatre boulons de la grande éclisse pèsent chacun 0^{kg},360 et ont un diamètre de tige de 0^m,024 ; les deux boulons centraux ont un espacement de 0^m,118 et chacun d'eux est distant de 0^m,120 du boulon extrême voisin.

Les traverses sont en bois de chêne et ont 1^m,80 de long.

Il y a quatre longueurs de rails pour les courbes : 9,558, 9,580, 9,560, 9,540.

Le surhaussement en courbes de 100 mètres sur les sections à adhérence est de 60 millimètres et le surécartement de 0^m,020.

Dans les sections à crémaillère, le devers et le surécartement sont très faibles.

Crémaillère. — La crémaillère est du système Riggerbach (voir fig. 5).

Elle est formée de fers en \sqsupset dans l'âme verticale desquels sont rivés à froid des échelons formés de fer à section trapézoïdale.

La section découpée dans les limons est nécessairement trapézoïdale, ce qui empêche toute rotation des barreaux sous la pression de la roue dentée.

Le poids est de 74 kilogrammes le mètre courant.

Le métal des dents et des limons est essayé sous une charge de

42 kilogrammes par millimètre carré de résistance et doit donner 27 p. 100 d'allongement sur une éprouvette de 0^m,20 de longueur.

Berner Oberland Bahn.

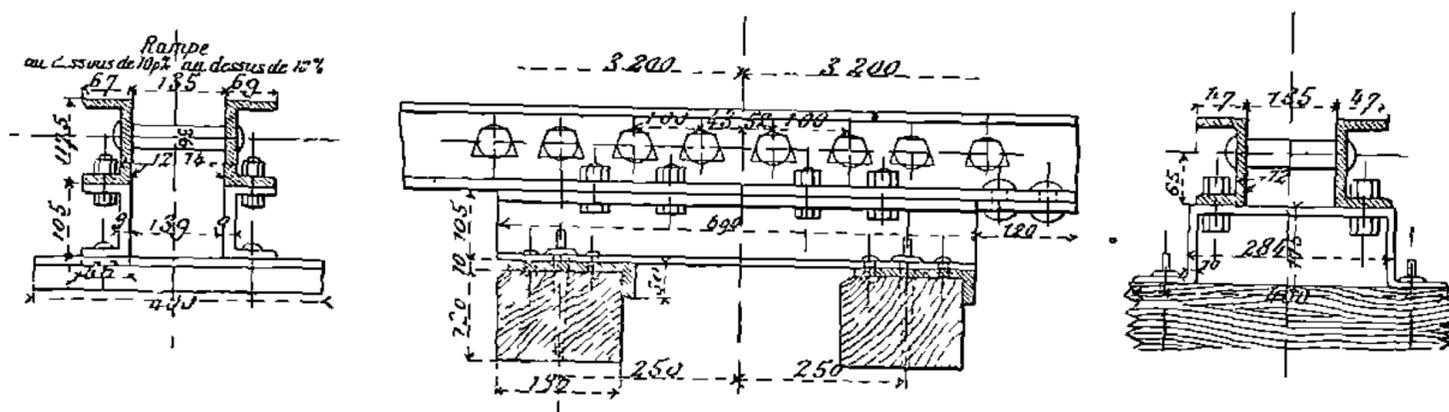


Fig 5. — Crémaillère et joint.

Au bureau d'essai fédéral, des dents ont résisté à une pression de 40 tonnes.

Le tronçon de crémaillère a 3^m,20, ses limons ont 12 millimètres d'épaisseur en rampe au-dessous de 10 p. 100 et 14 au-dessus. L'espacement des limons est de 0^m,135, la longueur totale de la dent 0^m,160

La section trapézoïdale a 0^m,036 de hauteur, les dents sont espacées de 0^m,100 d'axe en axe.

Les limons sont des fers cornières de 0^m,117 de hauteur et de 12 ou 14 millimètres d'épaisseur comme nous venons de le dire.

La largeur des semelles est de 0^m,67.

Au droit des joints la crémaillère repose sur des fers à \square de 0^m,009 d'épaisseur, espacés entre eux de 0^m,139 avec une semelle de 0^m,66.

En pleine voie, la crémaillère repose sur des fers en \square de 0^m,284 de largeur, 115 de hauteur et 10 d'épaisseur.

Ces fers reposent sur les traverses en bois par leurs semelles qui se prolongent verticalement de 0^m,050 et qui épousent les formes de la traverse. (Voir croquis.)

On remarquera que sous l'action de la pression de la roue dentée, le dernier échelon contigu au joint d'aval, au bas de chaque tronçon, tend à cisailer le métal des montants verticaux. Pour parer à cet effet, le dernier échelon d'aval est plus éloigné du joint que le premier d'amont. Avec la division de 100 millimètres on prend

généralement l'axe de l'échelon d'aval à 0^m,057 du joint, celui d'amont à 0^m,043.

Le métal des échelons et des limons est le fer fondu (flusseisen) au procédé Thomas.

On a employé pour s'opposer au cheminement éventuel de la crémaillère des blocs de béton de 2 mètres de hauteur sur 1^m,50 de largeur intercalés tous les 100 mètres.

L'avantage, très réel, des supports de cette crémaillère est de faciliter le nettoyage et l'enlèvement des neiges en hiver.

Il n'a été prévu aucun branchement à crémaillère.

Chaque section de voie à crémaillère est terminée à ses deux extrémités par *des pièces d'entrée* qui présentent avec les tronçons ordinaires certaines différences.

Les échelons sont cylindriques et mobiles autour de leur axe au lieu d'être trapézoïdaux et fixes. Le pas des seize premières dents est de 104 millimètres et 101 millimètres pour les deux suivantes. La pièce repose sur des ressorts en spirale et est reliée au tronçon voisin par une charnière horizontale qui permet son déplacement vertical.

La mobilité des échelons et les déplacements verticaux de la pièce facilitent, à la roue dentée de la machine, son engrenage avec la crémaillère.

Enfin les limons se prolongent au delà des échelons, ce qui permet d'éviter les déraillements.

L'entrée des crémaillères se fait en rampe de 20 millimètres à 35 millimètres. Le mécanicien doit aborder le tronçon avec une vitesse très réduite et ne faire agir la vapeur dans le cylindre d'engrenages que peu à peu. Nous avons toujours constaté que les trains abordaient la crémaillère avec la vitesse d'un homme au pas et que la vapeur n'agissait à toute puissance qu'après l'entrée du dernier wagon.

Les crémaillères à l'entrée et à la sortie sont signalées de jour et de nuit par des signaux fixes de ralentissement.

Matériel roulant. — Au premier mai 1906 le parc se composait de : 29 voitures et 14 fourgons et wagons.

Les voitures sont à trois et quatre essieux; 24 du premier genre et 5 du second. Elles sont toutes à couloir central d'après le règlement fédéral du 23 décembre 1872.

Tout le matériel est à tamponnage unique et central; la tige de traction passe au milieu du tampon qui est creux et où elle est fixée par une goupille. Depuis trois ans on a ajouté un câble de sûreté en acier qui remplace avantageusement les chaînes.

Toutes les voitures sont munies d'un frein à main et d'un frein à vapeur système Klose.

Ce dernier se compose d'un cylindre de bronze de 12 centimètres de diamètre. La course du piston est 0,44; la tige traverse les plateaux qui sont vissés et vient buter contre deux ressorts offrant une tension de 6.300 kilogrammes.

Tant que la vapeur agit, ces ressorts en spirale sont en quelque sorte aplatis, mais si le mécanicien veut provoquer l'arrêt ou le ralentissement et qu'il diminue ou fasse cesser la pression (4 kilogrammes), les deux ressorts repoussent la tige du piston qui, à son autre extrémité, commande, par un système d'articulation, les sabots de frein.

Nous avons vu que les voitures sont à trois ou quatre essieux. Elles sont toutes munies d'une roue dentée, les premières sur l'un des axes du boggie, les autres sur l'essieu du milieu. Ces roues dentées sont en acier fondu et ont seize dents de 0^m,10. Elles sont folles sur leurs essieux et de chaque côté se trouvent deux poulies à frein de friction dont le serrage est commandé par le système Klose. D'après le règlement fédéral un seul véhicule freiné doit retenir tout le train et provoquer l'arrêt.

Les roues dentées dans les voitures à trois essieux sont montées sur essieux convergents munis d'articulation spéciale.

Le frein à main est réuni au frein à vapeur et peut le faire agir sans l'aide du mécanicien.

Les voitures sont, nous l'avons dit, au nombre de vingt-neuf et sont chauffées à la vapeur, du moins celles qui font le service d'hiver. Les banquettes sont perpendiculaires au couloir central. Il y a deux places de chaque côté du couloir. Plusieurs voitures sont munies à l'avant d'un fourgon à bagages et ont quarante places dispo.

nibles dont huit en deuxième classe et trente-deux en troisième classe.

Voici, du reste, le tableau du matériel : Eclairage au pétrole : Lampes aux parois. Poids moyen par essieu : 2 tonnes 38.

	Série	Nombre	Année	Taxe tonnes	Places par voiture		Empattement total
					2 ^e cl.	3 ^e cl.	
Voitures fourgons	B ³	4	1890	7.50	40		6 ^m , 20 long. t ^{le} 9, 98
	—	1	1901	5.70			
	—	1		8.50	24		
Voitures fourgons	B C ³	8	1890	7.70	46	24	6 ^m long t ^{le} 9.78
	C ³	4				40	
	—	2	1901	5.70			
Voitures fourgons	C E ³	2	1890	7.50		16	8 ^m , 35 long. t ^{le} 12.37
	B ⁴	2	1893	9.50	56		
	B C L ⁴	1	1892	9.50	8	32	
Voitures fourgons	C L ⁴	4	1897	8.50		56	8 ^m , 211 long. t ^{le} 12.231

le tableau a été établi pour 1905 avant la livraison du nouveau matériel.

Les trois fourgons à bagages ont un empattement de 6 mètres et une longueur, tampons compris, de 9^m,78 (longueur 8.89), une largeur de 2^m,36 et une hauteur de 2^m,07. La surface du plancher est de 15.90.

Ils pèsent 9^t,35 et ont une capacité de 10 tonnes. Ils sont munis de water-closets. Ils sont à trois essieux.

Les wagons à marchandises sont au nombre de dix dont quatre couverts et six découverts, avec une capacité de 28^m³,45. Ils ont tous un empattement de 3^m,50 et une longueur entre tampons de 7^m,76. Ils sont tous munis du frein à main et du frein Klose sur roue dentée et adhérente. Ils sont à deux essieux.

Leur capacité de chargement est 10 tonnes avec une tare de 5^t,3.
Dimensions de la caisse :

$$\begin{aligned} \text{Wagons couverts} & \cdot \cdot \cdot 6^{\text{m}}, 35 \times 2^{\text{m}}, 21 \times 2^{\text{m}}, 10 = 14.03 \\ \text{— découverts} & \cdot \cdot \cdot 6^{\text{m}}, 43 \times 2^{\text{m}}, 20 \times \frac{100}{0.65} = 14.15 \\ \text{Poids moyen par essieu} & \quad 2 \text{ tonnes } 55 \end{aligned}$$

Locomotives. — On fut amené à choisir la traction par la vapeur en raison des difficultés qu'auraient présenté pour une usine électrique les variations de débit trop considérables de la Lüttschine.

Trois types de locomotives furent successivement étudiés et employés.

1^{er} type. — Ces locomotives, au nombre de huit, sont à quatre cylindres et trois essieux couplés, avec essieu indépendant pour la roue dentée, à crémaillère. Deux cylindres extérieurs conduisent par bielle et manivelle l'essieu porteur du milieu, lequel est couplé avec les essieux porteurs avant et arrière. Les cylindres intérieurs attaquent un faux essieu commandant par pignon la roue dentée motrice. Les quatre cylindres sont à simple expansion et indépendants par paires.

La roue dentée motrice est folle sur l'essieu. Sur l'essieu avant une roue dentée folle, est munie de chaque côté de poulies à cannelures, elle ne sert que pour le freinage.

Par suite de la grandeur des roues dentées, les dents viennent en contact sur une longueur d'un pas et demi et leur épaisseur au contact est de 48 millimètres. Les dents sont calculées pour une résistance à la rupture de 100 tonnes, celles de la crémaillère 40 tonnes, une seule roue motrice est donc suffisante.

Le mécanisme de transmission de la roue dentée est monté sur un châssis, situé entre les deux essieux d'avant. Il est muni de paliers à coussinets. Sa construction met les pièces du mécanisme à l'abri du contact des ressorts de suspension au nombre de six et de 700 millimètres de longueur. Il y a de plus deux balanciers pour la répartition des poids.

Les locomotives sont munies de trois sortes de frein.

- | | |
|---|--------------------------|
| 1° Frein de friction sur les roues dentées. | } manœuvrés
à la main |
| 2° Frein sur roues d'adhérence | |
| 3° Frein contre vapeur | |

Enfin le frein à vapeur Klose qui n'agit que sur les wagons.

Dimensions principales

Pression.	12 kg.	Réservoir à eau	2.500 l	
Surface de chauffe	61 m ²	Soute à charbon	750 kg.	
Surface de grille	0.92	Poids vide	23 t. 6	
	Poids en service.		28 t. 5.	
Effort de traction	40 000 k.	Diamètre de la roue den-		
Diamètre des cylindres	320	tée	764 ^{mm}	
Course {	adhérence	450	Diamètre du pignon	414 ^{mm}
	roue dentée	400	Rapport d'engrenages.	1 . 1.84
Introduction maxima	78 0/0	Prix de fabrication	54.500 fr	

La distribution est du système Heusinger de Waldek.

2^e type. — Ce type est beaucoup trop faible pour des déclivités de 120 millimètres ; une seule machine fonctionne tant bien que mal.

3^e type. — La locomotive se compose d'une machine à adhérence à trois essieux couplés, d'une machine à crémaillère à un seul essieu, placé entre l'essieu avant d'adhérence et l'essieu milieu fixé à un châssis intérieur.

Le mécanisme de la crémaillère se compose de pignons engrenant avec deux roues dentées montées sur l'arbre de la crémaillère et faisant corps avec elle.

L'essieu avant porte une crémaillère folle qui ne sert que pour le freinage au moyen de deux disques à cannelures qui lui sont accolés. Les quatre cylindres sont placés par paire, de chaque côté de la machine et placés l'un au-dessus de l'autre. Tout le mouvement est extérieur. La distribution est d'Heusinger. Les tringles de commande des coulisseaux sont réunis par une bielle de suspension. Ces machines pèsent 28 tonnes. Leurs chaudières ne sont pas inclinées et les dômes sont munis de deux soupapes Popp. A l'arrière est un brûleur de fumée commandé par une prise de vapeur.

Le pignon de commande de la crémaillère porte sur son axe, accolée au plateau manivelle, une poulie à cannelure pour le frein à ruban.

La barre unique de relevage commande les quatre tiroirs. Le mouvement se fait facilement et n'exige aucun effort.

Dans le service d'adhérence, la vapeur s'échappe librement dans l'atmosphère à sa sortie des cylindres. Si nous étudions mainte-

nant la machine à crémaillère, nous voyons que le mécanicien peut, au moyen d'un appareil spécial, placé sur la traverse avant et manœuvré de la plateforme, à l'aide d'une manivelle à vapeur, mettre en communication les cylindres d'adhérence et de crémaillère et faire travailler la locomotive en compound.

$$\text{Effort de traction} \left\{ \begin{array}{l} \text{adhérence} \quad . \quad . \quad 5.000 \text{ kg.} \\ \text{crémaillère} \quad . \quad . \quad 6.000 \text{ —} \end{array} \right\} 11.000$$

DIMENSIONS PRINCIPALES :

A. — *Mouvement d'adhérence.*

Largeur	1 ^m
Diamètre des cylindres	380 ^{mm}
Course	450 —
Diamètre des roues	910 —
Nombre d'essieux	3
Ecartement des essieux extrêmes	3 ^m ,100
Effort de traction	5000 kg.

B. — *Mouvement à crémaillère.*

Diamètres des cylindres	380 ^{mm}
Course	450 —
Rapport d'engrenages	1 : 2,2
Diamètre des roues dentées	860 ^{mm}
Effort de traction	6000 kg.

C. — *Chaudière.*

Surface de chauffe totale	62 ^{m²} ,2	
Grille	1 ^{m²} ,3	
Pression	14 kgs	
Réservoir d'eau	2800 litres	
Soute à charbon	800 kgs	
Poids à vide	23500 —	$\left\{ \begin{array}{l} \text{E av. 9700} \\ \text{E m. 10100} \\ \text{E arr. 10200} \end{array} \right.$
Poids en service	30000 —	

Exploitation. — La direction occupe cinq personnes.

Le personnel permanent des autres services comprend cent dix sept personnes, ce qui porte le total à cent vingt-deux, soit 3,96 par kilomètre.

La loi fédérale sur le repos hebdomadaire est très rigoureusement appliquée.

Il n'y a que deux classes de voyageurs : deuxième et troisième classes.

Simple course : 0 fr. 25 en deuxième classe et 0 fr. 15 en troisième classe par kilomètre.

Aller et retour : 0 fr. 40 en deuxième classe et 0 fr. 24 en troisième classe par kilomètre.

Ces prix sont ceux de simple course, doublés et diminués de 20 p. 100.

Les habitants des villages situés sur la ligne, les communes de Unterscen et Ruiggenberg, Gsteig, Grindelwald et Lauterbrunnen jouissent pendant l'année d'une réduction de 50 p. 100 en troisième classe.

Les tarifs pour les sociétés d'au moins seize personnes sont diminués de 30 p. 100.

Les marchandises sont tarifées de la manière suivante :

	Grande vitesse	Petite vitesse					
		Colis isolés		Wagons (complets)			
		1	2	classe	Tarifs spéciaux		
				A	1	2	3
Taxe par 100 kgs en centimes.							
Taxe générale par kilomètre.	3.4	1.7	1.35	1.35	1.1	0.95	0.8
Frais d'expédition							
De 1-20 kilomètres . . .	48	10	10	7.5	6	6	6
De 21-40 kilomètres (Au-dessus de 41) . . .	0.45	0.25	0.25	0.375	0.2	0.2	0.2

Voie et traction. — En 1907-1908, les traverses en bois seront remplacées par des traverses en fer de 1^m,80 de longueur, pesant 37 kilogrammes ; elles reviendront à 5 fr. 70 prises à Interlaken ; celles en bois coûtent actuellement 6 fr. 30.

Il y a sept garde-voies ayant 4 kilomètres de voie à parcourir quatre fois par jour ; les garde-barrières sont des femmes. Le nombre total des employés est de vingt-deux.

En pleine saison, le personnel de la traction comprend, pour onze locomotives :

16 mécaniciens.

18 chauffeurs (plusieurs faisant fonctions de nettoyeurs).

2 ouvriers (1 ajusteur et 1 menuisier).

Total : 36 personnes

En plus, quatre visiteurs, un lampiste, soit quarante et un (permanent).

II. — LIGNE DE LAUTERBRUNNEN A MURREN.

Cette section comprend un funiculaire de Lauterbrunnen à Grütsch et un chemin de fer électrique de Grütsch à Murren.

A. LIGNE DE LAUTERBRUNNEN A GRÜTSCH.

Stations	Hauteurs	Distances		
		du point initial	du terminus	entre stations
Lauterbrunnen..	813 ^m ,30	0	1207	1207
Grütschalp	1485 ^m ,80	1207	0	

La gare du funiculaire est située au nord de Lauterbrunnen ; on a construit une route de 110 mètres de longueur en rampe de 10 p. 100 partant de l'Hôtel Steinbock et y conduisant.

Le tracé gravit les rampes du Grütschalp sur une longueur de 1.381 mètres et présente une rampe moyenne de 55.47 p. 100 : la différence de niveau entre les deux points terminus est de 670 mètres.

On a autant que possible évité les changements de pente dans les évitements. Ils sont arrondis de façon que le câble repose toujours sur les poulies. Le raccordement s'exécute en parabole.

D'après Vautier on peut les calculer comme suit :

l'' Longueur de la projection horizontale du raccordement du câble au point de changement de pente ;

$\text{tg } \alpha$ Inclinaison de la voie à la station inférieure ;

T Effort de traction maximum du câble en kilogrammes ;

H Différence totale d'altitude en mètres ;

p Poids du câble en kilogrammes en mètres ;

$\text{tg} \alpha'$, $\text{tg} \alpha''$ les pentes des deux tronçons adjacents ;

P poids de la voiture chargée en kilogrammes ;

f ordonnée de la courbe du câble au point de changement de pente ;

W Résistances totales.

On a

$$l'' = \frac{T}{P} (\text{tg} \alpha' - \text{tg} \alpha'')$$

$$T = P \sin \alpha + p H + W$$

$$f = \frac{l'' (\text{tg} \alpha' - \text{tg} \alpha'')}{8}$$

Ligne de Lauterbrunnen à Grutsch

Profil en long.

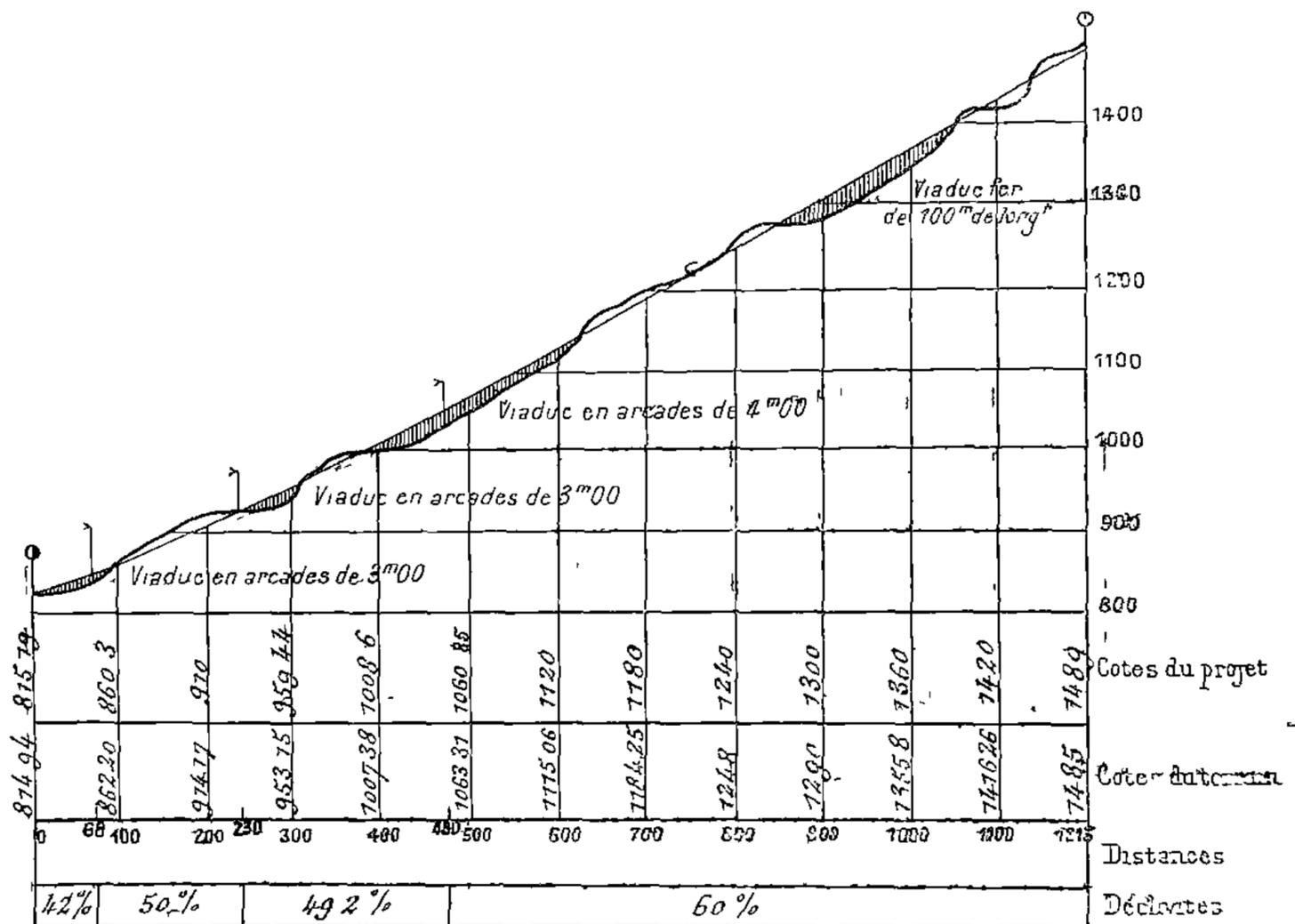


Fig. 6.

Dans un funiculaire, le choix du profil en long est de la plus grande importance. On cherche aujourd'hui à adapter le plus possible le profil en long au tracé de la chaînette. Les différences avec

le profil théorique conduisent à une augmentation appréciable de la force motrice et par contre-coup à des voitures plus lourdes et à des câbles plus pesants.

Les ingénieurs suisses partent de ce principe qu'afin d'éliminer l'influence du poids du câble sur la régularité et l'intensité de l'effort de traction, il faut que la pente aille en augmentant progressivement de bas en haut, de façon à compenser le poids du câble.

Au funiculaire de Lauterbrunnen-Grütsch, la traction avait lieu au moyen d'un contrepoids d'eau. La voiture descendante donnait une charge variable par la vidange progressive de la caisse à eau. On y a renoncé et actuellement la traction est électrique.

Ligne de Lauterbrunnen à Grütsch.

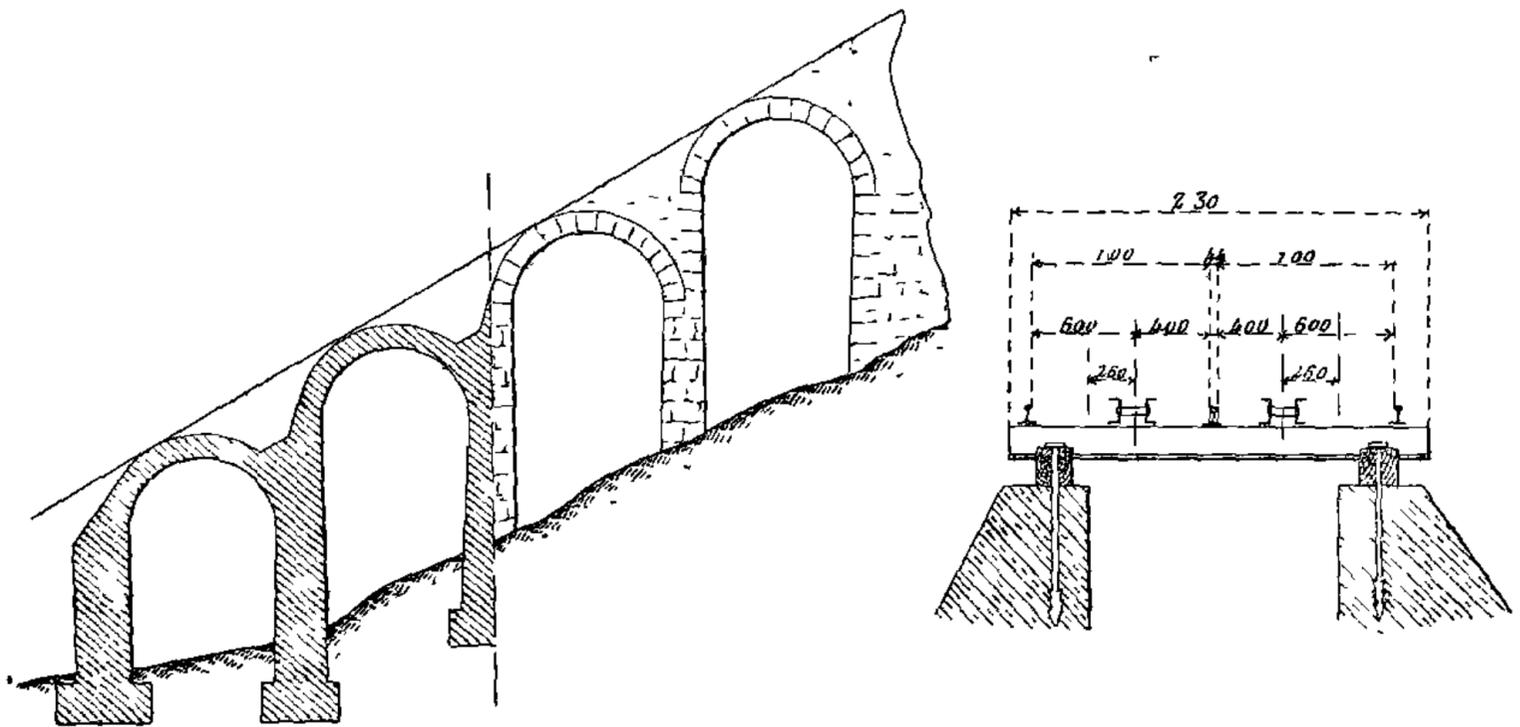


Fig. 7. — Viaducs et profil de la voie.

Infrastructure et superstructure. — L'infrastructure a 1.393 mètres de longueur et a exigé 11.000 mètres cubes de maçonnerie de moellons, soit $7^{\text{m}^3},8 \text{ m}$.

La maçonnerie a coûté en moyenne 23 francs à établir.

La ligne est à trois rails, la courbe de croisement a 1.000 mètres de rayon et 84 mètres de longueur. Ici la largeur de la voie est de 3 mètres. Le rail pèse 20 kilogrammes et a 100 millimètres de hauteur, il y en a trois files ; les crémaillères sont du

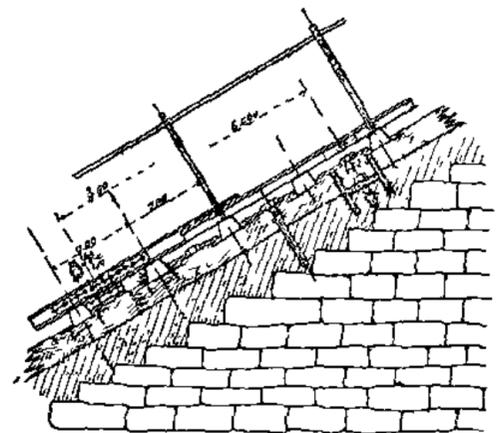


Fig. 8. — Croquis de la voie.

système Riggenbach. L'écartement entre les rails est de 1 mètre.

Les traverses sont en fer zorès  de 127 millimètres de hauteur et de 305 millimètres et 97 millimètres de largeur de base. Elles ont 2^m,30 de largeur (*fig. 8*) et reposent sur des longrines, en mélèze du Valais, et celles-ci sur les murs de soutènement. Elles ont 6 mètres de longueur, 0^m,18 de hauteur et 0^m,21 de largeur. Les traverses et les longrines sont fixées par des boulons à leur point de croisement et scellées de 2 mètres en 2 mètres dans la maçonnerie. On avait intercalé entre les longrines des massifs de béton pour éviter le cheminement de la voie et décharger les boulons de scellement. Il y a trois ans, on les a remplacés par des fers **I** à posés à plat et noyés d'un côté dans la maçonnerie. Fortement scellés par un boulon, ils ont 0^m,40 de longueur et 0^m,50 de large.

Le poids du rail, nous l'avons dit, est de 20 kilogrammes, et celui du mètre courant de voie, 285 kilogrammes. Les rails ont 6 mètres de longueur.

Il y a 115 mètres cubes de longrines ayant coûté 12.880 francs, soit 112 francs le mètre cube.

L'exploitation funiculaire ne produit qu'un faible travail de la crémaillère et son usure est à peine visible après de nombreuses années. Toutefois, à la descente, une action trop rapide des freins peut la fatiguer et occasionner un travail de résistance qui dépasse la limite permise. Par un freinage rapide, la force vive agissant au centre de gravité de la voiture et parallèlement à la voie, produit un moment dont le bras de levier est la distance séparant le centre de gravité de la voiture, de la ligne de contact de la crémaillère. Ce moment charge l'essieu inférieur et décharge le supérieur. La stabilité du véhicule sera donc mieux assurée en employant un grand écartement d'essieux et en plaçant le centre de gravité le plus bas possible, on chargera autant que possible l'essieu du haut.

A la descente, l'effort sur une dent peut amener un soulèvement, soit :

V. Vitesse de marche en mètres par seconde.

s. Longueur parcourue pendant le freinage.

g. Accélération de la pesanteur.

G. Le poids de la voiture en kilogrammes.

M. Strub, à qui nous devons de précieux renseignements, donne la formule suivante pour l'effort maxima sur une dent

$$Z_{\max} = G \left[\frac{V^2}{g s} + \sin \alpha \right]$$

La dimension des dents de la crémaillère devra être calculée au moyen de cette valeur Z (croquis n° 9).

L'effort Z sur une dent peut se décomposer en deux forces Z' et Z'' l'un suivant la face de la dent, l'autre perpendiculaire à cette face Z' tend à décharger la dent; Z'' a une tendance à favoriser le sou-

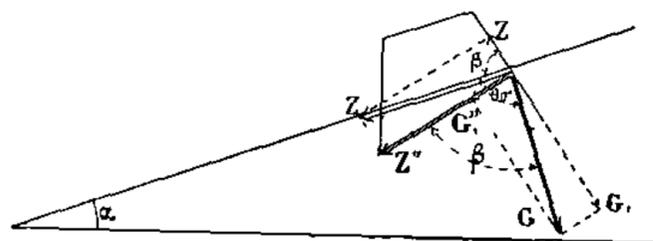


Fig. 9.

lèvement par le frottement. Le poids G de la voiture agit de la manière suivante : la composante G'' augmente l'effort Z'' et par conséquent le frottement qui peut amener le soulèvement; la composante G' tend à l'empêcher. La condition pour qu'il ne se produise pas est donnée par l'inégalité :

$$G \geq Z' + f(Z'' + G'')$$

(f coefficient de frottement de la roue dentée sur la crémaillère).

On voit donc que l'on peut avoir une certaine sécurité avec un bon graissage de l'engrenage et une bonne répartition du freinage.

Les nouveaux systèmes de freins actuellement en service ont diminué le chemin parcouru pendant le freinage et l'ont limité de 1 mètre à 4, en le rendant aussi constant que possible. Nous en parlerons plus loin.

En admettant que l'effort sur une dent augmente b fois pendant le freinage, supposons beta l'angle d'inclinaison de la face de la dent sur la voie, posons

$$\cos \beta = p \text{ et } \sin \beta = q,$$

la limite de déclivité de la voie possible est alors, d'après M. Strub :

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{a (q - f p)}{b (b - f g)}$$

a étant la partie de la voiture qui doit reposer sur l'essieu freiné pour empêcher le soulèvement.

Le coefficient b donnant le plus grand effort est

$$b = 1 + \frac{V^2}{s q \sin \alpha}$$

On s'est servi d'abord des câbles à enroulement croisé, mais on les a définitivement abandonnés et l'on ne se sert plus actuellement que du procédé Lang, qui offre certains avantages : surface de contact plus grande, câbles lisses qui prennent l'apparence d'une tige de métal flexible ; les fils usés ne se rompent pas sur le pourtour comme c'est le cas des câbles d'ancienne construction. Les fils sont plus rapprochés de l'axe et offrent de grandes surfaces à l'usure et préviennent ainsi une rupture isolée de quelques tronçons. Outre ces deux systèmes de câbles, on emploie pour les funiculaires à traction par contrepoids d'eau, un troisième système dit du câble fermé. C'est ici notre cas. Nous avons dit plus haut que le Grüstch-Lauterbrunnen avait été à contrepoids d'eau. Depuis deux ans, ce système d'exploitation a été supprimé et remplacé par la traction électrique, le câble était fermé, et nous allons parler de sa fabrication. Il est resté en service jusqu'en 1904. Dans le câble fermé, tous les fils sont placés en couches concentriques ; à l'intérieur, on trouve une à deux couches de fils de diamètre plus petit et de fils à section polygonale.

Aux fils ronds en partant du centre succèdent les fils à sections de forme annulaire et à ceux-ci des fils à section en 8.

Les fils de deux couches sont tordus en hélice. (Renseignements de M. Strub.)

Tandis qu'on est allé jusqu'à une résistance de 175 kilogrammes par millimètre carré pour les câbles à fils ronds, on se borne pour les câbles fermés à 150 kilogrammes. Il y a deux ans, on a placé un nouveau câble, et c'est à regret qu'on a abandonné le câble fermé pour lui substituer un câble *lang*, car la surface lisse pour

La traction avec moteur exigeait un enroulement plus fort sur les poulies de renvoi.

Le câble actuel est composé de 126 fils de 2^{mm},63 à l'extérieur et de 72 de 1^{mm},3 à l'intérieur. Il a 33^{mm},6 de diamètre et pèse 3^{kg},66 par mètre.

Il est calculé pour traîner 7.460 kilogrammes; sa charge de rupture est de 68 tonnes. Les fils ont été essayés avec une charge de rupture de 159 kilogrammes par millimètre carré.

Ordonnance fédérale des essais des câbles.

« *Art. 1^{er}.* Avant de faire l'acquisition d'un câble, la Compagnie devra adresser au département fédéral des chemins de fer, un projet contenant les dimensions et la composition du câble; des données sur la résistance des matériaux à employer; le calcul du travail maximum normal du câble et sa résistance prévue à la rupture et des indications sur les différents diamètres des galets et des poulies et sur les angles correspondants au pourtour de contact du câble sur ces appareils.

« *Art. 2.* Dans le calcul du travail normal maximum du câble, on tiendra compte de la position et de la charge la plus défavorable du train, du poids et de la raideur du câble, des résistances de frottement des voitures, ainsi que des galets porteurs et des galets et poulies de renvoi.

« *Art. 3.* Les câbles devront remplir les conditions suivantes :

« *a.* Le câble devra être souple et se plier facilement ;

« *b.* La résistance du câble à la rupture devra être au moins huit fois la charge maxima atteinte dans l'exploitation normale.

« *c.* La résistance du métal des fils, à la traction ne dépassera pas 15 tonnes par centimètre carré. Lorsque les conditions du tracé sont défavorables, cette résistance ne devra pas dépasser 12 tonnes par centimètre carré.

« *d.* L'allongement ne sera pas inférieur à 3 p. 100.

« *e.* Le travail de torsion sera de 5,5 centimètres-tonne, par centimètre cube.

« *f.* Les fils avant de rompre, devront supporter 10 pliages à

180° autour d'une broche d'un diamètre cinq fois plus grand que celui des fils.

« *Art. 4.* Les épreuves auront lieu au laboratoire de l'école polytechnique de Zurich à qui on devra remettre un tronçon de câble.

« Le procès-verbal des essais sera transmis au département fédérale des chemins de fer qui statuera aussitôt sur la mise en service du câble.

« Les essais consistent : épreuves à la rupture sur le tronçon de câble envoyé ; épreuves de résistance à la rupture, à la torsion, au pliage avec tous les fils d'un toron.

« *Art. 5.* L'attache des câbles se fera conformément aux instructions du département. Le département doit être prévenu du jour où se fera l'attache d'un câble afin que le contrôle puisse y assister.

« *Art. 6.* La surveillance du câble pendant l'exploitation consistera :

« *a.* Visite journalière du câble et de ses attaches par des agents qualifiés de la ligne.

« *b.* Revision minutieuse du câble par un ingénieur de la ligne. Cette revision obligatoire est mensuelle.

« On devra relever le nombre et la position des fils rompus. On mesurera l'allongement du câble, aussi exactement que possible.

« Si l'on constate des ruptures de fils ou d'autres irrégularités, les visites devront être plus fréquentes.

« Pour les lignes qui n'exploitent que l'été une revision se fera après le clôture de la saison et l'autre au printemps avant l'ouverture de la ligne.

« Tous les procès-verbaux de visite régulière et de revision seront transmis immédiatement au département fédéral.

« Si l'on observait quelque chose d'anormal on devrait prévenir de suite l'inspection du contrôle.

« Pour chaque câble un registre est établi où sont consignés tous les faits observés, ainsi que les visites et revisions.

« *Art. 7.* Le délai de remplacement sera fixé suivant les résultats donnés par l'inspection et en tenant compte de la durée du câble.

« Le câble remplacé sera soumis aux mêmes épreuves que le

câble neuf. On expédiera au laboratoire de Zurich un tronçon pris dans la partie la plus endommagée.

« Art. 8. Les frais de revision et d'épreuves sont à la charge de la compagnie.

« Art. 9. Les compagnies devront faire l'acquisition d'un câble de réserve. »

Instruction pour l'attache d'un câble

« L'attache du câble sera fait par des gens compétents et exécutée de la manière suivante :

« 1° Nettoyage de l'extrémité du câble.

« 2° Ligature provisoire *a* en arrière du point où le câble doit être coupé de manière à préserver les fils et obtenir une tranche nette.

« 3° Ligature très serrée au moyen de fils recuits de 1^{mm},5 d'épaisseur à une distance variant suivant le diamètre du câble de 15 à 25 centimètres. La ligature *b a* a pour but d'éviter le desserage des fils et le déplacement des torons.

« 4° Couper le câble et enlever la ligature *a*.

« 5° Ecarter les fils en forme de faisceau et enlever l'âme en chanvre jusqu'à la ligature *b*.

« 6° Nettoyer le faisceau de fils en le plongeant dans un vase de pétrole et frotter les fils avec du papier émeri.

« 7° Décaper les extrémités des fils.

« 8° Etamer les fils en les plongeant dans un bain d'étain.

« 9° Replier les fils et faire glisser la douille sur le faisceau.

« 10° Chauffer la douille sur un feu de charbon de bois.

« 11° Couler l'alliage dans la douille (alliage de cuivre 10 p. 100 + 10 p. 100 antimoine + 80 p. 100 étain).

« Le câble devra être placé dans l'axe vertical de la douille pendant l'opération. Il devra être noyé dans l'alliage sur quelques centimètres en arrière du faisceau.

« Après refroidissement la douille sera chassée en arrière pour permettre l'examen de la coulée.

« Les épreuves de résistance de l'article 4 peuvent être résumées de la manière suivante :

« Le tronçon de câble doit avoir 6^m,20 de longueur découpée dans le câble existant ; on fera trois ligatures de 10 à 12 centimètres de longueur à l'extrémité, à 1^m,20 et à l'autre extrémité du tronçon c'est à dire à 6^m,20, côté libre.

« L'envoi au laboratoire se fera sur une planche de longueur du tronçon ou poulie de 1^m,5 de diamètre. »

Nous allons terminer cette étude sur les câbles par le procès-verbal de l'essai du câble de Gurten près Berne qui nous a été communiqué.

DESCRIPTION DU CÂBLE

<i>a) Câble entier.</i>	<i>En son état de livraison.</i>
Diamètre du câble.	300
Ame.	chanvre.
Diamètre des fils	0.199 cm
Nombre des fils	114
Section d'un fil	0.0311 cm ²
Section de métal du câble	3.54 cm ²
Poids du câble par mètre.	3.16 kgs
Longueur d'un enroulement de toron.	25.7 cm
<i>Torons du câble.</i>	
Nombre de torons.	6
Diamètre des torons	1.0 cm
Diamètre de l'âme du toron.	0.6 cm
Nombre des fils du toron.	19
Nombre de fils de l'âme du toron	7
Longueur d'un enroulement du fil sur le toron.	7.4 cm

Matériel. — La voiture est à compartiments ouverts sur les côtés, au nombre de quatre et contenant quarante personnes, soit dix par compartiment ; aux extrémités, sont deux plateformes où se tient le conducteur qui a à sa portée l'appareil des freins.

Celle de devant (sens de la montée), peut contenir quinze personnes (assises et debout) ; celle d'arrière, sept personnes (assises).

Les crémaillères portent de chaque côté de leurs essieux, et accolées contre elles, deux roues à cannelures pour les freins à rubans.

Chaque véhicule est muni de :

- 2 freins à main ;
- 2 freins automatiques à régulateur centrifuge ;
- 2 freins de chute à contrepoids.

Le frein automatique entre en fonction en cas de rupture du câble ou bien lorsque la vitesse normale est dépassée. La rotation du tambour régulier est produite par une chaîne.

Le frein de chute à contrepoids à ressort agit sur des mâchoires qui viennent serrer fortement la tête du rail et qui provoque un arrêt presque instantané.

Le frein automatique à régulateur peut être déclenché au pied par le conducteur.

Les parties du frein automatique et du frein à main sont en acier fondu et viennent s'encastrent dans les cannelures des roues. L'écartement des cannelures est de 40 millimètres.

Renseignements divers. — Le personnel est temporaire, la durée de l'exploitation étant de cent soixante jours.

1° Dépenses de construction :	
Chemins de fer et installations fixes.	865.919 fr.
Matériel roulant, moteurs, câbles	30.422
Mobilier et accessoires.	5.220
	901.651
Total.	901.651
par kilomètre.	740.806
2° Matériel roulant :	
Parc : 2 voitures à voyageurs.	
4 essieux de voitures.	
120 places.	
4° Trafics :	
Voyageurs	49.134
» par kilomètre de ligne	49.134
» kilomètre	59.305
» par kilomètre de train	10.45
Bagages, marchandises, animaux	1.033 tonnes.
5° Recettes d'exploitation :	
Voyageurs	96.978
Bagages, animaux, marchandises	18.774
Recettes diverses	40
	115.792
Total.	115.792

Par kilomètre de ligne.	95.934
» de train.	20.41
Par voyageur kilomètre	1.63
6° Dépenses d'exploitation :	
Administration générale	5 961
Entretien et surveillance de la voie	8.428
Expédition et mouvement.	10.516
Traction et matériel	3.176
Dépenses diverses	9.539
Total.	37.620
Par kilomètre de ligne.	31.168
» de train.	6.63
0/0 des recettes d'exploitation	34.49 0/0

b) Chemin de fer électrique de Grütsch-Mürren

Ligne de Grütsch-Mürren

Profil en long

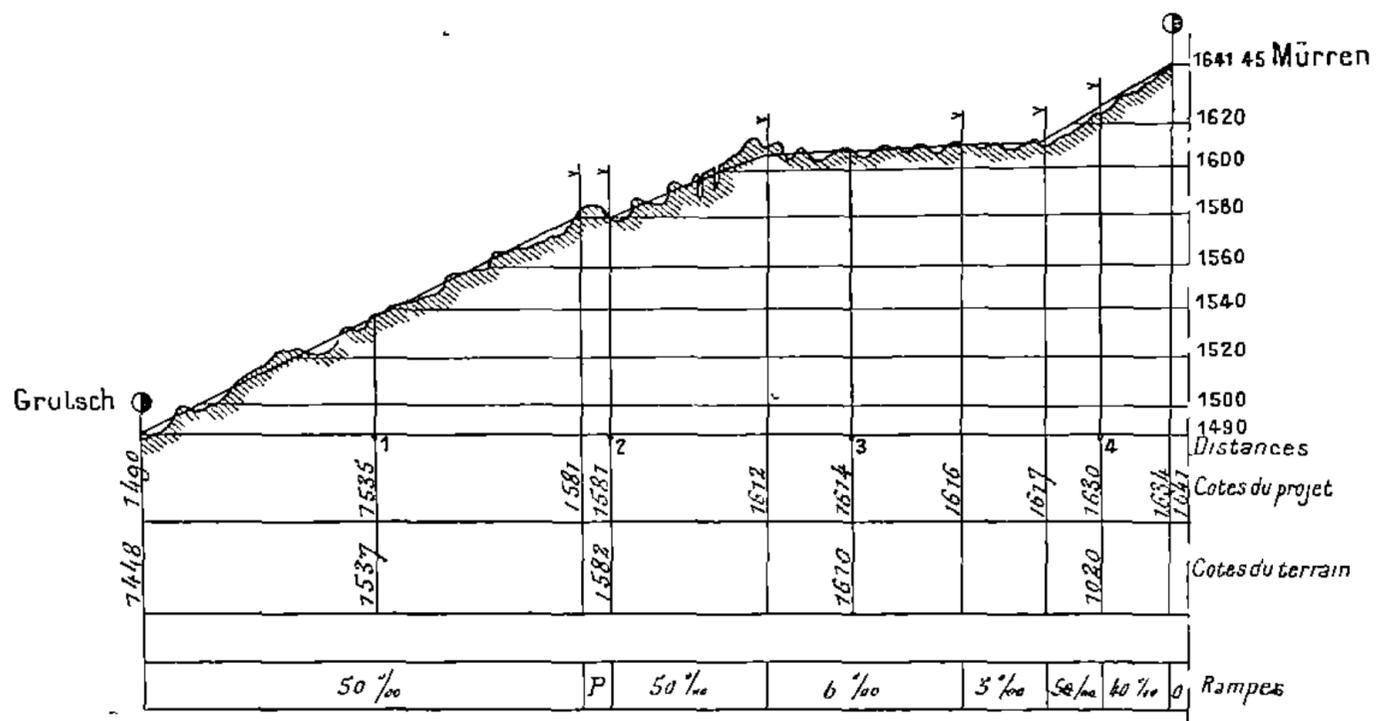


Fig. 10.

Nous ne donnons de renseignements que sur le matériel moteur.

Trois locomotives à deux moteurs électriques, prise de courant à archet, de vingt-cinq chevaux (croquis 11). Roue motrice de 0^m,740.

Les moteurs à quatre pôles sont montés en série et font quatre cent cinquante-six tours sous une tension de cinq cent cinquante volts.

Le poids à vide est de 7.15 et 8.78 tonnes ; chargés, 10 tonnes 20 ; le rapport d'engrenages est de 1 : 3.96. Ils ont 4^m,9 de longueur et 3^m,05 de hauteur, avec un empattement de 2 mètres. Construits à Oerlikon, ils peuvent faire 16 kilomètres à l'heure. Ils sont pourvus du frein électrique et du frein à main.

Les dents du pignon sont en métal delta, et les dents de la roue en acier fondu. Cette année, on a relevé 1/4 de millimètre d'usure après six ans de

marche. Les dents baignent dans l'huile : c'est ce qui explique le peu d'usure constatée. Les moteurs sont enfermés dans des boîtes en tôle qui les préservent des poussières et de l'humidité.

La perche est munie d'un plomb de sûreté qui communique avec l'appareil contre la foudre. De là, le courant se dirige vers l'interrupteur et aux moteurs. Les balais des collecteurs sont en charbon, du type américain. Ils peuvent être entretenus de la plateforme du locomoteur au moyen de trappes percées dans le plancher.

Les freins permettent l'arrêt en 12 mètres, avec une vitesse initiale de 11 kilomètres. Au commencement, ces locomotives ont rendu de très mauvais services. Les trains à pleine charge ne pouvaient gravir les rampes de 5 p. 100, car le poids adhérent n'était que de sept tonnes ; leur force de traction, avec 1/6 d'adhérence, ne dépassait pas 1.160 kilogrammes pendant que la résistance en alignement atteignait $(30 + 50) 16 = 1.280$ kilogrammes et plus encore en courbe. Il fallait diminuer la charge d'un tiers. Aussi a-t-on porté leur poids à dix tonnes.

En palier, le courant atteint 70 ampères, 75 en rampe de 50 p. 1000 sous cinq cent cinquante volts.

Il y a quatre voitures pouvant contenir quarante places ; elles ont 5 mètres d'empattement et 10^m,142 de tampons à tampons. Elles sont portées sur boggies et ont un attelage rigide à clavette. Elles sont éclairées à l'électricité et munies de freins.

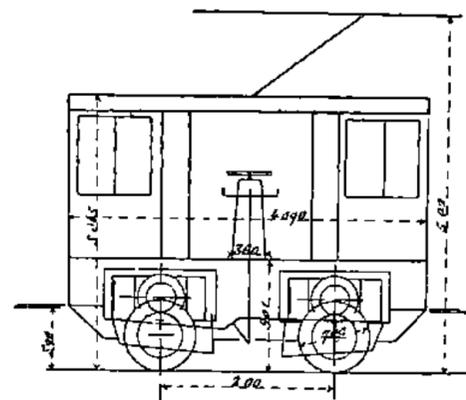


Fig. 11
Croquis du Locomoteur.

III. — LIGNES A CRÉMAILLÈRE

1° *Wengernalp*

Tracé. — Le train quitte la gare de Lauterbrunnen, commune aux deux compagnies, traverse la Lutschine et, s'accrochant aux parois escarpées des contreforts du Lauberhorn, gravit la longue rampe de 25 p. 100 qui sépare Lauterbrunnen de Wengen. C'est la partie la plus difficile, les travaux d'art se rencontrent très nombreux ainsi que les courbes à faible rayon. A partir de Wengen, le tracé est moins accidenté ; la ligne s'élève graduellement par des prairies, en rampe moyenne de 13.44 p. 100, pour arriver à Wengernalp ; cette station dessert un hôtel-pension situé en face de la Jungfrau. Elle quitte Wengernalp et cotoie les alpages du Lauterbrunnen pour arriver à la gare de la Scheidegg.

A partir d'Alpiglen, qui est plutôt une gare de croisement avec prise d'eau, la déclivité s'accroît et monte à 25 p. 100, la moyenne jusqu'au Grund (gare de la Wengernalpbahn avec dépôts et ateliers) est de 19.27 p. 100.

De Grund, l'on remonte à Grindelwald (gare de l'Oberland), en rampe de 9.82 p. 100.

Infrastructure. — Les règles générales adoptées sont celles de l'Oberland ; nous n'y insisterons pas.

Superstructure. — La voie est à l'écartement de 80 centimètres ; dans les courbes de 200 mètres de rayon le surécartement est de 2 millimètres, 4 millimètres dans celles de 100 mètres, 80 mètres et 60 mètres.

Le devers est de 10 millimètres dans les courbes de 200 mètres et de 30 millimètres pour les autres.

Il y a 21.286 mètres de voie en rails d'acier posés sur traverses en fer aciéré.

Les traverses sont en fer aciéré offrant une résistance, d'après

Ligne de la Wengernalp.

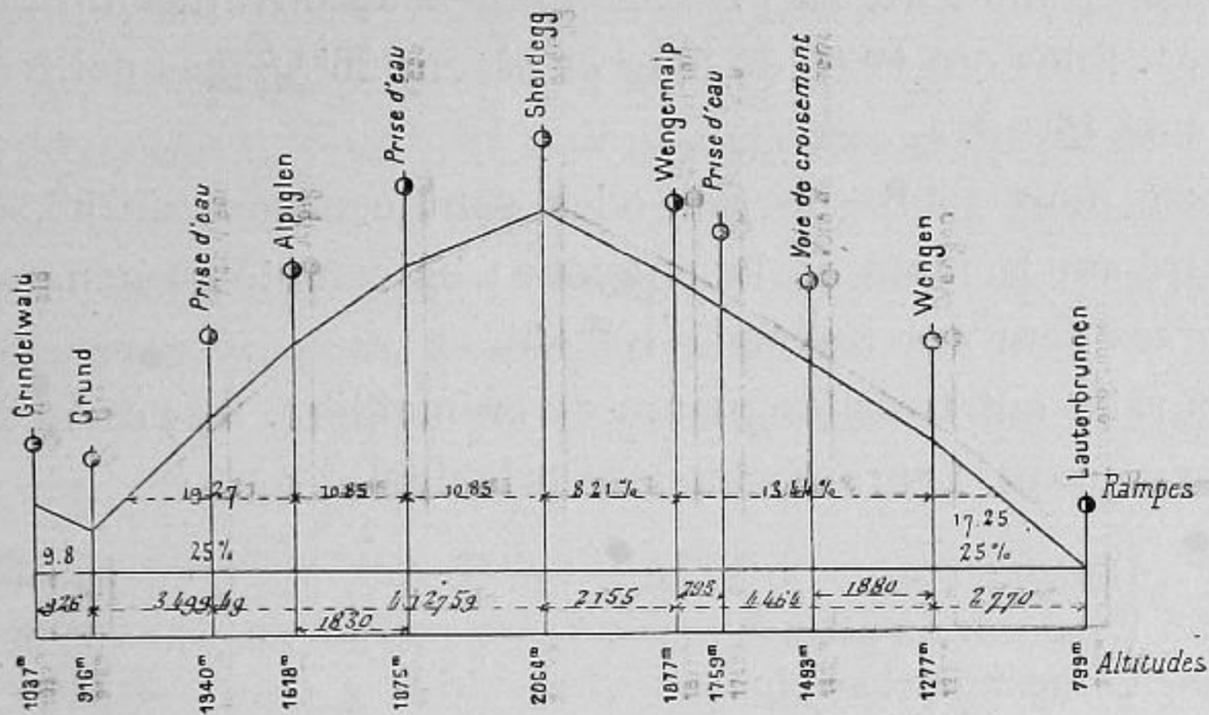


Fig. 12. — Profil en long.

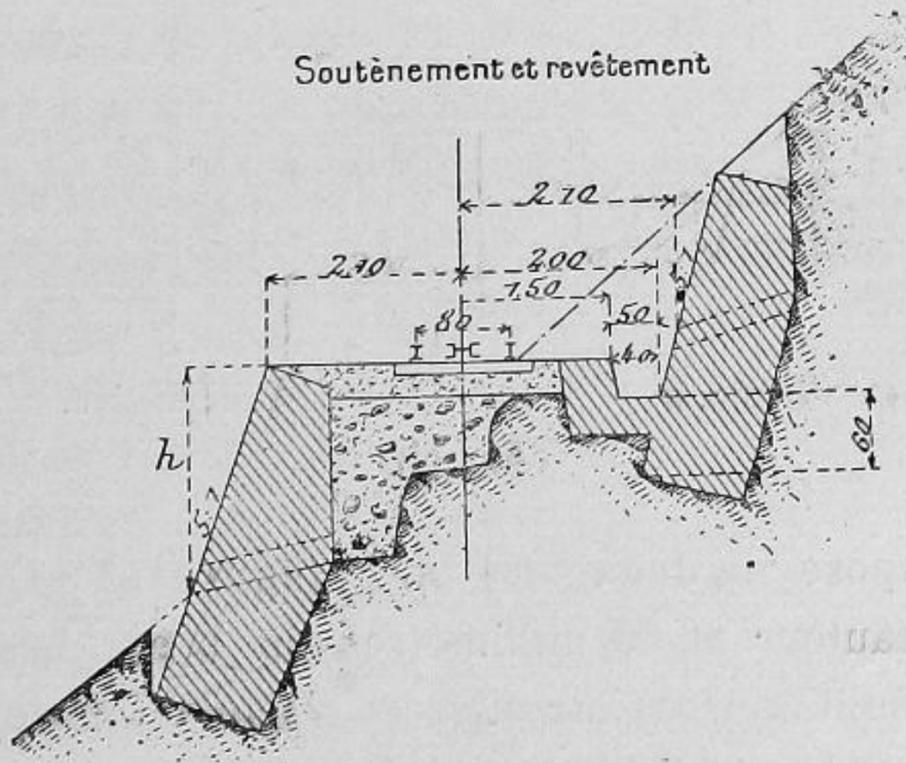
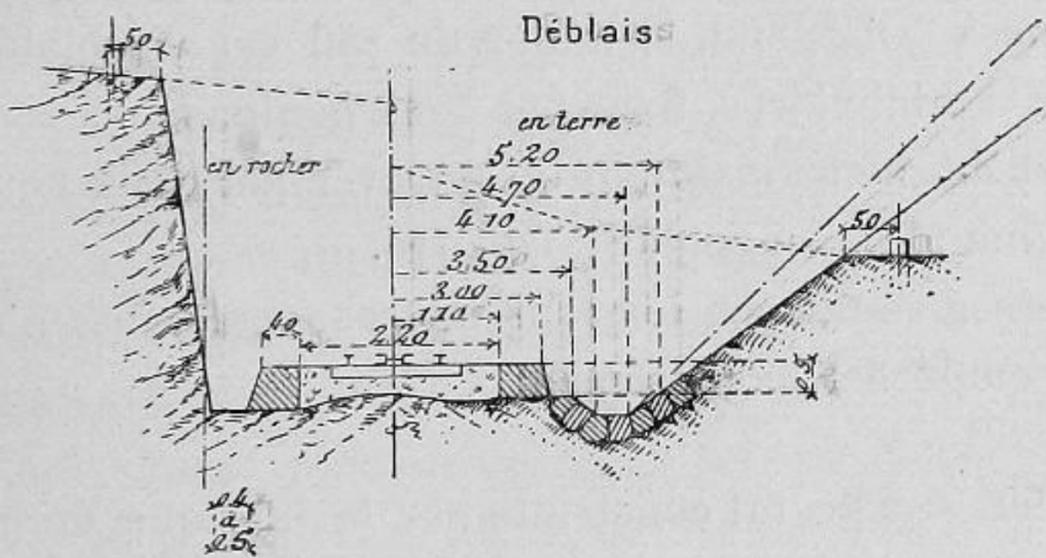


Fig. 13. — Profils en travers.

le cahier des charges, de 43 kilogrammes par millimètre carré, et un allongement de 25 p. 100 sur des éprouvettes de 200 millimètres. Elles ont 1^m,60 de long et pèsent 26^{kg},8. Les petites ont un poids de 15^{kg},3.

Entre deux joints de rail, elles sont espacées de 0^m,50 et de 1 mètre sur le reste de la longueur ; on compte en général douze traverses pour une travée de 10^m,494.

Les rails ont trois longueurs de crémaillère. Ils pèsent 20^{kg},6 le mètre courant. Leurs dimensions principales sont :

Hauteur	100 ^{mm}
Longueur du patin	90 ^{mm}
Largeur du champignon.	46 ^{mm}
Largeur de l'âme	8 ^{mm}
Le moment de résistance est de	72 cm ³

Les joints sont composés d'éclisses maintenues par quatre boulons. Comme à l'Oberland, le milieu du rail est consolidé par une éclisse de 200 millimètres, fixée par deux boulons.

Le rail est lui-même maintenu à la travée par deux boulons qui traversent une patte en retour d'équerre.

Les traverses sont, tous les cent mètres, renforcées d'un lit de béton pour empêcher le glissement.

Crémaillère. — Elle fut construite par la fabrique de machines de Berne, qui prit alors un brevet.

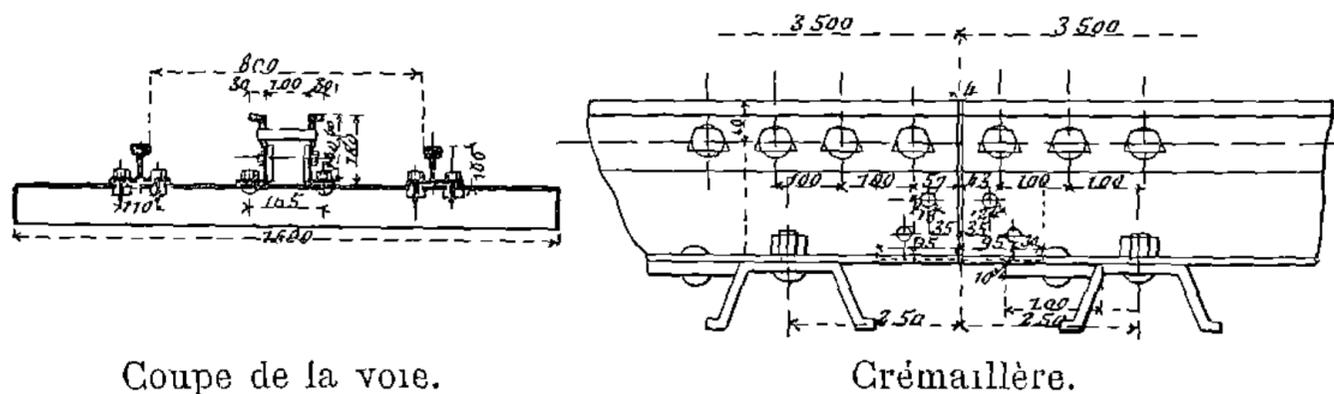


Fig. 14.

Elle se compose de deux fers en \sqsubset (figure n° 14), de 180 millimètres de hauteur et 60 millimètres de base. Les épaisseurs sont : 8 et 10 millimètres aux ailes et à l'âme inférieure, 12 millimètres au passage de l'échelon. Les montants sont renforcés à

l'intérieur par des tôles de 10 millimètres. L'échelon a son axe à 10 millimètres du bord supérieur et présente la forme d'un trapèze de 30/43 sur 32.

L'épaisseur de la dent est de 35 millimètres, sa largeur 100 millimètres ; l'épaisseur de la roue dentée étant de 60 millimètres, il reste 20 millimètres de jeu de chaque côté, ce qui facilite le passage dans les courbes de 60 mètres de rayon.

Le laboratoire fédéral de Zurich a été chargé des contrôles de ce matériel.

Le cahier des charges exigeait pour le métal des échelons : 39 kilogrammes par mètre carré pour la résistance à la traction avec 30 p. 100 d'allongement ; 43 kilogrammes par mètre courant avec 25 p. 100 pour le métal des fers en \square .

On a voulu d'abord se rendre compte de la résistance des dents près des rivures. On avait employé un piston de presse horizontale de 65 millimètres qui exerçait son effort au centre de l'échelon. La rupture se produisit sous une charge de 43^t,5. L'écartement des montants avait augmenté de 9 centimètres et les trous des rivets ne montraient aucune trace de brisure.

Sous une pression de 15 tonnes, la distance entre deux échelons avait augmenté de un millimètre.

Sous une charge concentrée au milieu de l'échelon sur une largeur de 12 millimètres, l'échelon fléchit sous une charge de 25 tonnes.

Enfin, on essaya de briser une dent sous le choc d'un mouton de 600 kilogrammes et de 65 millimètres de largeur.

La dent sous une chute de 1 mètre donna 2^m/^m,5 de flèche ; avec 1^m,50, 7 millimètres ; avec 2 mètres, 12 millimètres ; enfin elle se rompit au quatrième coup, sous une chute de 2^m,50.

Le prix de fabrication de la crémaillère est de 16 fr. 40 le mètre.

Le poids de la superstructure complète est de 129 kilogrammes par mètre courant, et le prix de 30 fr.

L'avancement à la pose était de 150 mètres à 400 mètres par jour, 190 mètres en moyenne. La pose et le montage ont exigé environ mille heures de travail par kilomètre.

Il y a trente changements de voie, tous à crémaillère à lame

Le rayon de courbure est de 60 mètres. Les lames ont 2^m,30 de longueur. Les dents ont 65 millimètres de largeur et des essais de résistance ont été faits au laboratoire de l'Etat à Berlin.

On a chargé les dents de manière à obtenir une flexion de 2 millimètres par minute et l'on est allé jusqu'à la flèche maxima que donnait un poids de 31 tonnes.

Les épreuves au choc consistaient à faire tomber un mouton de 56 kilogrammes de 4 mètres de haut. Au dixième coup, la rupture s'est produite, soit un travail de

$$56 \times 4 \times 10 = 2240 \text{ kilgr.}$$

avec une flèche de 23 millimètres.

Matériel. — La voiture n'est jamais attelée à la locomotive qui la pousse dans les rampes ou la retient dans les déclivités. Comme l'indique la figure 15, la voiture est munie d'un tampon de bois armé. En palier, la voiture est réunie à la locomotive par un

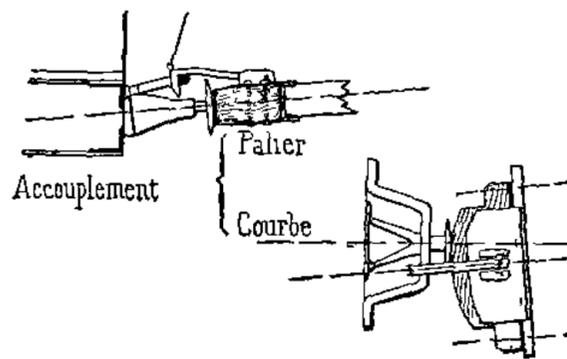


Fig. 15.

crochet que peut manœuvrer le conducteur qui se tient sur la plateforme avant. A l'entrée d'une rampe ou d'une déclivité, il le soulève au moyen d'un câble et le véhicule se trouve libre.

1° *Voitures.* — Le parc se compose de 25 véhicules, dont 24 sont à boggies et 1 à deux essieux.

Ils comprennent des 2^e et 3^e classes ; le système est à coupés ouverts sur les côtés, un est à système fermé. Ils comprennent 16 places de seconde classe et 32 de troisième classe. Les compartiments de seconde sont garnis de reps rouge et ont 9 centimètres de largeur de plus que les autres qui n'ont aucune garniture. Des rideaux peuvent se déployer pour protéger les voyageurs contre le soleil ou la pluie.

Capacité de chargement : 6 tonnes.

Dimensions : longueur 3^m,73, largeur 1^m,82, hauteur 0^m,5 ; surface de plancher : 6^m²,78 ; empattement : 2^m,05 ; longueur entre tampons : 4^m,86 ; frein à main sur roue dentée.

Les ouragans par vent du sud-ouest sont assez fréquents vers 1700 mètres d'altitude, aussi le département fédéral a ordonné l'arrêt du train en cas de danger; en tout cas, dès que le vent s'élève, il est interdit de déployer les rideaux et de tenir les fenêtres fermées au wagon couvert.

2° *Locomotives*. — Trois types, 15 machines : la dernière en service depuis juin 1906.

1^{er} Type. — Roue porteuse à l'arrière, deux roues dentées couplées directement, renvoi de mouvement à balancier.

2^e Type. — Une roue porteuse arrière; une seule roue dentée commandée par balancier; la seconde (celle de devant), sert au freinage.

3^e Type (1906). — Deux plateaux manivelles couplées directement, commandant les roues dentées par deux pignons; les essieux des roues dentées ne portent pas de roues à adhérence, boggie à l'arrière, roue porteuse devant. Double bielle d'accouplement système Steiger. Toutes les locomotives sont munies du frein Klose automatique à force centrifuge.

Pour les premier et deuxième types, les roues d'essieux de roues dentées sont folles.

Locomotives 1^{er} et 2^e types. — Elles dérivent du type *Abt* : les roues dentées ont 18 dents chacune avec un écartement de 1^m,350 et un pas de 13 1/2. Elles ont 3 mètres d'empattement total; le rapport des bras du balancier est de 1 : 1-4.

Les dents et leurs couronnes sont en acier fondu (68 kilomètres de résistances, 17 p. 100) d'allongement). Après 4 à 5.000 kilomètres, on a relevé de 1 à 2 millimètres d'usure à l'arrière et 2 à 2,5 à l'avant. La largeur des dents est de 65 millimètres et la tolérance d'usure 25 millimètres. Au-dessous de 40 millimètres, la dent doit être changée.

La chaudière a 3^m2,5 de surface de chauffe directe et 33 mètres carrés de surface indirecte, en tout 36^m2,5. La surface de grille est de 0^m2,66.

Avec 150 millimètres d'eau au-dessus du foyer le volume de vapeur est de 0^m3,32 pour 1 mètre cube d'eau.

Les tubes ont 1^m,929 et sont au nombre de 154 ; diamètre intérieur 32 millimètres, diamètre extérieur 35 millimètres.

Les chaudières sont timbrées à 14 kilogrammes et essayées à 21 kilogrammes ; elles donnent environ 50 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe ; on évalue à 4.5 HP le mètre carré.

Le changement de marche est du système Joy.

Les freins sur les roues dentées sont à rubans, qui viennent serrer des couronnes munies de cannelures. Ils sont au nombre de deux, l'un à main qui est double, car il y a deux manivelles, l'une du côté du mécanicien, l'autre du côté du chauffeur. Le second est à vapeur du système Klose et il peut être actionné de la plateforme. Il est en même temps automatique dans les déclivité : la roue avant engrène avec un régulateur centrifuge. Si la vitesse dépasse 7 kilomètres, les disques du régulateur s'écartent et viennent actionner l'appareil Klose qui agit immédiatement.

On emploie aussi, comme sur les lignes de l'Oberland, la contre-vapeur.

Ces locomotives ont un poids de 16^t,5 en service ; les cylindres ont 300 millimètres de diamètre pour 550 ou 600 de course. L'effort de traction est 6.800 kilogrammes.

Elles remorquent une seule voiture de Grindelwald à Alpighen et de Lauterbrunnen à Wengen sur les sections en rampe de 25 p. 100. A partir de ces deux stations, elles prennent une voiture de plus. La vitesse jusqu'à 15 p. 100 est de 10 kilomètres ; au delà 8 kilomètres. A la descente, elle ne peut dépasser 7 kilomètres.

Elles développent en moyenne 176 chevaux.

Leur approvisionnement comprend 1^m3,6 d'eau et 600 kilogrammes de charbon.

Le troisième type qui vient d'être mis en service, est le plus puissant. Il remorque deux voitures dans les rampes de 25 p. 100.

Ces machines pèsent 16^t,10 vides et 20 tonnes en service. Elles sont timbrées à 12 kilogrammes avec une surface de chauffe totale de 53^m2,8 dont 4^m2,8 directe et elles ont 204 tubes de 2^m,20 de longueur. Surface de grille 0^m2,9.

Le diamètre des cylindres est de 360 millimètres pour 400 de

course. Le mouvement est extérieur et les bielles motrices attaquent directement deux plateaux manivelles montés sur les arbres à pignon. Il y a double manivelle d'accouplement.

Le châssis repose à l'arrière sur un boggie et à l'avant sur une roue porteuse, l'empallement rigide est de 2^m,65, total de 3^m,95.

La longueur est de 6^m,67 sur 3^m,10 de hauteur.

Elles sont munies de frein à main sur les deux roues dentées et les plateaux manivelles ; du frein à vapeur sur les roues dentées avec déclanchement automatique au moyen du régulateur à force centrifuge, enfin elles sont pourvues d'appareil à contre-vapeur.

2° *Ligne de la Schynige Platte.*

Ne présente rien de particulier relativement à la ligne de Wengernalp. Nous n'en parlerons pas.

3° *Chemin de fer de la Jungfrau.*

Tracé. — Le tracé part de la Sheiddeg en rampe de 24 p. 100 en suivant les crêtes du col ; il traverse un tunnel de 87 mètres au kilomètre 1.7 et arrive après avoir traversé la gare d'Eigergletschen (kilomètre 2) à l'entrée du tunnel situé au pied des parois de l'Eiger à 2.200 mètres de Sheidegg. Ce tunnel qui aura une longueur de 10 kilomètres a une largeur de 3^m,70 et une hauteur de 4^m,35 ; la voûte est en plein cintre taillé dans le jurassique supérieur appelé, par Studer, Hochgebirgskalk ou Malm. Cette roche, dont nous donnerons quelques détails plus loin, est dure et convient parfaitement à une galerie non maçonnée.

Le tracé s'élève graduellement en rampe de 25 p. 100 et par une courbe de 500 mètres de rayon jusqu'au point terminus actuel : 5.700 mètres de la Sheidegg et à 3.167 mètres au-dessus du niveau de la mer.

De là, le tunnel se dirige du Nord-Est au Sud-Ouest jusqu'à la station Jungfraujoch à 9.220 mètres de la Sheidegg qu'il atteint avec une rampe de 6.60 p. 100. Entre les gares d'Eismeer et Jungfraujoch, il est question d'établir une halte à l'Obermönchjoch d'où le tracé par une variante descendra pour venir passer sous le

Jungfrauoch et, de là, gagner, par une rampe de 25 p. 100, le point culminant de la ligne situé à 4.093 mètres et à 12.200 mètres de la Scheidegg, d'où un ascenseur de 73 mètres portera les voyageurs au sommet de la montagne où sera établie une vaste plateforme.

Résumé géologique. — Les terrains que rencontre le tracé sont au nombre de trois, bien définis :

Ce sont des schistes noduleux appartenant au lias.

Malm ou calcaire bleu (jurassique).

Les schistes cristallins.

Les schistes noirs abondent entre les deux Scheideggs au pied de la chaîne.

Le tracé entre la Scheidegg et Eigergletscher parcourt ces terrains, notamment le petit tunnel de 87 mètres qu'il a fallu maçonner. Cette formation se termine brusquement en face la gare de l'Eigergletscher où se trouve le point de contact avec le calcaire bleu dont nous allons parler.

Ces calcaires sont d'une extrême dureté; tenaces et solides, ils résistent contre les agents de désagrégation que l'on rencontre dans les Hautes-Alpes.

Ils éclatent facilement sous l'effort des explosifs et conviennent parfaitement à l'établissement d'un tunnel par suite de la résistance des parois. Il est à remarquer que l'on rencontre cette roche pendant plus de huit kilomètres de tunnel.

Les schistes cristallins forment un terrain peu homogène. Ce sont des schistes micacés traversés de filons granitiques et d'amphiboles; les quelques parties schisteuses sont protégées par des ouvrages en maçonnerie. L'ensemble de ces terrains se présente sous forme de lit incliné dans le terrain cristallin et dont le flanc intérieur s'appuie sur le lias.

Neige et glace. — Les ingénieurs du chemin de fer de la Jungfrau ont dû se rendre compte du revêtement de glace éternelle dont ces hautes régions sont recouvertes et rechercher un tracé qui s'en éloigne le plus possible à cause du mouvement des glaciers.

Jusqu'au delà de l'Obermönchjoch les conditions ont été fort bien étudiées et le tunnel est en plein roc. Un seul passage est bien difficile, c'est celui du Jungfrauoch où ne se voit pas trace de rochers. Ce col a 100 mètres de large et sépare la chaîne proprement dite de la Jungfrau du massif du Mönch. Des sondages effectués depuis trois ans ont permis d'espérer que l'on trouverait le rocher vers 80 mètres de profondeur. Le tracé s'enfoncera dans le sol pour traverser ce passage difficile, à la cote 3.393 mètres, tandis que la surface est à 3.470 mètres. On pourra même descendre encore de 15 à 20 mètres plus bas. De là, le tunnel reprendra son ascension pour arriver à 73 mètres du sommet.

Températures. — Dans les Alpes, une altitude de 170 mètres correspond à peu près à une diminution de température de un degré; grâce à cela et au tableau de vingt-sept années d'observations au Saint-Bernard, on a pu constituer des chiffres de températures qui, jusqu'ici, se sont trouvés à peu près les mêmes que ceux relevés dans le tunnel.

A l'entrée du tunnel on a :

Températures	{	du tunnel.	1.6
		moyenne du sol superficiel. . . .	1.2

Elle baisse rapidement jusqu'à la galerie de l'Eigerwald où nous trouvons — 2 et — 2.8. Elle se relève ensuite sous la paroi de l'Eiger entre les kilomètres 4.360 et 5.125 où elle devient positive et donne :

Altitude 3064 ^m	{	Température du tunnel.	4.5
		» au point d'affleurement. . . .	— 8.2
Altitude 3156 ^m	{	Altitude du point d'affleurement. . .	3.575 ^m
		En arrivant à l'Eigerwald, la température redescend au-dessous de zéro et marque — 6°.	

On prévoit les températures suivantes :

Station Mönchjoch, altitude 3.660 mètres — 8°.

Moyenne de l'été pour le sol superficiel — 3° 2.

Station Jungfrauoch : altitude 3.393 mètres — 7° 6.

Moyenne de l'été pour le sol superficiel — 2° 2.

Station Jungfraukulm : altitude 4.100 — 10° 8.

Moyenne de l'été pour le sol superficiel — 5° 8.

Ventilation — Il y a à craindre que la différence de températures entre les entrées de tunnel occasionne un appel d'air formant courant. Jusqu'à présent, on ne s'en aperçoit pas; mais plus tard, que sera ce courant?

La température des régions basses est assez élevée et humide; le courant sera ascendant et il est certain qu'il y aura des dépôts de buée dans le tunnel, qui seront vite changés en glace.

On pourra, peut-être, remédier à cet inconvénient en fermant l'entrée du tunnel par une porte spéciale permettant de régler l'appel d'air.

Quant au mal de montagne, il se peut qu'un certain nombre de personnes l'éprouvent. Nous renvoyons, pour cette question, à un mémoire paru le 11 mai 1894 dans les *Comptes Rendus* de la Société de Biologie.

Construction. — Pour le tunnel, on se sert de perforatrices électriques, et, depuis 1902, du modèle Siemens et Halske. Le nombre de chocs est de 400 à la minute et la force employée d'environ 1,5 cheval vapeur par machine. Les perforatrices Brand n'ont pu être utilisées à cause du manque d'eau.

L'avancement par jour est de 2^m,50 et le nombre d'ouvriers 150. Cet hiver, on ne travaillera pas.

Usine électrique. — Elle est située au-dessous de Lauterbrunnen.

Elle se compose de deux générateurs triphasés de 800 chevaux et de deux de 500 chevaux, au total 2.600 chevaux produisant 7.000 volts.

Il y a, en outre, deux générateurs plus petits à courants continus.

L'eau d'alimentation des turbines servant à leur mise en mouvement est captée au sud de Lauterbrunnen, à 150 mètres au-dessus du pont du chemin de fer de la Wengernalp. La conduite a 1 315 mètres de longueur et un diamètre de 1^m,80. La hauteur de

chute est de $40^m,8$ et le débit de 6 mètres cubes par seconde, donnant 2.650 HP. Les turbines de 500 HP consomment 1.430 litres par seconde avec 380 tours. Le second groupe comprend des turbines de 25 HP, avec 700 tours et une consommation de 71 litres par seconde.

Un troisième groupe comprend des turbines de 800 chevaux avec 380 tours et une consommation de 2.460 litres.

Chaque station est munie d'un transformateur qui distribue le courant sous une tension de 600 à 700 volts.

Voie. — Les rails sont en acier de $10^m,50$ de longueur, ayant $0^m,10$ de hauteur et pesant $26^{kg},600$ le mètre courant.

La largeur du patin est de 90 millimètres et celle du champignon, 46 millimètres.

L'écartement de la voie est de 1 mètre avec surécartement de 2 millimètres dans les courbes de 150 à 200 mètres de rayon et de 4 millimètres dans les courbes de 100 mètres. Les rails sont portés sur des traverses en fer de $1^m,80$ de longueur et pesant 37 kilogrammes; ils y sont fixés par des tire-fonds, à raison de quatre par traverses.

Il y a douze traverses par rails.

La crémaillère est du système Strub, en acier doux (résistance à la rupture de 45 kilogrammes par millimètre carré et allongement 20 p. 100). Elle est formée de morceaux de $3^m,50$ de longueur.

Matériel roulant. — 10 voitures à deux essieux accouplés contenant 40 places, classe unique.

Série B (1898-1900). Tare : 4 tonnes. Empattement : 3.8. Poids en charge, moyen : 7 tonnes.

Voie de la Jungfrau.

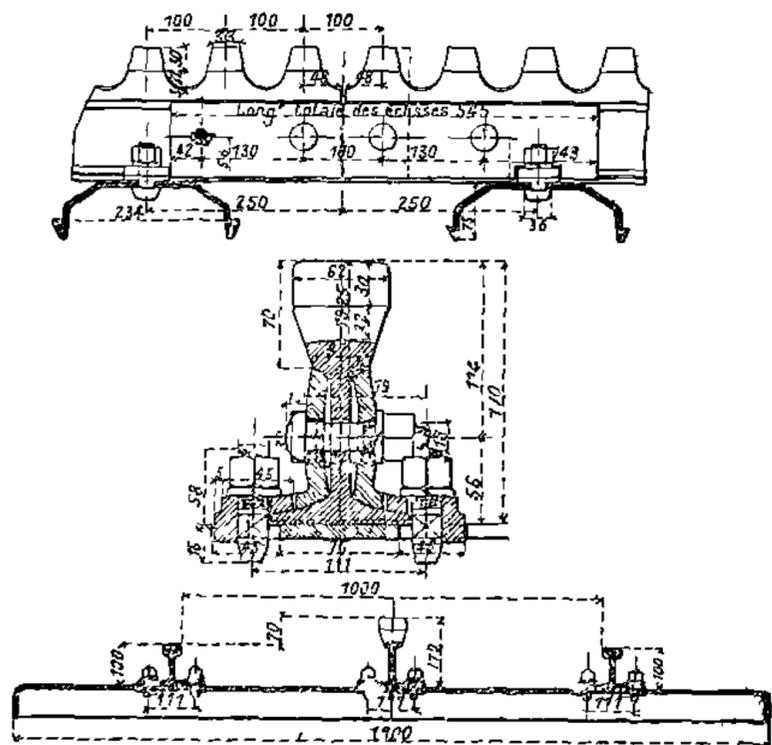


Fig. 16. — Crémaillère Strub.

Frein à main sur la roue dentée.

Locomotive électrique.

Il y a six locomotives montées sur deux essieux distants de 2^m,30.

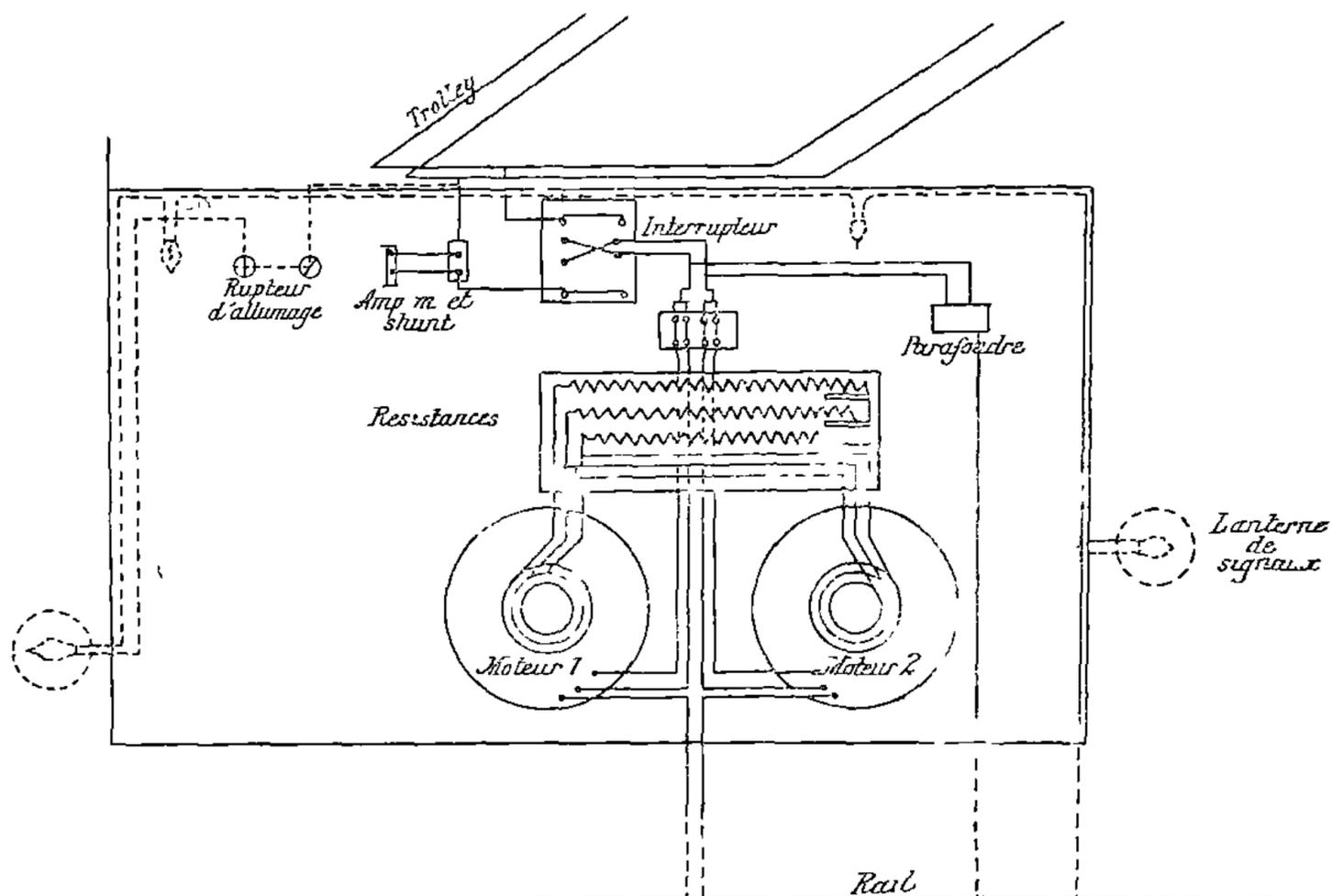


Fig. 17. — Croquis du Locomoteur de la Jungfrau. — Schéma des courants.

Les roues dentées, en acier fondu, ont 700 millimètres, les pignons de commande sont en acier fondu avec couronne dentée en bronze phosphoreux.

Ils ont 120 HP et marchent sous 650 volts avec 750 tours ; ils pèsent 14 tonnes, sauf le dernier, 17 tonnes.

Ils sont munis de deux moteurs qui développent, nous l'avons dit, 120 chevaux, sauf le dernier, 150 chevaux. Ils sont asynchrones triphasés (38 périodes). Le courant est pris au moyen du trolley et d'une sorte de cuiller. Les rapports d'engrenage sont 1 : 12.66. La vitesse à la montée en rampe de 250 millimètres est de 8 kilomètres à l'heure. La longueur moyenne est de 4^m,50 avec 2.450 d'empattement. Ils ont été construits à Oerlikon et chez Brown Boveri, à Baden.

Pour terminer, nous ajouterons que la Société (décembre 1906) vient d'acquérir des terrains à Burglauenen, près de Grindelwald,

sur la Lütchine blanche. Elle va établir une usine pouvant donner avec une chute de 150 mètres une force de 9.000 HP, avec 6 mètres cubes de dépense par seconde.

Toutes les réparations sont faites l'hiver par un personnel restreint, aux ateliers d'Eigergletscher, qu'on est en train d'agrandir. La visite des freins y est très rigoureuse. Les locomoteurs en ont trois : l'un à main de chaque côté, qui commande des rubans de friction sur les roues dentées; le second est à l'avant du locomoteur : il se compose de deux pièces M et N terminées par des mâchoires. Au moyen d'un levier à contre-

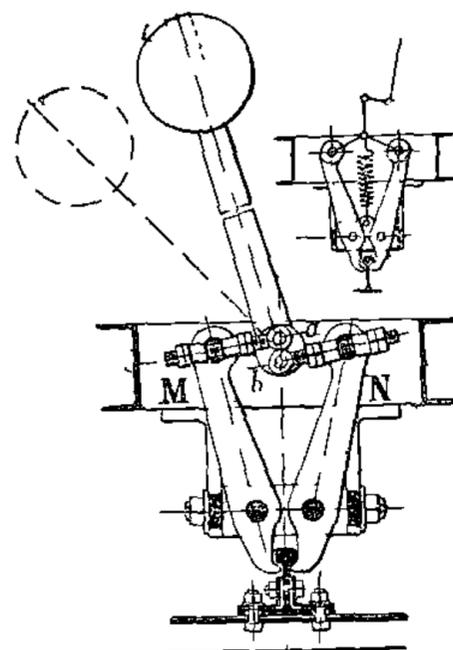


Fig. 18.

poids, on peut amener ces machines à serrer fortement le champignon de la crémaillère. Dans ce cas, les leviers M et N oscillent autour des axes *a* et *b*. Ce frein est automatique (*fig. 18*).

Le troisième frein est électrique. Il est monté sur l'arbre des dynamos, il est automatique.

TABLEAU III. — COEFFICIENTS

No d'ordre	Longueur de la conduite des essais — mètres	Débit — Q mètres cubes par seconde	Hauteur créée par la pompe (mesure directe) — H _u — mètres d'eau	Ouverture		Pouvoir	
				extérieure — Ω — $\Omega = \frac{Q}{\sqrt{2g H_u}}$	réduite — ω — $\omega = \frac{\Omega}{R_1^2}$	débitant — δ — $\delta = \frac{Q}{u_1 R_1^2}$	manométrique — μ — $\mu = \frac{\delta}{2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	294	0,723	6,19	0,0656	0,134	0,115	0,30
2	»	0,709	6,15	0,0646	0,132	0,112	0,30
3	»	0,733	6,35	0,0657	0,134	0,114	0,30
4	»	0,746	6,74	0,0649	0,132	0,113	0,30
5	»	0,752	6,66	0,0658	0,134	0,114	0,30
6	»	0,772	6,96	0,0661	0,135	0,114	0,30
7	»	0,783	7,17	0,0660	0,135	0,114	0,30
8	»	0,788	7,39	0,0654	0,134	0,114	0,30
9	»	0,800	7,41	0,0664	0,135	0,114	0,30
10	»	0,809	7,45	0,0669	0,137	0,115	0,30
11	»	0,815	7,65	0,0665	0,136	0,114	0,30
12	»	0,830	7,91	0,0666	0,136	0,114	0,30
13	»	0,832	7,99	0,0665	0,136	0,114	0,30
14	»	0,830	8,05	0,0661	0,135	0,114	0,30
15	»	0,832	8,23	0,0655	0,134	0,113	0,30
16	»	0,853	8,37	0,0666	0,136	0,114	0,30
17	»	0,863	8,60	0,0664	0,136	0,114	0,30
18	»	0,875	8,85	0,0664	0,136	0,114	0,30
19	»	0,890	8,80	0,0677	0,138	0,116	0,30
20	»	0,886	8,89	0,0671	0,137	0,115	0,30
21	»	0,898	9,16	0,0670	0,137	0,115	0,30
22	»	0,900	9,23	0,0669	0,136	0,115	0,30
23	»	0,914	9,76	0,0661	0,135	0,115	0,30

DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT EN FRANCS

Matériel roulant		Mobilier et ustensiles		Dépenses totales d'établissement en 1905		Compagnies
total	par kil.	total	par kil.	total	par kil.	
617.471	26.275	57.081	2.414	3.498.079	148.077	Bern-Oberland.
238.507	32.672 (a)	2.164	2.164	1.737.728	234.288	Schynige-Platte.
67.000	15.581	6.845	1.583	648.537	150.101	Murren-Grutsch.
790.506	43.674	77.949	4.281	5.127.290	281.842	Wengernalp.
374.364	85.083	18.610	4.096	4.625.921	1.020.930	Jungfrau.

LONGUEUR DES LIGNES

Longueur réelle de la ligne mètres					Longueur moyenne exploitée à la fin de l'année klm				Compagnies
1 voie	0/0	2 voies	0/0	total	1 voie	0/0	2 voies	total	
22.712	96	938	3,9	23.650	23,5	100		23,5	Bern-Oberland.
4.178	96	145	3,3	4.323	4,3	100		4,3	Schynige-Platte.
16.998	93	1.211	6,6	18.209	18,1	100		18,1	Wengernalp.
4.227	93	316	6,9	4.543	4,4	100		4,4	Jungfrau.

SECTIONS A DOUBLE VOIE · LONGUEUR RÉELLE

Plateforme à deux voies mètres			Plateforme avec 2 voies posées mètres			Compagnies
voie courante	stations	total	voie courante	stations	total	
	938	938		938	938	Bern-Oberland.
(a) 80	349	429	80	349	429	Schynige-Platte.
(a) 343	932	1.275	343	868	1.211	Wengernalp.
(a) 85	60	145	85	60	145	Murren-Grutsch.
	316	316		316	316	Jungfrau.

(a) Croisement on pleine voie.

CAPITAL D'ETA

CAPITAL VERSÉ

Actions	Emprunts	Subventions avec droits aux dividendes	Capital amorti	Capital provenant des intérêts du capital d'établissement	Excédent du capital dépensé	Total
3.000.000	2.844.000	»	20.000	»	»	5.864.000
»	»	»	»	»	»	»
1.500.000	»	»	»	»	105.098	1.605.098
2.800.000	2.220.000	»	»	»	155.290	5.175.290
2.000.000	4.000.000	»	»	»	196.619	6.196.619

DEPENSES D'ETA

FRAIS GÉNÉRAUX

Organi- sation et adminis- tration	Intérêts du capital d'établis- sment	Totaux		0/0 des dépenses totales	Terrassements et ouvrages d'art		Voie de fer	
		en tout	par klm.		total	par km.	total	par km.
fr.	fr.	fr.	fr.	fr. c.	fr.	fr.	fr.	fr.
30.230	105.274	135.504	5.729	3,87	1.337.101	56.537	698.944	29.554
60.808	87.915	148.723	20.000	8,56	830.388	111.671	344.100	46.275
10.564	24.365	34.929	8.080	5,39	301.944	69.846	75.320	17.423
251.379	226.105	477.484	26.223	9,31	1.778.570	97.675	1.021.705	56.110
234.767	461.880	696.647	153.345	15 »	1.725.576	379.832	299.253	65.871

BLISSEMENT

CAPITAL DÉPENSÉ

Dépenses d'établissement	Dépenses pour lignes en construction	Dépenses à amortir	Frais d'installations accessoires	Excédent du capital versé	Total	Compagnies
5.235.807	»	»	338.433	290.060	5.864.000	Born-Oberland.
»	»	»	»	»	»	Schynige-Platte.
648.537	»	53.000	901.561	»	1.603.098	Grütsch et Mürren
5.427.290	»	48.000	»	»	5.475.290	Wengernalp.
4.625.924	1.537.406	»	33.292	»	6.196.619	Jungfrau.

Acquisitions de terrains

	Total frs	par km	Nota.
B. O. B. . .	372.953	15.770	} Chiffres à ajouter au tableau ci-dessous
Schn . . .	94.628	12.726	
Mürren . .	4.171	9.524	
Wengernalp	414.792	22.780	
Jungfrau. .	400.007	22.013	

BLISSEMENT

Conduite électrique		Bâtiments et Installations mécaniques		Télégraphes et signaux, clôtures et poteaux		Ensemble		Compagnies
total	par km.	total	par km.	total	par km.	total	par km.	
fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
		230.784	9.758	48.244	2.040	2.688.623	413.659	B. O. B.
		56.413	7.546	9.475	4.234	1.334.406	479.452	Schn.
27.760	6.424	86.568	20.024	7.000	1.619	539.763	124.857	Mürren
		528.532	29.026	37.752	2.073	3.781.334	207.664	Wengern
200.045	44.034	1.202.341	264.658	9.078	4.998	3.536.300	778.406	Jungfrau

LONGUEUR DES PENTES ET DES RAMPES

Longueur des paliers	Longueur des pentes et des rampes						Total	Longueur totale de la ligne	Longueur des alignements	
	0 à 5 0/0	5 à 10 0/0	10 à 15 0/0	15 à 20 0/0	20 à 25 0/0	au-dessus de 30 0/0				
m	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.			
3.650	737	5.037	2.318	1.246	4.668	5.770	19.796	23.446	13.262	56 0/0
76	94	209	209	»	»	6.671	7.183	7.259	3.120	42 0/0
174	350	800	»	»	»	2.905	4.105	4.279	2.149	50 0/0
891	441	»	171	207	»	15.858	17.150	18.041	11.544	63 0/0
185	75	»	»	»	(*)	4.079	4.154	4.339	2.292	68 0/0

* Ajouter rampe de 25 à 30 0/0 : 50 m. pour Mürren et 470 m. pour Vingernalp.

Suite du tableau.

Différence des hauteurs cumulées	Somme des angles au sommet des courbes	Déclivité de la ligne moyenne 0/0		Maxima de pente	Rayon de courbure moyen (mètres)		Maxima	Compagnies
		pour la ligne entière	parties en pontes		pour la ligne entière	pour parties en courbes		
m.	degrés			0/00			m.	
613,90	3.724°, 72	26,19	31,20	120	361	157	100	Bern-Oberland.
8.382,90	3.623,32	190,51	192,52	250	128	73	60	Schynige-Platte.
152,50	1.144	35,56	37,10	50	215	107	50	Mürren.
2.474,30	3.500,62	137,15	144,27	250	295	106	60	Wengernalp.
104,15	688,20	187,35	193,58	250	361	112	100	Jungfrau

ET SINUOSITÉS

COURBURE

Longueur des courbes							Total	Longueur de la ligne entière	Compagnies
jusqu'à 1.000 m. de R.	1.000 à 700	700 à 500	500 à 400	400 à 300	300 à 200	200 et au-dessous			
408	99	1173	412	633	993	6.466	10.184	23.446	Bern-Oberland.
"					4			7.259	Schynige-Platte.
"					95			4.279	Mürren.
"								18.041	Wengernalp.
12								4.339	Jungfrau.

TRAVAIL DU MATÉRIEL

POIDS

Poids mort							Poids	
locomotives en service utile	voitures à voyageurs	wagons marchan- dises	total	par kil.	par kil. de parcours utile	0/0 du poids total	voyageurs	bagages, animaux, marchan- dises
2 317.200	235.849	509.811	5185508	220.600	55,9	89,78	331.418	258,600
228.594	72.715	564	301873	41.352	20,5	93,47	19.613	1.474
85.085	75.847	1.076	162008	37.676	13,3	89,32	14.993	4.373
830.132	303.817	23.739	1157688	63.961	21,3	90,37	95.748	27.673
142.749	60.471	1.289	204559	46.479	21,9	93,87	12.666	686

TRA

Répartition par courses						Répartition par classe de voitures			
Simplees courses		Aller et retour		Courses à tarif réduit		II ^e classe		III ^e classe	
voyageurs	0/0	voyageurs	0/0	voyageurs	0/0	voyageurs	0/0	voyageurs	0/0
54.955	17,55	123.468	39,4	134.717	43,2	51.727	16,5	261.413	83,48
1.328	4,03	17.924	54,41	13.691	41,5	32.943	100	»	»
9.004	19,37	26.428	56,85	11.058	23,7	46.490	100	»	»
67.336	57,93	21.701	18,67	27.204	23,4	18.788	16,16	97.453	83,84
2.362	4,07	51.841	89,3	3.883	6,6	58 036	100	»	»

ROULANT. KILOMÈTRES-TONNES

TRANSPORTÉ

utile				Poids total			Compagnies
total	par kil.	par kil. de parcours utile	0/0 du poids total	total	par kil.	par kil. de parcours utile	
590.018	25.107	6,4	10,2	5.775.526	245.767	62,3	Bern-Oberland.
21.087	2.889	1,4	6,58	322.960	44.241	21,9	Schynige-Platte.
19.366	4.504	1,6	10,68	181.374	42.180	14,9	Mürren.
123.421	6.819	2,3	9,63	1.281.109	70.780	23,6	Wengernalp.
13.352	3.035	1,4	6,13	217.861	49.514	23,3	Jungfrau.

FIC

Nombre total de voyageurs		Voyageurs kilomètres				Utilisa- [tion moyenne des places	Parcours moyen de chaque voyageur	Compagnies
total	par kil. de ligne	total	par kil.	par kil. de train	par kil. d'ossieu			
313.140	13.325	4.818.909	188.039	47,1	4,46	35,15	11,11	Bern-Oberland.
32.943	4.513	230.601	31.589	15,9	15,9	3,96	35,46	Schynige-Platte.
46.490	10.812	199.907	46.490	17,1	8,22	27,40	4,30	Mürren.
116.241	6.422	1.276.642	70.533	26,8	5,38	38,52	10,98	Wengernalp.
58.036	13.190	168.884	38.383	19,1	5,73	28,62	2,91	Jungfrau.

TRA
MOUVEMENT DES BAGAGES
TONNES-KILO

Bagages		Animaux			Marchandises de toute nature		Poids total des trois catégories		Bagages
tonnes	0/0	têtes n	Poids		T	0/0	total T	par km.	
			T	0/0					
1.421	8,12	1.793	134	0.77	15.942	91,11	17.497	744	20.389
9	4,16	»	»	»	193	95,51	202	28	65
225	22,12	»	»	»	792	77,8	1.017	236	967
488	7,62	»	»	»	5.920	92,9	6.408	354	2.168
					343	100,5	343	78	»

NATURE DU TRAFIC

Denrées alimentaires et objets mobiliers		Combustibles		Matériaux de construction		Industrie métallurgique		Industrie textile		Tannerie		Verrerie et poterie	
tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0
3.636	22,81	2.967	18,6	5.638	35,3	733	4,6	44	0,28	42	0,2	121	0,89
81	41,97	24	12,44	47	24,35	12	6,22	3	1,55	»	»	»	»
257	32,45	108	13,64	267	33,7	18	2,27	1	0,13	1	0,12	6	0,76
968	16,35	429	7,25	3738	63,14	196	3,31	4	0,07	5	0,081	27	0,46
401	29,4	6	1,71	61	17	131	38,1	1	0,29	»	»	1	0,2

FIC

ANIMAUX ET MARCHANDISES
MÈTRES

Animaux	Marchandises de toute nature	Total	Par km.	Par km. de train	Par km. d'essieu	Parcours moyen de chaque train	Utilisation de la charge maxima	Compagnies
2.155	236.056	258.600	11.004	2,8	1,20	14,78	27,45	Bern-Oberland.
»	1.409	1.474	202	0,1	0,51	17,13	7,3	Schynige-Platte.
»	3.406	4.373	1.017	0,4	1,14	45,52	4,3	Mürren.
»	25.505	27.673	1.529	0,5	1,01	33,67	4,32	Wengernalp.
»	686	686	156	0,1	0,6	17,3	2	Jungfrau.

DES MARCHANDISES

Papier		Ouvrages en paille		Ouvrages en bois		Matières auxiliaires agricoles et industrielles		Objets servant au transport		Marchandises diverses		Compagnies
tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	tonnes	0/0	
27	0,27	8	0,5	1.003	6,29	998	6,26	413	2,59	304	1,91	Bern-Oberland.
»	»	»	»	9	4,66	4	2,07	11	5,70	2	1,04	Schynige-Platte.
1	0,13	»	»	34	4,29	30	3,79	35	4,42	34	4,29	Mürren.
4	0,07	»	»	104	1,76	225	3,8	159	2,68	61	1,03	Wengernalp.
»	»	»	»	22	6,4	»	»	»	»	20	5,8	Jungfrau.

RECETTES

1° PRODUIT DU TRANS

Répartition par courses						Répartition par classes			
Simple	0/0	Aller et retour	0/0	Taxe réduite	0/0	2° classe	0/0	3° classe	0/0
fr.		fr.		fr.		fr.		fr.	
126.499	22,09	276.272	48,24	169.956	29,67	173.962	30,37	398.765	69,63
7.658	5,51	87.704	63,05	43.741	31,44	139.103	100	"	"
7.022	17,54	27.014	67,35	6.058	15,11	40.094	100	"	"
43.698	67,85	74.019	11,49	133.059	20,56	177.418	27,55	466,645	72,45
4.957	2,9	156.578	93,5	5.636	3,37	167.171	100	"	"

2° PRODUITS DU TRANSPORT DES

Bagages					Animaux				Marchandises de toute nature			
Total	0/0	par tonne	par tonne kmq.	sur 100 fr. de recette de trans- port voya- geurs	Total	0/0	par tête	par tonne km	Total	0/0	par tonne	par tonne km.
fr.		fr.	cent.	fr.	fr.		cent.	cent.	fr.		fr.	cent.
24.168	25,2	17,01	118,53	4,22	1.999	2,08	11,1	92,76	69.759	72,7	4,38	29,55
392	9,11	43,55	603,07	0,28	"	"	"	"	3.910	90,8	20,26	277,5
3.549	30,2	15,73	367,01	8,35	"	"	"	"	8.188	69,7	10,34	240,4
9.077	14,3	18,6	418,6	1,4	"	"	"	"	54.225	85,6	9,16	212,61
"	"	"	"	"	"	"	"	"	994	100	2,9	144,9

3° TOTAL

Total du produit des transports						Recettes diverses (francs)			
Total	par kilom. de ligne	par kilom. train	par kilom. parcours utile	par kilom. E	pourcen- tage des recettes totales	Loyer et affer- mages	autres recettes	total	par kilom. de ligne
fr.	fr.	fr.	fr.	cent.	0/0				
668.653	28.453	7,21	7,21	56,15	98,94	6.835	342	7.177	306
143.405	19.644	9,72	9,72	24,27	100	"	"	"	"
51.831	12.054	4,26	1,26	205,43	100	2.549	"	2.549	579
707.365	39.081	13,04	13,04	272,10	96,88	21.499	1.273	22.772	1.258
168.165	38.219	18,02	18,02	551,54	54,17	140.108	2.183	14.291	32.338

D'EXPLOITATION

PORT DES VOYAGEURS

Total	Produit total					Pourcentage du produit	Compagnies
	Par kilom.	Par km. de train	Par km. d'essieu	Par voyageur	Par voyageur km.		
fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	0/0	
572.527	24.371	6,24	57,79	1,83	12,96	85,65	Bern-Oberland
139.103	19.055	9,62	239,12	4,22	60,52	97	Schynige-Platte.
40.094	9.324	3,43	164,92	0,76	20,06	77,36	Mürren.
644.063	35.584	13,52	271,35	5,34	50,45	91,05	Wengernalp.
167.171	37.993	18,9	566,7	2,8	98,8	99,4	Jungfrau.

BAGAGES, ANIMAUX ET MARCHANDISES

Total	Produit total				Pourcentage du produit total	Compagnies
	par kilom.	par kilom. du train	par kilom. essieu	par tonne kilométrique		
					0/0	
95.926	4.082	1,03	47,98	370,90	14,35	Bern-Oberland.
4.302	589	0,29	150,31	291,86	3	Schynige-Platte.
11.737	2.730	0,97	305,33	268,4	22,6	Mürren.
63.302	3.497	1,17	231,26	228,75	8,35	Wengernalp.
994	226	0,11	100,2	144,90	0,5	Jungfrau.

DES RECETTES

Pourcentage des recettes totales	Recettes totales (francs)				Compagnies
	Total	par kilom.	par kilom. parcours utile	par kilom. d'essieu	
0/0					
1,08	675.830	28.759	7,29	56,75	Bern-Oberland.
"	143.405	19.644	9,72	242,7	Schynige-Platte.
5	51.831	12.054	4,26	205,43	Mürren.
3,12	730.137	40.339	13,46	280,86	Wengernalp.
4,83	310.452	70.557	33,2	1018,2	Jungfrau.

Les loyers et affermages comprennent les hôtels et restaurants appartenant aux compagnies.

DEPENSES

Administration générale							Entretien et				
Personnel		Dépenses diverses		Total	Par kil. utile	Par kil. ess.	Pourcentage des frais réels	Personnel		Entretien et renouvellement	
fr.	0/0	fr.	0/0			cent.		fr.	0/0	fr.	0/0
22.194	69	9.543	30	31.737	1.350	2,66	10,47	28.153	35,21	43.094	60
2.514	46	2.840	53	5.354	733	9,6	6,86	6.932	60	4.185	36,2
3.065	86	491	13,8	3.556	827	14	11,26	4.214	49	4.924	49
20.883	76	6.253	23	27.136	1.499	10,4	9,8	17.090	39	26.624	60
4.229	57	3.064	4,2	7.293	1.658	23,9	14,4	2.504	43	3.193	55

Expédition et mouvement								Matériel		
Personnel		Dépenses diverses		Total	Par kilom.	Par kil. de parcours utile	Par kil. essieu	Pourcentage des frais d'exploitation	Personnel	
fr.	0/0	fr.	0/0	fr.	fr.	fr.	cent.	0/0	fr.	0/0
55.299	93	3.852	6,5	59151	2517	0,64	4,97	19,5	43.001	30
8.941	92	720	7,4	9.661	43,23	0,66	16,35	12,37	19.641	38
7.085	93	498	6,5	7.583	17,63	0,62	30,06	24,01	7.543	63
55.326	90	5.841	9,5	61.167	33,80	1,13	23,53	22,27	59.898	41
10.334	71	4.216	28,9	14.450	3307	0,56	47,50	28,8	6.958	30

Total des frais d'exploitation							Dépenses		
Total	Par kilom.	Par kil. de train	Par kil. de parcours utile	Par kil. essieu	Pourcentage sur dépenses totales	Pourcentage sur produit transporté	Loyers	Divers	Total
fr.	fr.	fr.	fr.	cent.	fr.	0/0	fr.	fr.	fr.
303.277	12 905	3,27	3,27	25,47	84,65	45,36	»	54.986	54.986
78.104	10.699	5,29	5,29	132,18	93,85	54,46	»	5.114	5.114
31.588	7.346	2,60	2,60	125,20	82,6	60,94	»	6.641	6.641
275.863	15.241	5,09	5,09	106,12	80,35	39,00	6.651	60.817	67.468
50.369	11.448	5,4	5,4	165,20	64,04	29,95	»	28.289	28.289

D'EXPLOITATION

Dépenses diverses		Total	Par kil.	Par kil. de parcours utile	Par kil. Ess.	Pourcentage des frais d'exploitation réels	Compagnies
fr.	0/0						
545	0,7	71.792	3.055	0,77	6,03	23,67	Bern-Oberland. Schynige-Platte. Mürren. Wengernalp. Jungfrau.
430	3,73	11.547	1.582	0,78	19,54	14,78	
91	1,06	8.599	2.000	0,71	34,08	27,22	
55	0,12	43.769	2.418	0,81	16,84	15,87	
91	1,5	5.788	1.315	0,62	18,9	11,4	

Matières consommées		Entretien et renouvellement		Dépenses diverses		Total	Par kilom.	Par kilom. de parcours utile	Par kil. essieu	Pourcentage des frais d'exploitation	Compagnies
fr.	0/0	fr.	0/0	fr.	0/0						
60.824	43	35.676	25,7	1.096	0,78	140.597	5.983	1,32	11,81	46,36	Bern-Oberland. Schynige-Platte. Mürren. Wengernalp. Jungfrau.
16.420	31	15.121	29,3	360	0,7	51.542	7.061	3,49	87,23	65,99	
470	3,9	3.780	31,9	57	0,4	11.850	2.756	0,98	46,97	37,51	
52.016	36,1	3.1392	21,8	485	0,3	143.791	7.944	2,65	55,31	52,19	
7.900	34,7	7.774	34,19	96	0,42	22.738	5.168	2,40	74,5	45,14	

diverses		Dépenses totales					Compagnies
Par kil. de train	Pourcentage sur dépenses totales	Total	Par kil. de ligne	Par kil. de parcours utile	Par kil. essieu	Pourcentage sur recettes totales	
fr.	0/0	fr.	fr.	fr.	cent.	0/0	
2.340	15,35	358.263	1.5245	3,86	30,08	53,01	Bern-Oberland. Schynige-Platte. Mürren. Wengernalp. Jungfrau.
701	6,15	83.218	1.1400	5,64	140,84	58,03	
1.545	17,37	38.229	8.891	3,14	151,52	73,76	
3.727	12,65	343.331	18.968	6,33	132,07	47,02	
6.429	35,8	78.658	17.877	8,4	257,9	5,34	

N° 3

ÉTUDE DES GRANDES FORCES HYDRAULIQUES
DANS LA RÉGION DES ALPES

BASSIN DE LA HAUTE-ISÈRE

STATION DE JAUGEAGE N° 37, DE MOUTIERS SUR L'ISÈRE

ÉTUDE

DE

CONTROLE DES DÉBITS PAR LA MESURE
DES PENTES

Par M. MOUGNIÉ, Conducteur des Ponts et Chaussées

Exposé. — Malgré l'insuffisance de renseignements exacts concernant les débits supérieurs au débit moyen de l'Isère à Moutiers, insuffisance qui s'explique par l'impossibilité matérielle où l'on se trouve d'exécuter des jaugeages au moulinet dès que la hauteur d'eau dépasse 0,40 à l'échelle, les quelques jaugeages en basses eaux et eaux moyennes effectués à ce jour nous paraissent suffisants pour établir le contrôle des débits par la mesure des pentes.

Formule employée. — A cet effet, au lieu d'employer la relation $a + \frac{b}{R} = \frac{RI}{U^2}$ de Darcy, et la méthode des moindres carrés pour la détermination des coefficients a et b , nous avons cru plus simple, pour notre étude, d'adopter la formule suivante, proposée par M. Bazin (*Annales des Ponts et Chaussées*, novembre 1897.):

$$\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{R}} = \frac{\sqrt{RI}}{U}$$

dans laquelle α représente une valeur constante donnée par l'auteur : $\alpha = 0,0115$ et, par suite, entraîne seulement la recherche du coefficient β .

Cette dernière formule nous paraît, en outre, suivre la vérité de plus près, parce qu'en supposant le rayon moyen R indéfiniment croissant, le rapport $\frac{RI}{U^2}$ converge vers une limite commune quelle que soit la rugosité des parois représentée par le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$, alors que la formule de Darcy donne une limite différente pour chaque valeur particulière attribuée aux coefficients a et b .

Nous emploierons donc la formule de Bazin et désignerons par γ le rapport $\frac{\beta}{\alpha}$. En résolvant par rapport à U et en donnant à α la valeur indiquée, cette formule prend la forme :

$$U = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{RI}$$

C'est donc du coefficient γ que nous avons uniquement à nous occuper. Nous allons essayer de le déduire des résultats fournis par les opérations de jaugeage exécutées à ce jour.

Détermination du coefficient de rugosité. — Des 16 jaugeages effectués au moulinet, nous avons, par mesure de précaution, éliminé les résultats donnés par les opérations effectuées en 1904 parce que pour la détermination des sections de jaugeage correspondantes on avait pris les résultats d'un levé bien antérieur, et que ces sections, vérifiées d'après la courbe S des sections en fonction des hauteurs (voir épure) que nous avons établie au moyen du dernier profil en travers levé, indiquent, pour les jaugeages de 1904, des résultats trop forts. Nous n'avons donc considéré que les onze jaugeages au moulinet effectués depuis janvier 1905.

Pour la détermination du coefficient γ nous avons appliqué

(graphique ci-après) le procédé graphique employé par M. Bazin, dans son étude déjà citée, en prenant pour ordonnées y les valeurs de $\frac{\sqrt{RI}}{U}$, et pour abscisses x , celles de $\frac{1}{\sqrt{R}}$; les résultats d'une même station de jaugeage doivent ainsi s'établir suivant une ligne droite émanant d'un point ($x=0$; $y=0,0115$) dont l'inclinaison sur l'axe des x répond à $0,0115 \gamma$.

$$y = 0,0115 (1 + \gamma x)$$

Chaque jaugeage au moulinet nous a fourni un point et l'ensemble des points ainsi obtenus figure une sorte de constellation dans le milieu de laquelle il nous a été facile de tracer une ligne moyenne passant en même temps par le point ($x=0$; $y=0,0115$).

Nous avons donc été conduit à dresser, au préalable, le tableau suivant dont les résultats nous ont permis d'établir immédiatement le graphique ci-après.

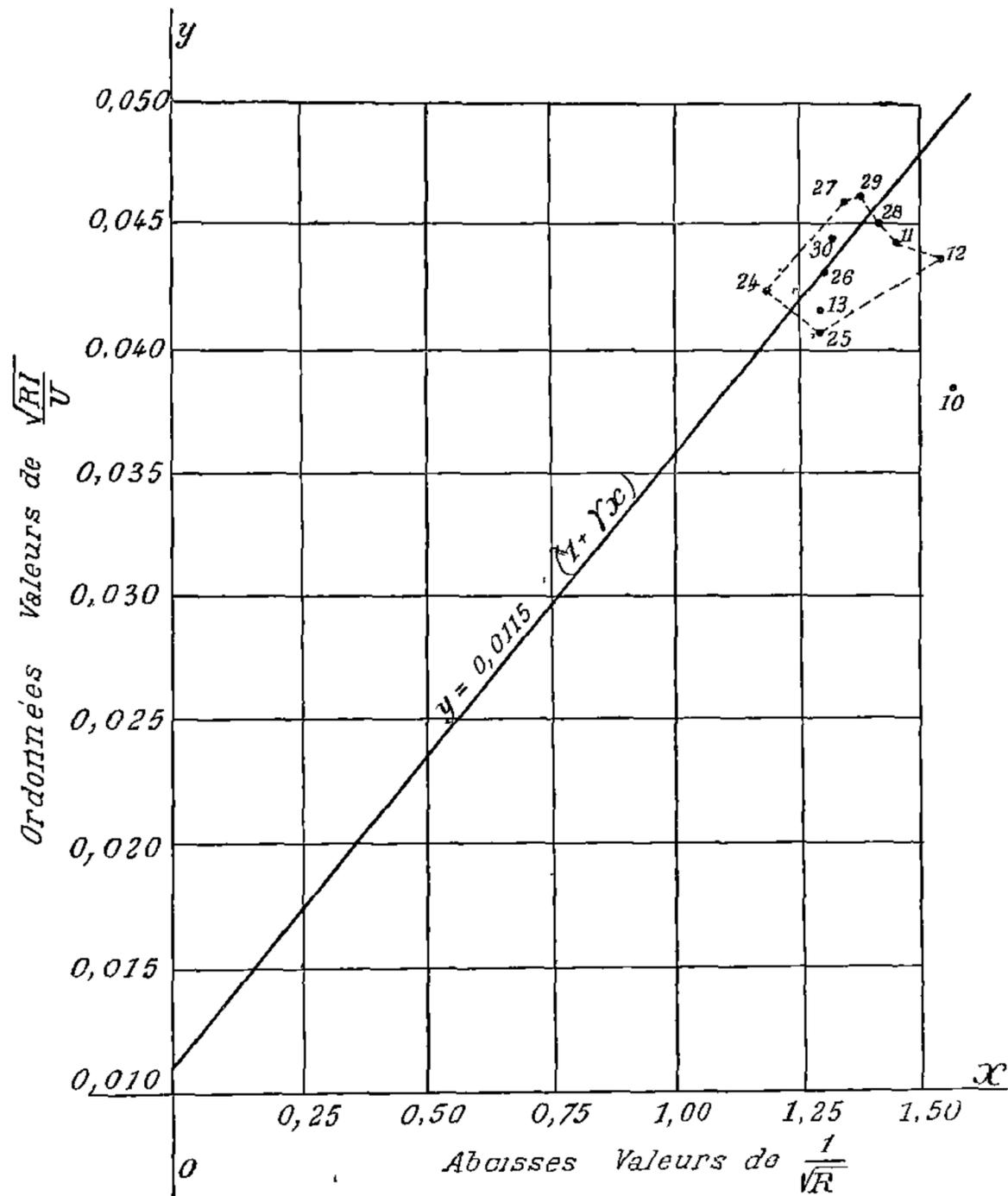
Nos et dates des jaugeages	Hauteur à l'échelle de station	Pentes superfi- cielles I	Sections de jaugeage S	Péri- mètres mouillés X	Rayons moyens R	Vitesses moyennes U	Abscis.	Ord.
							$\frac{1}{\sqrt{R}}$	$\frac{\sqrt{RI}}{U}$
10 27/1 1905	0,04	0,004	9,58	22,90	0,418	1,056	1,55	0,0386
11 4/2	0,05	0,004	10,84	22,80	0,475	0,986	1,45	442
12 18/2	0,05	0,004	9,94	23,30	0,426	0,957	1,53	436
13 1/4	0,25	0,0033	14,50	24,20	0,60	1,07	1,29	416
24 16/10	0,34	0,0041	16,71	23,25	0,72	1,289	1,16	422
25 25/12	0,19	0,004	13,93	22,80	0,61	1,214	1,28	407
26 6/12	0,16	0,004	13,48	22,74	0,59	1,129	1,30	431
27 16/1 1906	0,12	0,0041	13,20	23,70	0,56	1,043	1,34	459
28 24/2	0,06	0,004	11,80	23,60	0,50	0,99	1,41	450
29 5/3	0,09	0,004	12,50	23,65	0,53	1,016	1,37	460
30 18/3	0,15	0,004	13,90	23,75	0,58	1,087	1,31	0,0444

Ce graphique montre que la valeur moyenne de γ qu'il y a lieu d'introduire dans la formule de Bazin est :

$$\gamma = 2.10$$

Remarquons, en passant, que, par le procédé appliqué, cette valeur est d'autant mieux déterminée que nous n'avons à notre

disposition que des opérations faites en eaux moyennes et basses eaux donnant, pour notre graphique, les points les plus éloignés de l'axe des y et, partant, une approximation présumée plus grande que par tout autre procédé.

 Détermination du coefficient γ


$$\text{Pour } x = 1 \quad y = 0,03575$$

$$\gamma = \frac{0,03575 - 0,0115}{0,0115} = 2,10$$

D'autre part, la valeur trouvée ci-dessus pour γ est supérieure à la valeur $\gamma = 1,75$ applicable aux parois en terre d'une très grande résistance, indiquée par M. Bazin ; et cela paraissait évident, *a priori*, étant donné que le lit de l'Isère, au droit de la station 37, est uniquement composé de gros galets roulés opposant une résistance exceptionnelle à l'écoulement.

Tel que nous venons de l'établir, nous croyons ce coefficient

suffisamment bien déterminé pour caractériser le degré de rugosité du lit de l'Isère. Etant donné le régime torrentiel de cette rivière, les seuls éléments susceptibles de varier, dans l'avenir, sont les sections de jaugeage S et les rayons moyens R . A la suite d'une forte crue, le plafond du lit peut se mouvoir; mais au droit de la station 37, l'Isère se trouvant encaissée entre deux quais très élevés, toute variation du plafond du lit ne peut intéresser que la partie située au-dessous du zéro de l'échelle. Quelle que soit donc la variation possible, la courbe des sections S en fonction des hauteurs h de l'épure conservera sa forme; après une grande crue il suffira, pour la correction, de la déplacer sur l'épure, parallèlement à elle-même, de façon que pour $h = 0$ cette courbe coupe l'axe des y au point convenable établi d'après un nouveau levé de la section de jaugeage et de rétablir, à nouveau, la courbe des débits théoriques dont nous allons parler.

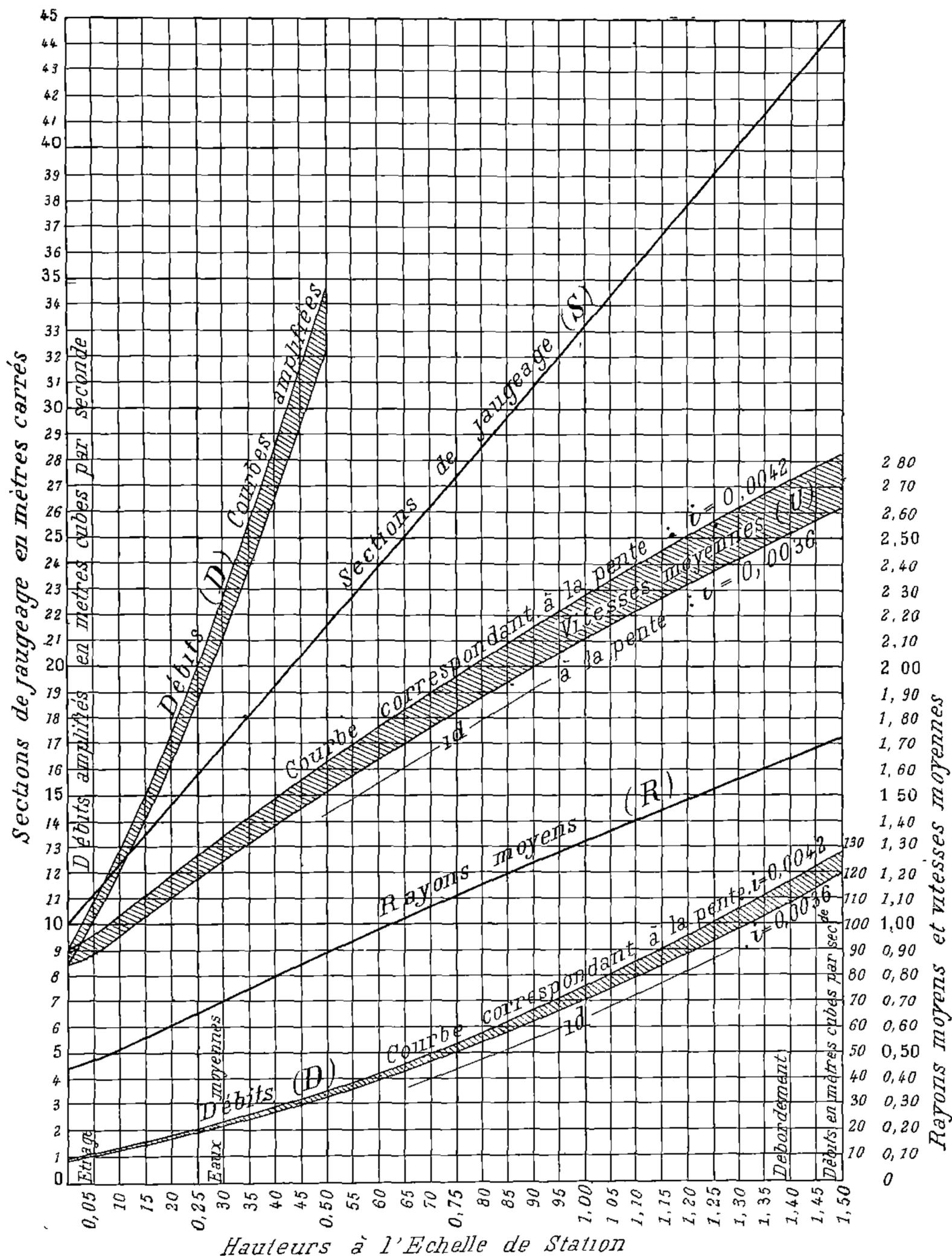
Détermination de la courbe des débits théoriques. — Le coefficient γ étant connu, il nous suffit d'introduire dans la formule :

$$U = \frac{87}{I + \frac{2.10}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$$

les valeurs de R et de I pour en déduire les valeurs respectives de U .

C'est une opération assez laborieuse que l'on peut abrégé par l'emploi de l'abaque à double alignement indiqué par M. d'Ocagne pour la résolution de l'équation de M. Bazin (voir « Nomographie », page 231).

L'emploi de cet abaque nous a permis d'établir et de tracer sur l'épure les courbes des vitesses moyennes U pour les pentes superficielles $I = 0,0036$ et $I = 0,0042$; les pentes observées ayant jusqu'ici oscillé entre ces deux valeurs. Il serait, du reste facile d'interpoler pour toute valeur intermédiaire.



Il ne reste plus, maintenant, qu'à faire les produits des sections par les vitesses moyennes correspondantes pour avoir les débits théoriques (courbes D de l'épure) que nous nous proposons d'obtenir.

Moutiers, le 13 octobre 1906.

N° 4

NOTE

SUR

LA DÉTERMINATION DU MOMENT FLÉCHISSANT MAXIMUM
 ET DE LA FLÈCHE DANS UNE POUTRE REPOSANT
 SUR DEUX APPUIS,
 SOUS L'INFLUENCE D'UNE SURCHARGE MOBILE

Par M. MAYER, Ingénieur des Ponts et Chaussées

MOMENT FLÉCHISSANT MAXIMUM :

Etant donné un polygone funiculaire relatif à une série de surcharges mobiles, il s'agit de trouver, pour une portée donnée, la ligne de fermeture correspondant au plus grand des moments fléchissants : or, ce maximum a lieu au droit d'un des poids.

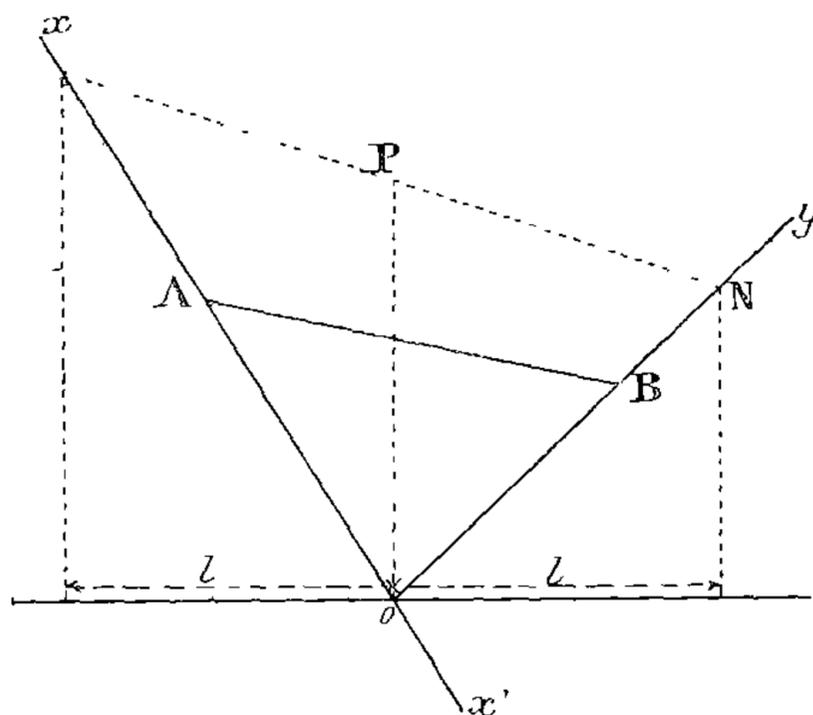


Fig. 1.

D'autre part, soit deux droites ox , oy : une droite mobile, telle que le segment AB ait une projection horizontale constante $= +l$,

enveloppe une parabole dont l'axe est vertical et qui est tangente à ox et oy respectivement aux points M et N tels que la projection horizontale de oM et la projection horizontale de oN sont égales à l .

Démonstration. — Les droites AB sont obtenues en joignant les points A et B qui forment sur les droites ox et oy deux divisions homographiques : leur enveloppe est, par suite, une conique.

Lorsque le point A s'éloigne à l'infini vers x' , le point B s'éloigne à l'infini vers y , à la limite, la droite AB se confond avec la droite de l'infini : la conique est par suite une parabole.

Lorsque le point B se déplace sur oy , de manière à venir en o , le point A vient en un point M, tel que la projection horizontale de $oM = l$, de sorte que ox est une position limite de la droite AB et le point M, ainsi déterminé, est le point de contact avec l'enveloppe.

Il en est de même de oy et du point N.

Dès lors, si l'on joint MN, la droite qui réunit le point o , point de concours de deux tangentes au milieu P, de la corde, donne la direction de l'axe : cette droite est verticale.

Ces propriétés des droites AB permettent de trouver le plus grand moment fléchissant.

Soit une partie du polygone funiculaire correspondant à des surcharges qui peuvent, grâce à leur distance mutuelle, se trouver à la fois sur la travée.

(Il y aura lieu de faire un certain nombre de groupements du même ordre si la disposition, *a priori* la plus défavorable, n'est pas évidente.)

Les droites ox , oy seront les deux côtés extrêmes de la partie du polygone considéré, le moment fléchissant maximum relatif à cette partie de la surcharge se produit au droit d'un des sommets a_1 , a_2 , a_3 ; il suffit, par suite, de déterminer la ligne de fermeture la plus avantageuse pour chacun de ces sommets, c'est-à-dire le point de rencontre des verticales a_1 , a_2 , a_3 , avec la parabole précédemment définie.

Or, cette intersection s'obtient immédiatement : il suffit de déterminer, pour la verticale a_2 par exemple, les intersections r, v, s , de la verticale avec MN, ox et oy , de mener par r , la tangente rt à un cercle passant par s et v , rabattre $rt' = rt$ sur la verticale et prendre le milieu l de $t' r$.

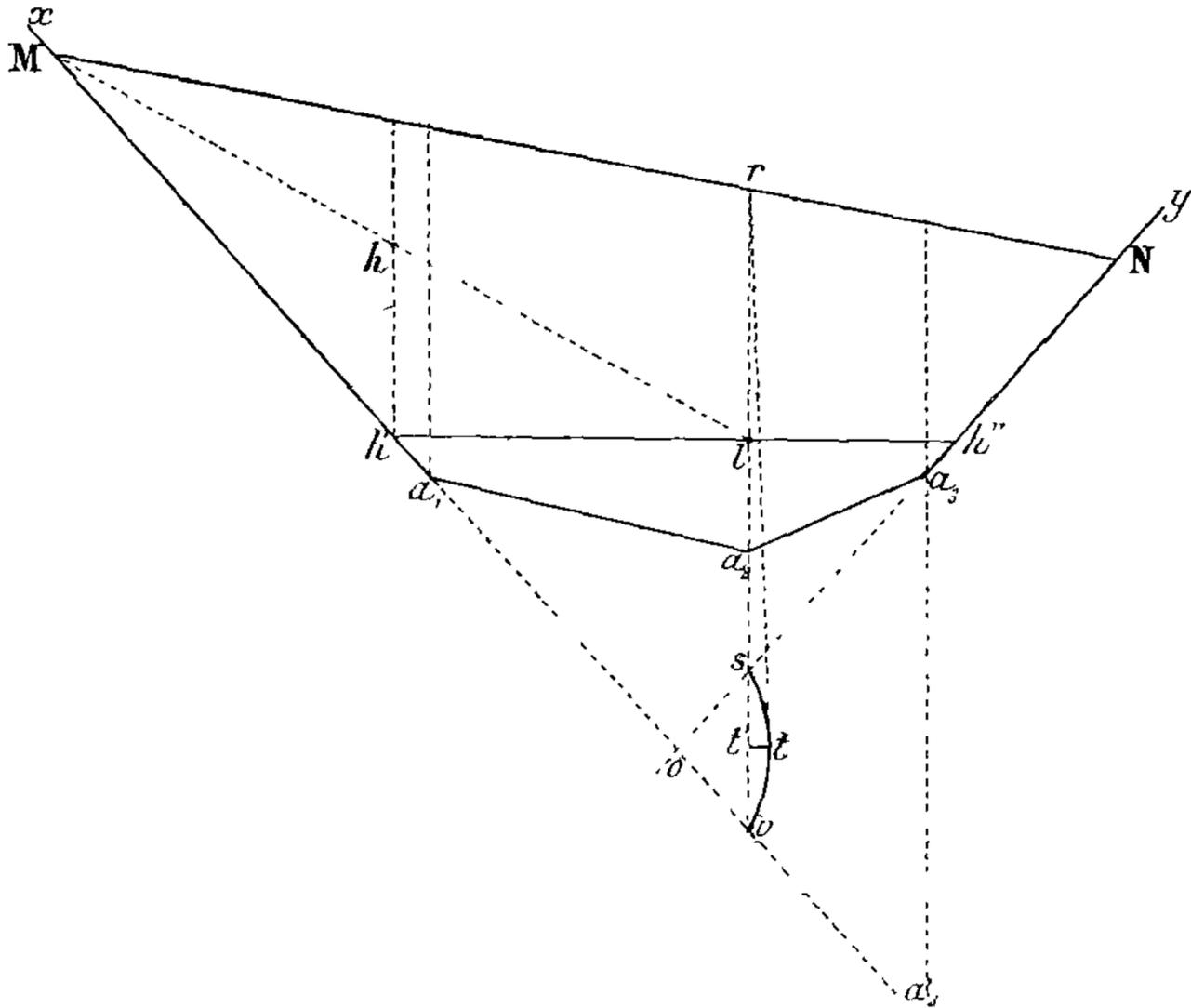


Fig. 2.

l est le point d'intersection cherché, de sorte que le plus grand moment fléchissant au droit du poids a_2 , est la_2 .

Pour avoir le plus grand moment, il suffit de comparer la_2 avec les segments analogues établis pour les sommets a_1, a_3 , et passer, s'il y a lieu, à un autre groupe de surcharges.

Pour avoir la ligne de fermeture passant par le point l , il suffit de joindre lM , d'élever la verticale $h' h$ au milieu de lM et de joindre $h' l$ qui est la ligne cherchée.

Démonstration de la construction.— La construction du point de l'intersection de la parabole avec la verticale a_2 se base sur le principe suivant :

Les coniques bitangentes à ox et oy en M et N décrivent sur une

verticale a_2 donnée, deux divisions homographiques en involution ; on en connaît un point double (r) — intersection avec la droite double MN — et deux points homologues (s, t) — intersection avec la conique ox, oy — le deuxième point double est un point (t') tel que :

$$\frac{1}{rt'} = rs \times rv ;$$

D'autre part, la parabole étant à axe vertical, on connaît un des points d'intersection de la verticale, le point à l'infini, le deuxième point d'intersection est conjugué harmonique de ce point à l'infini par rapport aux deux points doubles r, t' : c'est donc le milieu du segment rt' .

Détermination du moment fléchissant maximum au droit d'une section déterminée de la poutre. — Les mêmes principes sont applicables.

Si, sur la droite AB, telle qu'elle est définie ci-dessus, on prend un point α tel que : $\frac{A\alpha}{AB} = k$, le lieu de α est une droite.

Démonstration. — Je considère α comme déterminé par l'intersection des deux droites $o\alpha$ et la verticale αv ; ces deux droites forment deux faisceaux homographiques issus l'un du point o , l'autre du point à l'infini sur αv ; en effet : à toute verticale αv correspond évidemment un seul point α et une seule droite $o\alpha$.

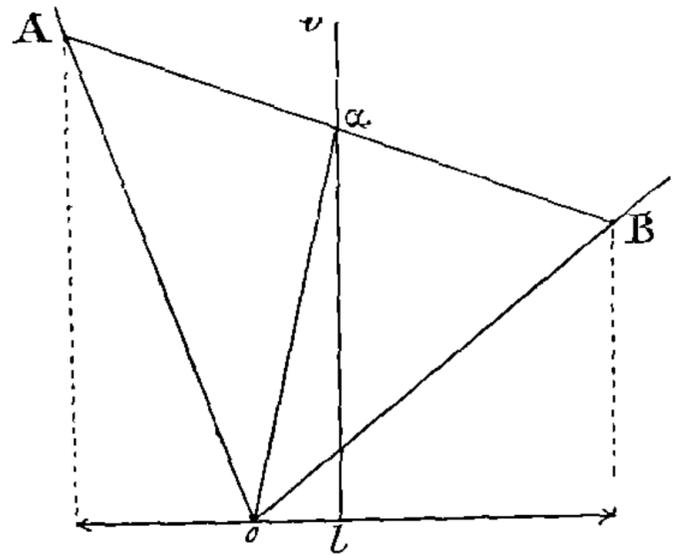


Fig 3

Réciproquement, à toute droite $o\alpha$ correspond une seule droite AB, puisque l'enveloppe des droites $A\alpha$, dont la projection horizontale est kl , est une parabole à axe vertical tangente à oA et $o\alpha$;

L'enveloppe des droites αB , dont la projection horizontale est $(1 - k)l$, est une parabole à axe vertical tangente à oB et $o\alpha$. La

droite AB est une tangente commune à ces deux paraboles qui ont la même direction d'axe et une tangente commune $o\alpha$: il n'y a donc qu'une seule autre tangente commune, la droite AB .

Or, les deux faisceaux étant homographiques, le point d'intersection des rayons homologues décrit une conique et, comme les deux faisceaux ont un rayon commun, la verticale passant par le point o , la conique se réduit à deux droites : cette verticale et une autre droite.

On connaît immédiatement deux points α , ce sont ceux qui sont sur les droites ox et oy , de sorte que le lieu des points α se construit très simplement.

Pour déterminer le moment fléchissant maximum d'une section α de la poutre déterminée par le rapport $k = \frac{\alpha}{l}$, il suffit, pour une

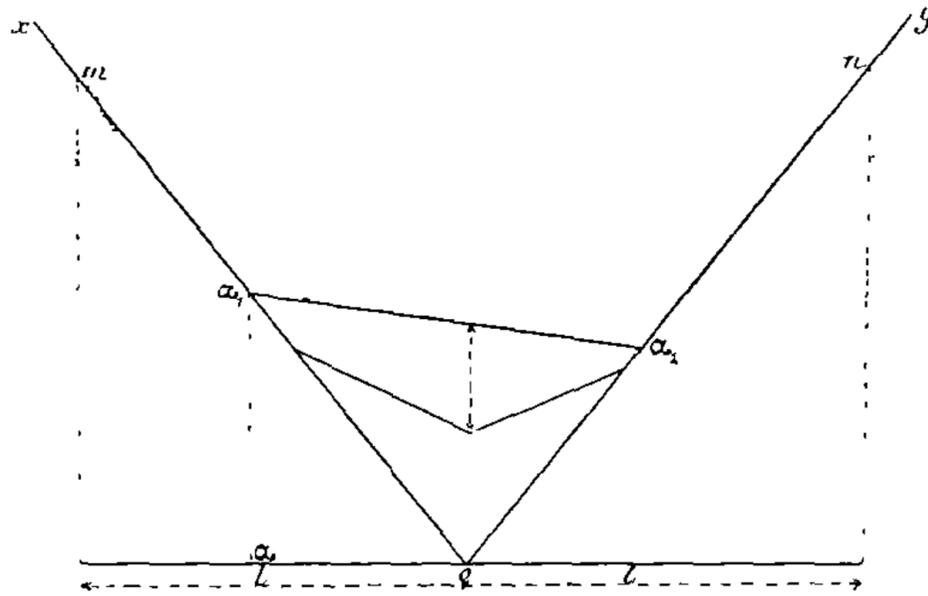


Fig 4.

disposition de surcharges pouvant se trouver à la fois sur la poutre, de déterminer le lieu des points α , les droites ox et oy étant, comme précédemment, les côtés extrêmes de la partie de polygone considéré, on prend $\frac{m\alpha_1}{m\ o} = k$, $\frac{n\alpha_2}{n\ o} = 1-k$: $\alpha_1\alpha_2$ est le lieu des points α .

Le plus grand moment fléchissant relatif à la section est la plus grande distance verticale de la droite $\alpha_1\alpha_2$ au polygone funiculaire.

Il suffit ensuite de comparer avec les résultats analogues obtenus avec les autres parties du polygone funiculaire.

Construction géométrique de la flèche au milieu de la travée. —

Pour un poids P situé à $a < \frac{l}{2}$ d'un appui, la flèche est donnée par

$$f = \frac{P}{48 EI} (3 l^2 - 4 a^2) a$$

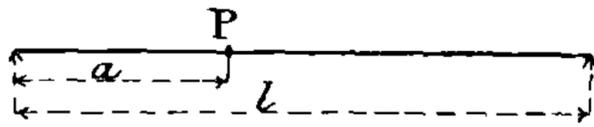


Fig 5

en supposant I constant ou en prenant la valeur moyenne ; si on pose :

$$\cos \alpha = \frac{a}{l} ,$$

on peut écrire :

$$f = - \frac{P l^3}{48 EI} \cos 3 \alpha .$$

Or, la quantité $\Sigma P \cos 3 \alpha$ relative à une série de surcharges peut se construire géométriquement comme il suit et, pour avoir la flèche maxima, il suffira de prendre la disposition des surcharges qui donne le plus grand des moments fléchissants.

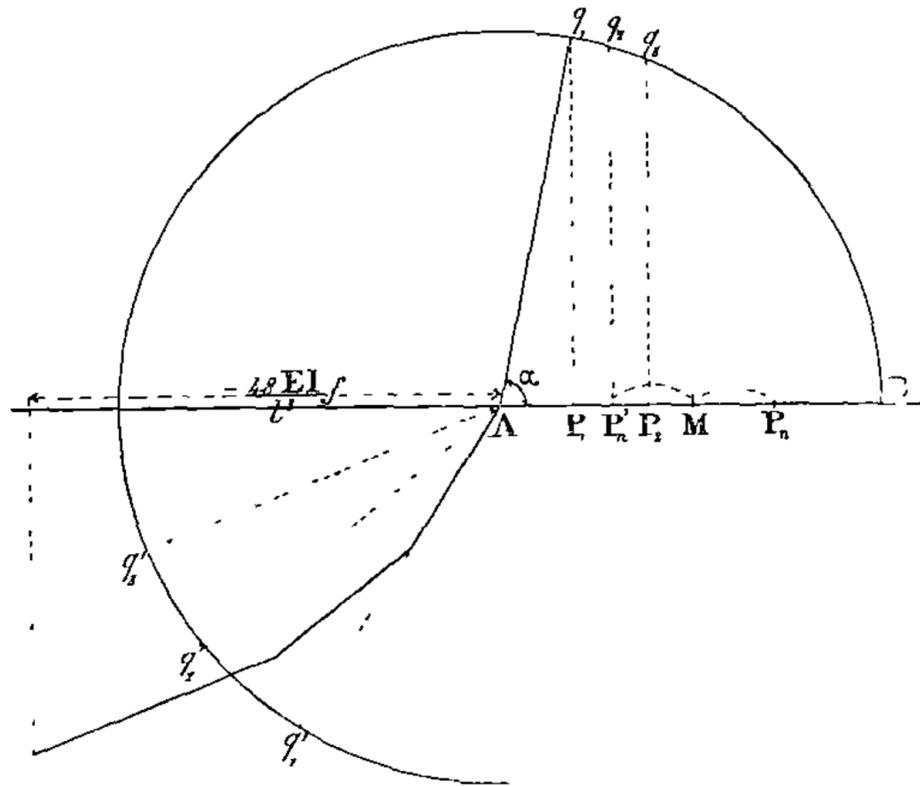


Fig 6.

On prend le symétrique P'_n de tous les poids situés à droite du milieu M de la travée.

Du point A comme centre, avec l pour rayon, on décrit un cercle ;

on détermine les angles α à l'aide des verticales des poids P_1, \dots, P' et en prenant trois fois les cordes Bq à partir de B on détermine la valeur des angles $3\alpha = BAq'$.

Les directions Aq' étant ainsi déterminées, il suffit de composer les vecteurs en portant sur chacun d'eux la valeur de P qui lui correspond.

La projection horizontale de la résultante donne la valeur de :

$$- \frac{48 EI}{l^3} f$$

Bourges, le 10 juillet 1907.

N° 5

NOTE

SUR

UNE MÉTHODE ACCÉLÉRÉE

POUR COMPARER L'APTITUDE DES LIANTS HYDRAULIQUES
A LA DÉCOMPOSITION PAR L'EAU DE MER (*)

Par M R FERET, ancien Élève de l'École Polytechnique,
Chef du Laboratoire des Ponts et Chaussées, de Boulogne-sur-Mer

L'examen suivi de mortiers immergés à l'eau de mer, dans un laboratoire, ne permet guère, en général, de comparer l'aptitude des divers liants hydrauliques à résister à l'action décomposante de cette eau. Même avec des bains très fréquemment renouvelés, les liants particulièrement mauvais sont à peu près les seuls à montrer des désagréments un peu rapides, tandis que les produits ordinaires peuvent être conservés pendant des années sans altérations appréciables.

En mer libre, il en est sensiblement de même, avec cette différence que les effets diffèrent souvent suivant les lieux d'exposition.

En opérant sur des mortiers maigres à sable fin, on accélère la décomposition, mais les effets de celle-ci peuvent être masqués par l'état friable des surfaces, de sorte qu'on ne sait souvent si la cause des désagréments constatés est d'ordre chimique ou purement mécanique.

Les essais par filtration continue d'eau de mer ne donnent de

(*) *Note de la Commission des Annales* — La méthode donnée par M. Feret fournit des indications intéressantes sur la résistance comparative des divers liants hydrauliques à la décomposition par l'eau de mer. Mais elle ne donne pas des résultats certains par suite de l'action parfois différente de l'eau de mer et d'une solution de sulfate de magnésium sur les divers liants.

L'attention des ingénieurs est appelée sur ce point afin d'éviter tout mécompte dans la pratique des travaux.

résultats que si les mortiers ne sont ni trop riches, ni trop maigres ; ils exigent d'ailleurs une installation assez compliquée et sont difficiles à exécuter partout dans des conditions bien comparables.

Un autre moyen d'accentuer l'action des sulfates est d'introduire, avant gâchage, du gypse en poudre dans des mélanges de liant et de sable fin et d'immerger les mortiers après la prise. On peut reprocher à cette méthode de faire intervenir l'acide sulfurique dans des conditions anormales, notamment avant que les phénomènes chimiques qui produisent le durcissement aient eu le temps de se développer suffisamment, et, dès lors, d'être particulièrement défavorable aux produits qui n'atteignent que lentement leur dureté définitive.

Quant aux essais échelonnés de résistance, ils renseignent très mal sur l'allure de la décomposition, car les résistances peuvent continuer à croître alors même que les briquettes présentent des marques très nettes de désagrégation, et, inversement, des briquettes parfaitement saines peuvent, du moins en pâtes pures, avoir perdu en grande partie leur résistance antérieure.

La principale cause de la lenteur et des irrégularités des essais ordinaires de décomposition est la formation, à la surface des blocs, d'une croûte composée en grande partie de carbonates de chaux et de magnésie, qui contrarie la diffusion de la chaux vers l'extérieur du mortier et le renouvellement, dans les pores de ce dernier, des sulfates en dissolution dans l'eau de mer ; le développement de cette croûte semble d'ailleurs subordonné à une foule de circonstances, ce qui explique l'apparente diversité d'action de l'eau de mer dans les différents endroits.

Vicat s'affranchissait de cette influence perturbatrice en introduisant ses mortiers, aussitôt après gâchage, dans des bocal hermétiquement clos, les laissant durcir au moins un mois, puis brisant les bocal, taillant les blocs à arêtes vives et les immergeant dans une solution de sulfate de magnésie fréquemment renouvelée. Après de multiples examens et brossages, il procédait, au bout d'environ dix mois, à ce qu'il appelait l'*autopsie* des blocs, en les

sciant ou brisant franchement en deux ou trois morceaux et les examinant, au besoin à la loupe. Puis il conseillait d'immerger de nouveau les morceaux dans le sulfate de magnésie.

On peut, sans grand inconvénient, simplifier ce dernier procédé en opérant sur des blocs quelconques ayant durci dans l'eau, par exemple sur des moitiés de briquettes de liant pur ayant servi aux essais de résistance : après une durée d'immersion suffisante, on y taille un petit parallépipède rectangle, en abattant toute la partie superficielle, plus ou moins carbonatée, et usant les faces de manière à les rendre nettes et à peu près planes et à avoir des arêtes vives ; aussitôt après, le bloc obtenu est immergé définitivement dans une solution de sulfate de magnésie, où on l'examine à époques fixes.

Il est bon que l'immersion préalable des briquettes soit faite dans l'eau de mer, de manière qu'on reconnaisse déjà les produits les plus mauvais par les désagréments auxquelles ils peuvent donner lieu. Toutefois le choix de cette eau ne doit guère influencer sur le résultat de l'essai final, et il n'y a aucun inconvénient à employer l'eau douce partout où l'approvisionnement d'eau de mer est difficile.

On ne doit procéder à l'immersion qu'après que la prise est terminée.

Il n'est pas nécessaire que les mortiers soient moulés sous forme de briquettes pour essais de traction : toute autre forme convient également, pourvu que les blocs ne soient pas trop petits.

L'emploi de mortiers sableux se prête moins bien que celui de pâtes pures à la taille ultérieure de parallépipèdes à faces bien nettes et arêtes vives. La nature et la grosseur du sable ne seraient d'ailleurs pas indifférentes, et leur définition compliquerait inutilement les conditions de l'essai (*). Le plus com-

(*) J'ai essayé comparativement, avec différentes sortes de liants hydrauliques, des mortiers contenant en poids une partie de liant pour cinq parties de sables très fins, passant au tamis de 900 mailles par centimètre carré et retenus par celui de 4.900 mailles, obtenus par le broyage de grès siliceux et de marbre les premiers se sont toujours décomposés plus lentement que les seconds. D'autres mortiers, contenant une partie de liant pour deux de sable quartzueux grenu, se sont décomposés plus lentement encore.

mode est de gâcher le liant pur en une pâte de bonne consistance plastique (*).

Lors de la taille du parallépipède d'essai, l'épaisseur minimum à enlever à partir de la paroi libre du bloc initial doit être telle qu'il ne reste plus rien de la croûte carbonatée ; d'après les observations de divers expérimentateurs, il semble qu'avec les pâtes qui viennent d'être définies, il suffit d'enlever de toutes parts deux à trois millimètres de matière.

On peut commencer par abattre au ciseau le plus gros des parties à enlever, puis achever de dresser les faces du parallépipède, d'abord à la râpe, enfin en les usant avec du sable fin mouillé, sur une pierre plate ou sur une meule.

La dimension des parallépipèdes d'essai importe peu ; avec 1 à 2 centimètres de côtés, ils ont l'avantage d'être peu encombrants.

Pour que les résultats soient comparables, il est nécessaire que les dièdres soient sensiblement rectangles, car on conçoit aisément que la décomposition du liant, qui commence toujours aux angles et aux arêtes, doit être d'autant plus active que ceux-ci sont plus aigus (**).

La seconde immersion doit suivre immédiatement la préparation du bloc parallépipédique.

L'emploi de l'eau de mer pour cette immersion finale ne semble pas devoir être recommandé : outre qu'en bien des endroits on aurait des difficultés à s'en procurer à intervalles assez rapprochés (***), sa composition pourrait présenter des différences suivant les points d'extraction, et surtout l'acide carbonique qu'elle contient, tant dissous que combiné, risquerait de produire sur le bloc taillé une nouvelle pellicule perturbatrice. Sans doute pourrait-on

(*) M. Le Chatelier a préconisé l'usage de pâtes très poreuses, qu'il obtenait en délayant le liant à consistance sirupeuse et chauffant ensuite légèrement cette bouillie, pour l'épaissir et en faciliter le moulage. Il y a là un tour de main dont l'inégale exécution doit influencer sur les résultats obtenus. D'ailleurs j'ai constaté, à la suite de diverses expériences, que ce procédé était loin de toujours conduire à des décompositions plus rapides que celui qui fait l'objet de la présente note, et donnait, avec des liants de même nature, des résultats moins concordants.

(**) Le fait a été vérifié expérimentalement par M. Deval.

(***) L'eau de mer conservée s'altère à la longue.

prendre une dissolution de n'importe quel sulfate soluble ; mais celui de magnésie a l'avantage de faire intervenir en même temps que son acide sulfurique, principal agent reconnu de la décomposition des mortiers, la magnésie, qui existe aussi en assez grande abondance dans l'eau de mer et peut jouer un certain rôle dans ce phénomène (*). Il est à peu près évident, d'ailleurs, que l'action doit être d'autant plus énergique que la solution est plus concentrée ; mais on peut contester la valeur des résultats fournis par une solution trop riche, et il semble qu'on doive se tenir à une teneur par litre de 5 grammes de sel anhydre, correspondant à une proportion d'anhydride sulfurique très légèrement supérieure à celle de la plupart des eaux de mer.

Pour dissoudre le sel, il convient d'employer de l'eau distillée ou bouillie ; les blocs doivent être recouverts, sans se toucher, de plusieurs centimètres de liquide ; les cuves d'immersion doivent être bien closes, de manière que l'air y ait le moins d'accès possible.

Vicat prescrivait que le volume du liquide fût d'au moins huit à dix fois celui des blocs immergés et que le renouvellement eût lieu tous les jours, tant que l'oxalate d'ammoniaque y forme des précipités abondants, puis, tous les cinq ou six jours, quand il n'y produit plus qu'un louche sensible. Ces règles doivent être maintenues.

Si l'on constate que, malgré les précautions prises, la surface des blocs arrive à se recouvrir d'un léger dépôt adhérent, il est imprudent d'essayer d'enlever celui-ci par frottement rude, grattage ou lavage à l'acide ; il vaut mieux le laisser, quitte à signaler sa production dans le compte rendu des essais.

Les observations doivent être faites au moins toutes les semaines au début de l'immersion, puis tous les mois, ensuite, s'il y a lieu, à des intervalles de plus en plus espacés, enfin tous les ans. Il convient de noter chaque fois l'état du bloc, de manière qu'on puisse se rendre compte, à la fin de l'expérience, de l'allure avec laquelle la

(*) Des essais comparatifs, faits avec différentes sortes de liants hydrauliques, m'ont montré que, dans une solution saturée de sulfate de chaux, la décomposition est toujours notablement plus lente que dans la solution de sulfate de magnésie indiquée.

désagrégation a progressé. En tout cas, il est prudent de n'arrêter l'expérience que lorsque la décomposition est arrivée à un degré assez avancé, et surtout de ne noter comme commencement de décomposition que des altérations dûment vérifiées par leur progression ultérieure, car parfois on peut, dans plusieurs examens consécutifs, croire apercevoir de très légères veines, qu'il devient ensuite impossible de retrouver.

Le point le plus délicat était de fixer la durée pendant laquelle il convient de laisser les éprouvettes dans leur premier bain avant de les tailler et de passer à l'essai définitif dans le sulfate de magnésie. Pour me rendre compte de l'influence de la durée d'immersion préalable, j'ai taillé des blocs dans les briquettes de pâte pure de toutes sortes de liants hydrauliques, conservées dans l'eau de mer et rompues après les diverses durées adoptées ordinairement pour les essais de résistance. Le tableau I ci-après donne, à titre d'exemples, les résultats obtenus jusqu'à présent avec six de ces liants.

On remarque que, pour les quatre premiers, les altérations se sont généralement produites beaucoup plus tard avec les blocs taillés après immersion préalable d'une semaine et de quatre semaines qu'avec ceux qui avaient d'abord séjourné au moins douze semaines dans l'eau de mer. Pour ceux-ci, les résultats de l'essai de décomposition ne présentent d'ordinaire que des divergences relativement faibles et indépendantes de la durée de l'immersion préalable. Le même fait se produit avec presque tous les échantillons de chaux hydrauliques, de ciments de grappiers, de portlands ou produits similaires et de ciments rapides. Sans doute est-il dû à ce que la mise en liberté d'hydrate de chaux par les phénomènes chimiques qui produisent le durcissement de ces liants reste assez abondante pendant les premières semaines, de sorte que, si l'on taille les blocs avant qu'elle soit à peu près terminée, la chaux continuant à se diffuser ensuite contribue à former à leur surface ou dans leurs pores un nouveau dépôt, qui retarde l'action du sulfate de magnésie. Quoi qu'il en soit, les expériences montrent qu'avec ces sortes de liants il faut attendre

au moins trois mois avant de tailler les blocs, pour que l'essai donne des résultats à peu près concordants et dès lors inspirant confiance ; on y gagne en même temps d'obtenir finalement des décompositions plus rapides.

Avec les produits, tels que les ciments de laitier proprement dits et les liants additionnés de matières pouzzolaniques, dont le durcissement est dû, au moins en partie, à la présence de pouzzolanes et qui sont représentés par les deux derniers exemples du tableau I, on observe souvent une désagrégation d'autant plus tardive que l'immersion préalable avait été plus longue. Ce résultat s'explique facilement par la lenteur de l'action pouzzolanique en général et montre que la sécurité de pareils mélanges vis-à-vis de l'eau de mer augmente avec le temps, à mesure qu'une plus forte proportion de la pouzzolane entre en combinaison avec le liant, hydraulique ou non, auquel elle est associée. On doit conclure de là que, dans la pratique, il y a intérêt à retarder le plus possible l'accès de l'eau de mer au contact des mortiers pouzzolaniques (*) et que, pour l'essai de décomposition qui nous occupe, la durée d'immersion préalable devrait être réglée d'après les conditions de mise en eau prévues pour chaque chantier. Toutefois, pour l'uniformité des essais, il est nécessaire de fixer une durée, et il semble que celle de trois mois puisse être adoptée comme pour les autres liants. D'ailleurs, des mélanges qui n'auraient pas acquis après ce temps une sécurité suffisante ne se prêteraient sans doute qu'à d'assez rares applications dans les travaux maritimes.

Le tableau II résume les résultats obtenus, par la méthode qui vient d'être définie, avec un grand nombre de liants de natures et de provenances variées. La plupart de ceux-ci ont été, comme ceux du tableau I, essayés après diverses durées d'immersion préalable ; mais, en vue de simplifier le compte rendu, on n'a indiqué pour chacun que les moyennes approximatives des durées

(*) Cependant l'action pouzzolanique ne peut se produire qu'en présence de l'eau, et il importe de maintenir ces mortiers humides pendant toute la durée de leur durcissement.

de décomposition de tous les blocs taillés après au moins douze semaines. De même, on s'est borné à mentionner les temps écoulés entre l'immersion dans le sulfate de magnésie et, d'une part, l'apparition des premières altérations, d'autre part, la fin de l'expérience. Cette dernière est d'ailleurs assez arbitraire, les blocs étant supprimés quand ils atteignent un état de désagrégation avancé dont l'appréciation exacte comporte toujours quelque incertitude et qui ne se modifie d'ordinaire que lentement, l'indication de la durée correspondante n'a pour but que de donner une idée de la vitesse de progression des désagrégations à partir de l'époque où l'on a commencé à les apercevoir, époque qui doit donc former le principal criterium d'après lequel il conviendra de comparer les aptitudes des divers produits à la décomposition.

On constate que, pour les chaux hydrauliques, les premières altérations apparaissent rarement au delà d'un mois.

Elles semblent plus lentes avec les ciments de grappiers ; mais les échantillons essayés provenaient tous d'une même usine, dont les chaux s'étaient montrées généralement les plus stables.

Avec les ciments à prise lente, la durée de désagrégation est plus courte et se compte par jours, même pour les portlands satisfaisant aux conditions imposées par l'administration des Travaux Publics pour les fournitures destinées à des ouvrages en prise à la mer. Il est à noter toutefois que le cahier des charges de 1902 semble avoir amené un certain progrès sur le précédent, avec une moyenne de dix-sept jours au lieu de onze pour l'apparition des premières veines.

On remarque l'excellente tenue de certains ciments à prise rapide ; il est regrettable que leur propriété caractéristique en rende l'emploi impossible dans bien des cas, et surtout qu'on ne sache encore à quoi attribuer les énormes différences de résistance chimique à l'eau de mer d'échantillons dont les compositions paraissent pourtant à peu près identiques. Des expériences sont en cours à ce sujet.

Les ciments de laitier proprement dits paraissent commencer à s'altérer, dans le sulfate de magnésie, un peu plus tard que les portlands. Les deux échantillons composés exclusivement ou pres-

que exclusivement d'un laitier de fabrication spéciale, déjà hydraulique par lui-même, ont eu une meilleure tenue.

Les ciments additionnés de pouzzolanes restent, en général, très longtemps sans présenter de traces d'altération, puis n'achèvent que lentement de se désagréger. L'échantillon cité comme exemple dans le tableau I est un de ceux qui ont donné les résultats les moins encourageants.

Enfin, parmi les divers ciments d'essai qui figurent à la fin du tableau, on n'aperçoit guère de différences de tenue présentant une relation bien nette avec leurs conditions spéciales de fabrication. En particulier, l'influence du degré de mouture paraît bien faible.

En somme, la méthode conduit à des résultats intéressants.

Elle est d'une application très facile, excellente garantie pour que l'essai soit exécuté partout dans des conditions comparables.

Malgré les quelques mois d'attente qu'elle exige, elle peut être sans exagération qualifiée d'accélérée, surtout quand on la compare au procédé par immersion ordinaire, qui est le seul dont l'emploi se soit encore généralisé.

La simplicité du réactif choisi et le soin avec lequel on s'efforce d'éliminer toute influence perturbatrice permettent de croire que l'essai fait intervenir exclusivement la principale cause de l'action décomposante de l'eau de mer et, par suite, donne la véritable mesure de la qualité étudiée.

Il est vrai que, dans la pratique, d'autres phénomènes accessoires interviennent, qui peuvent modifier l'allure de la décomposition; en particulier on pourrait objecter à la méthode de ne pas tenir compte de la faculté que peuvent avoir certains liants de sécréter mieux que d'autres les éléments de dépôts protecteurs; mais la production de ces phénomènes est éminemment variable selon les circonstances locales; la croûte isolante est à la merci de chocs accidentels ou de l'usure résultant du frottement des galets roulés par les lames, et il est indispensable que les essais soient affranchis d'interventions aussi aléatoires, soit que les dépôts contribuent, selon les idées courantes, à prolonger la durée des mortiers immergés, soit qu'au contraire ils agissent défavorable-

ment, comme M. Le Chatelier a cru le constater dans certains cas particuliers.

CONCLUSION

Il y a lieu de recommander la méthode suivante pour apprécier l'aptitude relative des liants hydrauliques à résister à l'action décomposante de l'eau de mer :

Gâcher le liant en pâte pure, de consistance plastique, et en former un bloc présentant plusieurs centimètres dans tous les sens.

Après la prise, immerger ce bloc dans de l'eau renouvelée de temps en temps, de préférence dans de l'eau de mer.

Au bout de trois mois, y tailler, en détachant de toutes parts au moins deux à trois millimètres à partir de la surface libre, un parallépipède rectangle de 1 à 2 centimètres de côté, dont on usera les faces de manière à les rendre bien nettes et à avoir des arêtes vives.

Immerger aussitôt le bloc obtenu dans une solution de sulfate de magnésie contenant par litre 5 grammes de sel anhydre, que l'on renouvellera fréquemment en refermant toujours bien le récipient.

Examiner le bloc après des durées convenablement échelonnées et noter chaque fois les altérations observées.

TABLEAU I

PROGRESSION DES ALTÉRATIONS DE BLOCS TAILLÉS APRÈS DIVERSES DURÉES D'IMMERSION PRÉALABLE

Signes conventionnels :

j = jours
s = semaines
m = mois
a = ans

0 = intact
1 = très légères veines
2 = légères veines
3 = veines
4 = fortes veines

5 = très légères fissures
6 = légères fissures
7 = fissures
8 = fissures profondes

9 = de petits morceaux se détachent
10 = tombe en miettes ou en bouillie
— bloc supprimé

Désignation du liant	Durée d'immersion dans l'eau de mer lors de la rupture	Résistance à la traction par cm ² (moy. des 3 plus fortes sur 6 briquettes)	Etat des blocs parallélépipédiques taillés dans les briquettes et immergés dans la solution de MgOSO ₃ depuis :																		Premières altérations observées après :	Bloc supprimé après :
			1s	2s	3s	4s	6s	2m	3m	4m	6m	9m	12m	18m	2a	3a	4a	5a	6a			
Chaux hydraulique n° 1679 (de fabrication spéciale)	1 s	18,7	0	0	0	0	0	0	1	1	6	8	9	9	9	9	9	9	3 m			
	4 s	27,7	0	0	0	0	0	0	2	2	2	6	7	7	7	7	7	7	3 m			
	13 s	31,3	0	0	0	1	1	2	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	26 j			
	26 s	33,2	0	0	2	2	2	6	6	6	6	7	7	9	9	9	9	9	16 j			
	1 a	35,3	0	0	1	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	19 j			
2 a	36,5	0	0	0	1	1	5	5	5	5	5	6						28 j				
Ciment de grappiers n° 1313	4 s	36,7	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6 s			
	12 s	37,3	0	0	0	0	1	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	3 s			
	26 s	41,0	0	0	1	1	1	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	20 j	4 a		
	1 a	52,3	0	0	6	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	9	9	24 j	3 a		
	2 a	39,0	0	0	2	2	2	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	26 j	2 a		
	4 a	45,2	0	0	0	2	2	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	18 j			
6 a	41,2	0	0	1	1	5	0	1	6									3 m				
Portland n° 1298 (cahier des charges de 1885)	1 s	35,3	0	0	1	1	6	7	7	7	7	7	8	9					20 j	20 m		
	4 s	55,8	0	0	6	7	7	7	8	8	9								19 j	9 m		
	12 s	53,7	0	5	5	7	7	7	7	7	7	7	8						13 j	16 m		
	26 s	49,3	0	5	6	7	7	7	9										11 j	3 m		
	1 a	20,8	7	7	7	7	9												6 j	6 s		
2 a	43,3	0	5	6	6	9												13 j	6 s			
4 a	48,8	0	5	6	7	9												11 j	6 s			
Portland n° 1468 (cahier des charges type n° 1, de 1902)	1 s	26,7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6	6	8	8	8	8	6 m			
	12 s	45,7	0	6	6	7	7	7	7	7	8								11 j	7 m		
	26 s	20,8	0	0	6	7	7												3 s	7 s		
	1 a	16,3	1	1	6	7	9												4 s	6 s		
	2 a	14,8	0	1	6	7	7	7	9										9 j	11 s		
4 a	16,7	0	6	7	9	9	9	9	9	9								2 s	4 m			
Ciment de laitier n° 1325	1 s	26,2	5	7	9	9	9	9	9	9	9	9							7 j	9 m		
	4 s	37,2	1	5	7	9	9	9	9	9	9	9							8 j	8 m		
	12 s	36,2	0	5	7	8	9	9	9	9	9	9							11 j	7 m		
	26 s	46,5	0	6	6	6	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	15 j	2 a		
	1 a	42,3	0	6	6	6	7	9	9	9	9	9							10 j	3 m		
2 a	27,5	0	0	2	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	20 j				
4 a	24,7	0	0	1	2	6	6	9	9									22 j	4 m			
Mélange n° 1326 contenant, en poids, 2 de portland pour 1 de gaize cuite	1 s	22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	encore intact après 6 a			
	4 s	36,8	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	25 j			
	12 s	43,7	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	5	5	5	6	18 j			
	26 s	44,2	0	0	0	2	2	2	2	2	3	3	3	5	6	6	7	7	25 j			
	1 a	36,5	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5 s			
2 a	33,8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	5	6	6	8	9	3 m				
4 a	28,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	6	6	9			6 m				

TABLEAU II

RÉSULTATS MOYENS DES ESSAIS SUR UN GRAND NOMBRE DE LIANTS HYDRAULIQUES

Région d'origine	Usine	N° de l'échantillon	Epoque des premières altérations visibles	Durée actuelle ou finale	Etat actuel	Observations	
Chaux hydrauliques							
Région de Tournai (Belgique).	A	11261	3 s.	4 s.			
	B	11316	4 s.	4 m. à 3 a.			
		11322	2 s.	2 m.			
Région du Nord		11267	1 s.	3 s.			
		11323	1 s.	4 s.			
Région de l'Est		11263	5 j.	5 s.			
Bassin du Rhône.	Diverses qualités d'une même usine	11314	6 s.	2 a. à 6 a.	Fissurés.	Progression très lente de la désagrégation.	
		11312	3 s. à 18 m.	2 a. à 5 a.	Presque tous fissurés.		
		11314	4 s.	2 a.			
		11679	3 s.	2 a.	Fissurés.		
Ciments de grappiers							
Bassin du Rhône.	Diverses qualités d'une même usine	11017	4 m.	4 a.	Fissurés.		
		11144	3 s.	3 a.			
		11310	3 s. à 6 m.	4 a.			
		11313	3 s.	3 a.			
		11678	4 s.	2 a.	Fissurés.		
		11695	2 s.	2 a.	Fissurés.		
Ciments à prise lente							
Région du Nord (non compris le Boulonnais)	A	11274	6 j.	5 s.			
	B	11296	9 j.	3 m.			
	C	11340	3 s.	9 m.			
		11324	7 j.	7 m.			
	D	11321	8 j.	6 s.			
		11339	9 j.	8 m.			
Région parisienne	A	11371	4 s.	11 m.			
	B	11045	8 j.	2 m.			
		11599	12 j.	6 s.			
		11712	1 s.	9 m.	Fissurés.		
Jura et Dauphiné.	A	11270	10 j.	2 m.			
	B	11145	17 j.	4 m.			
	C	11286	11 j.	8 s.			
Région méditerranéenne.	2 qualités d'une même usine	11147	8 j.	6 s.			
		11148	2 s.	7 s.			
Ciment suédois		11153	12 j.	3 m.			
Ciment danois.		11154	6 j.	1 a.			
Ciments pour travaux maritimes, satisfaisant au cahier des charges de 1885.							
Région de Boulogne.	A	11366	8 j.	4 m.			
	B	11307	10 j.	2 m.			
		11272	7 j.	4 m.			
	C	11298	11 j.	5 m.			
		11387	14 j.	5 m.			
	D	11388	12 j.	5 m.			
		(1)					
			11290	8 j.	1 m.		
			11317	13 j.	6 m.		
			11360	12 j.	4 m.		
					(1) Ciment conservé 10 mois en magasin avant l'essai.		

SUITE DU TABLEAU II

Région d'origine	Usine	N° de l'échantillon	Epoque des premières altérations visibles	Durée actuelle ou finale	Etat actuel	Observations	
Ciments pour travaux maritimes, satisfaisant au cahier des charges type n° 1 de 1902							
Région de Boulogne	A	1767	9 j.	4 m.			
	B	1757	3 s.	6 m.			
	C	1384	10 j.	2 m.			
		1468	12 j.	3 m.			
		1707	10 j.	2 m.			
Régions diverses.	D	1758	3 s.	6 m.	Fissurés.		
		1764	4 s.	6 m.	Fissurés.		
Régions diverses.	A	1649	2 s.	3 m.			
	B	1714	4 s.	1 a.	Fissurés.		
Ciments à prise rapide							
Bourgogne . . .	A	1174	13 j.	1 m.			
	B	1308	6 s.	4 a.	Fissurés.		
Dauphiné . . .		1320	1 m.	5 a.	Fissurés.		
	C	1783	3 s.	6 s.			
		1287	1 s à 10 m.	5 m.		Un bloc sur 4 existe encore après 5 ans (fissuré).	
Région pyrénéenne. (France et Espagne)	A	1766	—	4 m. à 1 a.	3 blocs, encore intacts.		
	B	1775	2 m.	4 m. à 1 a.	Fissurés.		
	C	1776	—	3 m. à 1 a.	3 blocs, encore intacts.		
		1777	—	3 m. à 1 a.	2 blocs, encore intacts.		
	D	1778	1 m.	3 m.			
	E	1779	3 s.	3 m.			
		1802	10 j.	2 s. et > 6 m.			
Bavière . . .	F	1803	2 m. (1) et > 1 a. (2)	(1) 9 m.	(1) Très légèrement fissurés.	(2) Un bloc encore intact après 1 a.	
	G	1804	3 m. et 1 a.	1 a.	Très légèrement veinés		
		1806	—	9 m et 1 a.	2 blocs, encore intacts.		
		1036	2 m.	5 m.			
Mélanges de ciments et de pouzzolanes							
Mélanges faits en petit industriellement sur au laboratoire une grande échelle	Portland et trass . . .	1 · 1	1136	3 m. 1/2	3 a.	Légèrement fissurés.	
		3 · 2	1319	7 m.	4 a.	Légèrement veinés ou légèrement fissurés.	
	Mélange pouzzolanique spécial . . .		1743	9 m et > 1 a.	1 a.	Un bloc légèrement veiné et 2 autres intacts.	
			1805	—	1 a.	Intacts.	
	Portland et gaize cuite	1 · 1	1092	2 a.	4 a.	Fissurés	(1) Même ciment que le n° 1092, mais après conservation en baril pendant 3 a 1/2.
			(1)				
		1303	2 a 1/2	5 a.	Fissurés		
	Portland et gaize cuite (immersion préalable de quatre semaines seulement)	2 · 1	1326	2 m.	2 a. à 6 a.	Fissurés	
		1 : 0	1818	4 s.	1 a.	Fissurés	
		5/6 · 1/6	»	4 s.	1 a.	Fissurés	
2/3 : 1/3		»	6 s. (?)	1 a.	De 6 s. à 6 m. on a cru apercevoir de très légères fissures, maintenant invisibles.		
1/2 : 1/2		»	—	1 a.	Intacts		
	1/4 · 3/4	»	—	1 a.	Intacts		

SUITE DU TABLEAU II

Région d'origine	Usine	N° de l'échantillon	Epoque des premières altérations visibles	Durée actuelle ou finale	Etat actuel	Observations			
Ciments de laitier.									
Ciments de laitier proprement dits.	A	534	2 s.	6 a.	Enc. intact	Un seul bloc.			
	B	930	—	5 a.					
	C	1325	13 j.	4 m à >4 a					
	D	1774	3 s.	6 m.					
Laitiers de fabrication spéciale, purs ou additionnés de très peu de ciment portland . . .	A	1554	5 s.	1 a. à 3 a	Fissurés. Très légèrement veinés				
	B	1573	4 m. à 18 m	1 a à 3 a					
Eisenportlandzement (70 % de portland + 30 % de laitier)	A	1541	9 j.	3 s. à 3 a					
	B	1550	7 j.	1 m.					
Ciments d'essai à forts indices d'hydraulicité.									
Surcuisson de calcaires à ciment rapide.		908	3 m. 1/2	5 a.	Fissurés Intacts				
		1790	—	4 a.					
Mélanges additionnés de gypse avant cuisson	faible cuisson	1494	7 j.	1 m	Fissurés				
		1578	10 j. à 3 m	2 a					
	cuisson plus forte	1493	9 j.	4 s.					
		1577	2 s. à 3 m	1 a. à 3 a					
Nature de ciment	Teneur en		Proportion 0/0 de résidu au tamis de 4900 mailles	N° de l'échantillon	Epoque des premières altérations visibles	Durée actuelle ou finale	Etat actuel	Observations	
	Al ² O ³	Fe ² O ²							
Ciments d'essai de compositions spéciales et à différents degrés de finesse.									
Ciments Produits courants des fours de la région de Boulogne	Mouture de roches pures triées (1897)		42,5	988	3 s.	6 m.			
			31	989	4 s.	6 m.			
			20,5	990	2 s.	2 m			
			42	991	3 s.	9 m.			
	Mouture d'un mélange par poids égaux des mêmes roches et de bonnes poussières des fours		31	992	2 s.	9 m	Fissurés		
			19	993	3 s.	9 m.	Fissurés		
	Roches pures triées. (1902)	7,6	2,8	43	1437	17 j.	7 m.		
				16,5	1438	2 s.	4 m.		
	Ciments un peu moins aluminoux	Roches pures triées	5,4	1,6	42	1439	6 s.	18 m.	
					18,5	1440	3 s.	6 m	
Mélanges additionnés avant cuisson de composés ferrugineux	Mêmes roches avec 30 0/0 de poussières	5,5	1,7	25,5	1432	2 s.	8 m		
Ciments très peu additionnés avant cuisson de composés ferrugineux	Roches pures triées .	5,1	4,0	44	1435	6 s.	5 a	Fissurés.	
				21	1436	6 s.	5 a	Fissurés.	
	2/3 des mêmes roches + 1/3 de bonnes pouss	5,3	3,9	27,5	1396	6 s.	5 a	Fissurés.	
		3,6	7,9	21	1302	5 s.	2 a à 5 a	Fissurés.	
	Ciments étrangers	5,3	4,6	17	1318	2 s.	3 a		
Ciments très peu additionnés avant cuisson de composés ferrugineux	Roches pures triées .	1,8	0,7	42,5	1433	4 m.	5 a.	Fissurés.	
				12	1434	6 s.	5 a.	Fissurés.	
	Essai industriel . . .	2,8	1,1	0,5	1309	5 s.	3 a.		

N° 6

COMMISSION DES CHAUX ET CEMENTS

NOTE

SUR LES

ADDITIONS DE POUZZOLANES

AUX MORTIERS EN PRISE A L'EAU DE MER

Par M. H. VETILLART, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,
et M. R. FERET, Chef du laboratoire des Ponts et Chaussées
de Boulogne-sur-Mer.

Etat de la question. — Posée il y a quelques années, la question de l'addition de matières pouzzolaniques aux liants hydrauliques, en vue d'augmenter leur résistance à l'action décomposante de l'eau de mer, a fait depuis lors l'objet d'un nombre assez important de recherches de laboratoire et a même été étudiée à une plus grande échelle sur quelques chantiers de travaux maritimes.

Bien que ces diverses expériences n'aient démontré jusqu'à présent l'efficacité absolue d'aucune pouzzolane pour protéger complètement les chaux et ciments contre la décomposition, il en ressort néanmoins que les additions pouzzolaniques améliorent en général la tenue des mortiers dans l'eau de mer, d'une manière assez nette et avec assez d'économie pour qu'il y ait intérêt dès à présent à voir passer leur emploi dans le domaine de la pratique.

A la suite de diverses demandes se rattachant plus ou moins directement à cette question, la Commission permanente des Chaux et Ciments a jugé que le moment était venu d'entrer dans la voie des applications sur les chantiers, tant à cause des avantages immédiats qui pourraient en résulter qu'en vue d'une expéri-

mentation plus complète ; à cet effet, elle a chargé les signataires de la présente note de résumer sommairement les résultats qui peuvent être considérés comme acquis et de formuler en conséquence des règles ou tout au moins des recommandations qui puissent guider les ingénieurs disposés à faire usage de pouzzolanes dans la confection des mortiers.

Principe de la méthode. — La propriété caractéristique des pouzzolanes, utilisée dès l'antiquité, est de fournir des éléments susceptibles de se combiner à la chaux en donnant des mortiers qui durcissent sous l'eau, même quand on emploie la chaux grasse.

D'autre part, il est avéré maintenant que la prise des chaux hydrauliques et des ciments est accompagnée d'une mise en liberté d'hydrate de chaux qui, selon que les mortiers sont exposés à l'air ou dans l'eau, se carbonate partiellement à la surface des blocs, ou est dilué et entraîné à l'extérieur en occasionnant un amaigrissement favorable à la décomposition.

L'addition de pouzzolanes aux liants hydrauliques doit avoir pour effet de faire entrer cette chaux dans une combinaison qui, non seulement prévient la cause de décomposition signalée, mais même participe, elle aussi, au durcissement de la masse.

On peut vérifier qu'il en est bien ainsi en gâchant un même ciment, d'une part avec une poudre inerte, d'autre part avec un même poids de pouzzolane pulvérisée, et dosant la chaux libre contenue dans les deux mortiers après des durées de durcissement croissantes ; dans le premier cas, la proportion de chaux libre augmente à peu près indéfiniment ; dans le second, elle ne tarde pas à décroître.

Compacité des mortiers. — On a souvent prétendu que l'effet des additions pouzzolaniques est purement physique et que les augmentations de résistance obtenues résultent uniquement de la plus grande compacité produite par l'interposition des grains de pouzzolane. Le dosage de la chaux libre vient de montrer qu'il y

a réellement une action chimique. Pour prouver que cette action est favorable à la résistance, il suffit d'essayer simultanément des mortiers faits avec un même sable et un même ciment, additionnés, les uns de pouzzolane pulvérisée, les autres de la même quantité d'une matière inerte de même finesse ; on a ainsi même compacité dans les deux cas et on constate que le premier mortier est plus résistant.

Il n'en est pas moins vrai que, dans bien des cas, l'addition à un mortier d'une matière fine, pouzzolanique ou non, peut augmenter sa compacité, et dès lors sa résistance. Il en est ainsi lorsque la proportion des grains de sable gros et moyens dépasse environ le double de celle des grains fins, ciment compris. Au contraire, quand les grains fins prédominent, il est généralement désavantageux d'ajouter de nouveaux éléments fins, et la diminution de compacité qui en résulte peut contrebalancer dans une certaine mesure le bénéfice de l'action pouzzolanique.

C'est une observation dont il faut tenir compte pour se prémunir contre une cause d'erreurs lorsque l'on fixe la composition des mortiers.

Durée de prise. — En raison de la lenteur avec laquelle la chaux se combine à la plupart des pouzzolanes, il est rare que la présence de ces matières modifie sensiblement la durée de prise des mortiers.

Cette combinaison exige d'ailleurs la présence de l'eau, de sorte qu'il faut éviter toute dessiccation des mortiers, au moins pendant les premières semaines du durcissement.

Résistance. — Pour cette raison, les mortiers contenant des pouzzolanes durcissent généralement mal à l'air. Conservés dans l'eau douce, ils atteignent au contraire de grandes résistances. Dans l'eau de mer, celles-ci sont d'ordinaire encore plus élevées, même dans le cas d'alternatives d'immersion et d'émersion, comme celles que produisent les marées, pendant lesquelles l'intérieur du mortier n'a pas le temps de se dessécher.

L'influence des proportions relatives de liant hydraulique, de

pouzzolane et de sable est très complexe et dépend à la fois des variations de compacité signalées ci-dessus et du degré d'affinité qu'ont l'un pour l'autre le liant et la pouzzolane employés. Le meilleur moyen d'étudier cette influence est d'essayer des séries de mélanges dans lesquels les proportions des trois matériaux soient échelonnées méthodiquement, et d'analyser par une méthode graphique l'ensemble des résultats obtenus.

Diverses recherches faites dans ce sens permettent de conclure que, presque toujours, une introduction judicieuse de pouzzolane dans les mortiers hydrauliques améliore leurs résistances, et que, avec les portlands et les bonnes pouzzolanes naturelles, la composition la plus favorable correspond au remplacement, dans les mortiers ordinaires, d'un tiers du ciment par autant de pouzzolane. Avec les autres matériaux, les meilleures proportions relatives des deux éléments actifs diffèrent, et doivent être déterminées dans chaque cas par des expériences spéciales. (Voir l'appendice)

Désagrégation par l'eau de mer. — On ne dispose pas, jusqu'à présent, de moyens à la fois rapides et sûrs pour éprouver les mortiers au point de vue de leur décomposition par l'eau de mer. Les résultats des essais sont influencés par des circonstances accessoires qui, sous ce rapport, les rendent difficilement comparables.

Les expériences concourent cependant à montrer que, parmi les mortiers obtenus en ajoutant à une certaine quantité de sable un même poids soit d'un ciment pur, soit d'un mélange de ce ciment et d'une poudre inerte, soit d'un mélange dans les mêmes proportions de ce ciment et d'une bonne pouzzolane, les seconds se décomposent tout d'abord, puis ceux qui ne contiennent que du ciment pur et, généralement beaucoup plus tard, ceux qui contiennent de la pouzzolane.

Mais il est difficile d'indiquer, pour le moment, la meilleure proportion de pouzzolane qu'il convient, à ce point de vue particulier, de substituer dans chaque cas à la chaux ou au ciment, et de comparer les efficacités relatives des diverses sortes de pouzzolanes. Il

semble toutefois que les laitiers granulés, qui pourtant donnent souvent les plus fortes augmentations de résistance, agissent moins pour retarder la décomposition que les bonnes pouzzolanes naturelles.

Choix des meilleures conditions d'emploi. — A défaut d'indications précises fournies par les essais de décomposition, le mieux sera sans doute, quant à présent, d'adopter les proportions de pouzzolane correspondant au maximum de résistance, c'est-à-dire pour les ciments genre portland employes avec les pouzzolanes naturelles, deux parties en poids de ciment pour une de pouzzolane; on aura ainsi, dès le début, la meilleure garantie contre les actions dynamiques, car les mortiers à la pouzzolane durcissent, en général, plus lentement que ceux de ciment sans mélange.

Pour les mêmes raisons; le choix de la pouzzolane, subordonné d'ailleurs dans chaque région aux prix d'achat et de transport, devra être basé provisoirement sur les résistances relatives données dans les essais par les diverses matières entre lesquelles on pourra hésiter. Parmi celles qui pourront être employées en France avec le plus d'avantages, il faut citer les trass de bonne qualité, la pouzzolane de Rome et surtout la gaize cuite, dont il sera question plus spécialement un peu plus loin.

L'emploi des laitiers granulés comporte beaucoup plus d'incertitude. Il ne serait pas prudent de faire usage de ces laitiers ou de produits industriels similaires avant de s'être assuré de la constance de leur composition et de celle de leurs procédés de fabrication, et avant d'avoir effectué des expériences préliminaires pour déterminer les proportions relatives de ciment et de laitier correspondant au maximum de résistance après plusieurs mois d'immersion dans l'eau de mer.

Des expériences préliminaires seront également indispensables, quelle que soit la pouzzolane employée, toutes les fois que l'on fera usage de chaux hydrauliques, pour déterminer les meilleures proportions à adopter, ces proportions pouvant varier beaucoup selon la nature des deux éléments du mélange.

Une condition essentielle pour que l'action de la pouzzolane se

produise convenablement est qu'il y ait contact intime de toutes ses parties avec le ciment ou la chaux, ce qui exige une grande finesse, comparable à celle du liant, et un mélange parfait des matières. Cette double condition sera facilement réalisée si le mélange est fait à l'usine même, avant mouture ; il faudra alors s'assurer avec soin de la qualité et des proportions des matériaux employés. Si le mélange doit avoir lieu sur le chantier, il faudra pouvoir disposer de moyens convenables pour effectuer ou parfaire la pulvérisation et pour opérer le mélange avec toute la perfection nécessaire, ce qui ne sera sans doute possible que sur des chantiers importants, organisés pour de grands travaux.

Le mélange pouzzolanique devant être de qualité au moins égale au liant employé pur, il n'y aura pas lieu de réduire la proportion de sable à employer avec ce mélange ; mais on doit admettre jusqu'à présent qu'il serait imprudent de l'augmenter. Il n'y aura d'ailleurs rien à changer aux méthodes de gâchage et d'emploi. On devra seulement veiller à ce que, pendant la période de durcissement précédant l'immersion, une certaine humidité soit toujours entretenue dans les maçonneries.

Enfin, pour tirer tout le parti possible des expériences et les rendre concluantes, les ingénieurs devront avoir soin d'employer concurremment, en des points bien repérés, des mortiers témoins contenant même proportion de sable et fabriqués dans des conditions identiques avec les mêmes ciments non mélangés de pouzzolane, de telle sorte que l'on puisse comparer dans la suite la manière dont les uns et les autres se seront comportés.

Prix de revient. — En admettant l'emploi d'un mélange de $\frac{2}{3}$ de ciment et de $\frac{1}{3}$ de pouzzolane moulus ensemble, sans modification du dosage des mortiers, les poids de liant et de sable entrant dans un mètre cube de mortier restent sensiblement les mêmes et le résultat économique de l'adoption des ciments mixtes est de réduire d'un tiers la consommation du ciment, en remplaçant ce tiers par autant de pouzzolane.

Comme il y a sans doute peu de régions de la France où telle ou telle bonne pouzzolane ne soit notablement moins chère que le

ciment, l'emploi des ciments mélangés de pouzzolanes devra donc être généralement un peu moins coûteux que la pratique actuelle.

Gaize. — La gaize est une roche tendre, grise ou gris jaunâtre, composée souvent de silice à peu près pure dont une forte proportion est à l'état soluble ; elle constitue en grande partie la chaîne de l'Argonne, où on la trouve sur une épaisseur atteignant parfois jusqu'à 100 mètres.

A son état naturel, c'est une pouzzolane moyennement énergique qui a l'inconvénient de donner des mortiers boueux et collant à la truelle, difficiles à travailler. Un léger grillage la colore en rose et lui enlève cette fâcheuse propriété, en même temps qu'il augmente son activité, la rendant comparable aux meilleures pouzzolanes connues, notamment en ce qui concerne la protection des ciments contre la décomposition par l'eau de mer.

En raison de sa consistance tendre et poreuse, les mortiers qu'elle donne par son mélange avec le ciment ont d'abord des résistances plus faibles que ceux de ciment seul ; mais si les proportions du mélange sont convenablement choisies, l'égalité se rétablit au bout de quelques mois de durcissement dans l'eau de mer, après quoi les mortiers à la gaize prennent généralement le dessus. Toutefois, même avec le mélange qui semble être le plus favorable, composé de deux parties de ciment pour une de gaize cuite, il sera prudent de ne pas tabler sur une augmentation de résistance et d'admettre qu'il y aura simplement égalité.

C'est surtout dans les essais de décomposition que cette matière paraît avoir de précieuses qualités. Aussi, vu son abondance dans le sol français et ses facilités d'extraction, semble-t-elle présenter un grand intérêt et mérite-t-elle d'être expérimentée sur une plus grande échelle qu'on n'a pu le faire jusqu'à présent.

La gaize n'est pas toujours pure : en particulier, elle se charge d'argile à la partie inférieure des gisements et de carbonate de chaux à leur partie supérieure ; mais, en la prenant au centre du banc, dont la puissance est considérable, il semble qu'on n'a guère à craindre ces impuretés ; il sera d'ailleurs toujours prudent de vérifier sa composition par l'analyse.

Conditions de réception et de contrôle. — Deux cas sont à considérer, suivant que la pouzzolane sera mélangée au ciment sur le chantier ou à l'usine.

Dans le premier, les conditions de réception du ciment devront être les mêmes que pour les fournitures ordinaires destinées aux travaux maritimes, et on aura, en outre, à s'assurer de la qualité de la pouzzolane par des essais spéciaux.

Aucune méthode d'essai applicable indistinctement à toutes les pouzzolanes n'est encore passée dans la pratique courante. Posée à l'Association internationale pour l'Essai des Matériaux, la question a fait l'objet, en 1906, au congrès de Bruxelles, d'un double rapport dont on pourrait s'inspirer pour l'établissement d'un cahier des charges, bien qu'aucune solution définitive n'ait été encore adoptée. En tout cas, en raison de la lenteur avec laquelle les éléments des pouzzolanes se combinent ordinairement avec la chaux, les essais de résistance et de décomposition ne pourront sans doute être bien probants qu'après une assez longue durée d'attente.

Si le mélange de ciment et de pouzzolane est fait à l'usine, il sera indispensable que l'ingénieur qui en fera l'emploi en connaisse exactement la composition et exerce un contrôle sévère sur la fabrication, contrôle d'autant plus nécessaire que le ciment entrant dans le mélange ne pourra être soumis séparément aux épreuves réglementaires.

Quant à établir un cahier des charges pour les mélanges de liants hydrauliques et de pouzzolanes, il serait difficile pour le moment d'y arriver avec quelque sécurité. On peut seulement conseiller l'essai de décomposition suivant, applicable d'ailleurs aussi bien aux liants purs qu'à ces mélanges, et qui, bien qu'encore assez lent, est l'un des plus sûrs et des plus expéditifs.

Cet essai consiste à laisser dans un grand excès d'eau un petit bloc (par exemple une briquette) de liant ou de mélange gâchés sans sable, puis, au bout de trois mois, à tailler dans ce bloc un parallépipède rectangle de 1 à 2 centimètres de côté, dont on use les faces au moins jusqu'à 2 à 3 millimètres de la surface libre initiale de manière à former des arêtes vives et bien nettes ;

on immerge ensuite ce parallépipède dans une solution fréquemment renouvelée de sulfate de magnésie à 5 grammes de sel anhydre par litre et on regarde de temps en temps s'il présente des altérations (*).

Conclusions. — En résumé, l'emploi de pouzzolanes dans les mortiers concurremment avec les liants hydrauliques usuels paraît accroître la résistance et retarder notablement, dans un grand nombre de cas, la désagrégation par l'eau de mer : il doit donc être conseillé, au moins à titre expérimental.

Les principales recommandations qu'on peut faire, quant à présent, touchant les conditions dans lesquelles cet emploi peut être effectué sur les chantiers maritimes, sont les suivantes :

Amener la pouzzolane à un degré de finesse comparable à celui des liants hydrauliques ;

L'incorporer au liant par des procédés mécaniques, de manière à obtenir un mélange parfaitement intime ;

Dans le cas d'un ciment portland employé avec une bonne pouzzolane naturelle, prendre deux parties, en poids, du premier pour une de la seconde ;

Ne se servir que de pouzzolanes ayant fait leurs preuves ; l'emploi de la gaize légèrement torréfiée est recommandé d'une manière toute particulière ;

Pour les autres sortes de liants, quelle que soit la pouzzolane employée, ainsi que dans tous les cas où la pouzzolane est de qualité douteuse, notamment s'il s'agit d'un laitier granulé ou d'un résidu industriel similaire, déterminer les proportions du mélange à la suite de tâtonnements préalables basés sur quelques essais de résistance (**).

(*) Avec la plupart des ciments actuels, on aperçoit des veines ou des fissures en moins de deux ou trois semaines, tandis que ce délai est généralement beaucoup plus long avec les mélanges pouzzolaniques. Pour plus de détails, voir page 107 une note spéciale sur cette méthode et les résultats qu'elle fournit avec les diverses sortes de liants hydrauliques.

(**) De pareils essais, de même que la pulvérisation de la pouzzolane et son mélange mécanique avec le liant hydraulique, ne pourront être exécutés convenablement que sur des chantiers disposant de moyens d'action suffisants. Par

. Associer au sable le mélange de liant et de pouzzolane comme on le ferait pour le liant pur et dans les mêmes proportions ; fabriquer et appliquer le mortier de la même manière ;

Employer toujours comme terme de comparaison, à côté du mortier pouzzolanique, dans les mêmes conditions et en des points bien repérés, un mortier témoin de même dosage dans lequel le mélange de liant et de pouzzolane soit remplacé par le même poids de liant pur ;

Avoir soin que le durcissement du mortier pouzzolanique s'effectue en présence de l'humidité.

- On ne saurait actuellement fixer des règles pour le contrôle et la réception des liants pouzzolaniques : on conseille seulement de vérifier leur aptitude à résister à l'action décomposante des sels de l'eau de mer, comparativement à celle des liants purs, au moyen de l'essai au sulfate de magnésie.

APPENDICE

Le principe du mode de comparaison graphique de tous les mortiers qu'on peut faire avec trois matériaux donnés consiste à représenter ces mélanges par les points d'un triangle équilatéral dont les sommets correspondent respectivement au liant hydraulique C, à la matière pouzzolanique M et au sable S. Le point représentatif d'un mélange quelconque est le centre de gravité du système pesant, obtenu en appliquant à chaque sommet un poids proportionnel à la quantité de matière correspondante entrant dans le mortier. Joignant par des lignes continues les points représentatifs des mortiers de même résistance, on détermine les cour-

contre, dans les cas où les proportions pourront être fixées d'avance et où le mélange pourra être fourni tout préparé avec les garanties de sincérité désirables, rien ne s'oppose à ce que l'emploi en soit fait sur des chantiers secondaires, à condition qu'on prenne toutes les précautions propres à assurer la valeur de l'expérience.

bes de niveau d'une surface topographique, dont les altitudes en chaque point sont proportionnelles aux résistances des mortiers.

Avec un bon sable et une bonne pouzzolane, et pour une durée suffisante de durcissement dans l'eau de mer, on obtient généralement des diagrammes dont la région voisine du sommet S, la seule intéressante au point de vue pratique, présente une succession de courbes de niveau analogue à celle qui est donnée par la *fig. 1*, dans laquelle r désigne une unité quelconque de résistance.

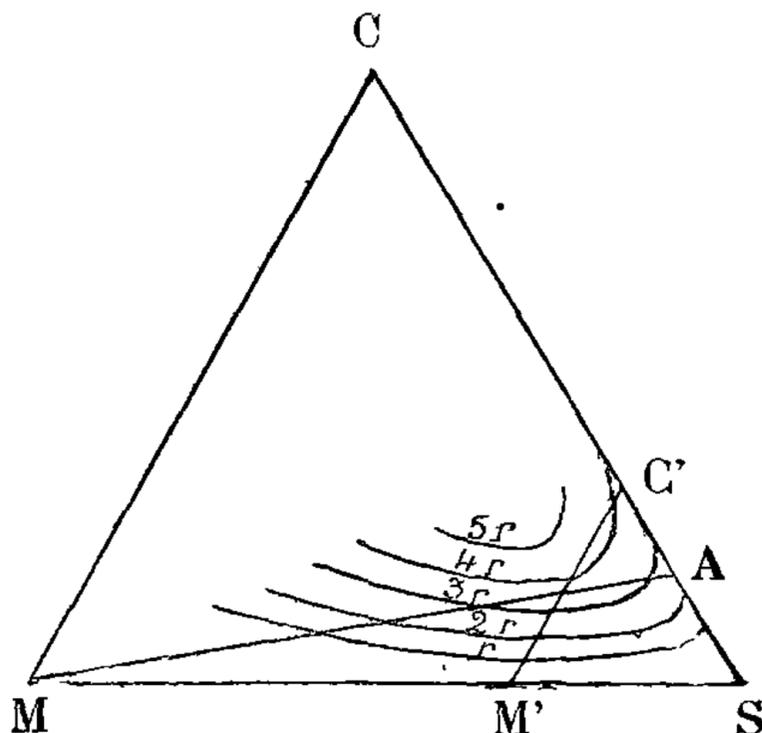


Fig. 1

Ce mode de représentation conduit aux observations suivantes :

1° Si l'on élimine les dosages trop riches, qui donnent souvent, principalement dans les essais de traction, des chutes de résistance brusques et irrégulières, les résistances s'élèvent généralement à mesure que l'on s'éloigne du sommet S ;

2° Le côté CS du triangle correspondant aux mortiers sans pouzzolane de tous dosages en

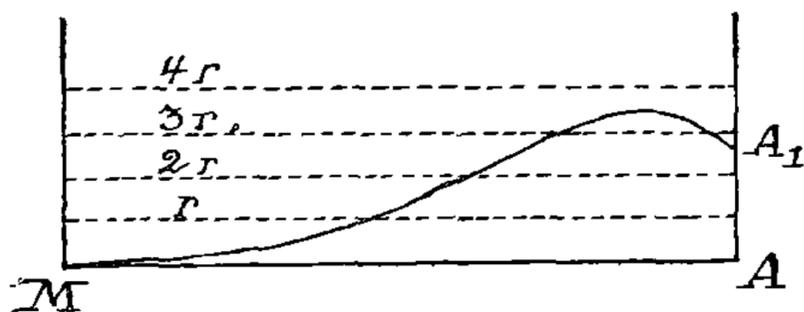


Fig. 2.

sable et en ciment, si l'on joint un point A quelconque de ce côté au sommet M par une ligne droite, cette ligne est le lieu géométrique des points repré-

sentatifs de tous les mortiers que l'on peut obtenir en ajoutant au mortier A toutes les proportions possibles de pouzzolane. L'intersection (*fig. 2*) de la surface topographique par le plan vertical projetant MA donne la courbe de variation des résistances ; cette courbe accuse généralement un maximum de résistance pour une certaine proportion de pouzzolane ;

3° Toute parallèle $M'C'$ au côté MC est le lieu géométrique des mortiers contenant une même quantité de sable pour un poids déterminé du mélange en toutes proportions de liant hydraulique et de pouzzolane.

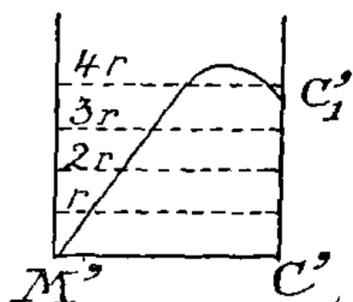


Fig. 3.

L'intersection (*fig. 3*) de la surface topographique par le plan projetant $M'C'$ accuse généralement un maximum de résistance pour une certaine proportion des deux matières actives, proportion que l'on peut sans grande erreur considérer comme indépendante de la quantité de sable, ce qui revient à admettre que le lieu géométrique des points de contact des tangentes menées aux courbes de niveau parallèlement à MC est sensiblement une ligne droite passant par le point S .

L'allure des courbes de niveau dépend beaucoup, d'après ce que l'on a dit ci-dessus, de l'état physique des trois matières employées et de la durée de conservation des mortiers.

En particulier, la présence d'un maximum dans les sections telles que MA est en grande partie subordonnée à la compacité du mortier A , qui dépend elle-même de la richesse de ce dernier et surtout de la composition granulométrique du sable. Aussi est-il aléatoire d'ajouter de la pouzzolane à un mortier de composition donnée, car la compacité de celui-ci peut s'en trouver, selon le cas, ou augmentée, ou diminuée. Il vaut mieux substituer à une partie du liant une égale proportion de pouzzolane de même finesse et, cette proportion fixée, ajouter au sable une quantité de mélange telle que le mortier obtenu soit suffisamment compact et résistant.

Après de faibles durées de durcissement, pendant lesquelles les pouzzolanes n'ont pas encore suffisamment développé leur action, et aussi lorsque l'on a fait usage de pouzzolanes peu énergiques, les courbes $M'C'$, correspondant à des mortiers où la proportion de sable est la même, ne présentent pas de maximum et vont en montant constamment de M' en C' (*fig. 4*, courbe 1). Avec les pouzzolanes moyennement actives et après une durée suffisante, on observe un maximum, voisin de C' , différant peu de la résistance du mortier sans pouzzolane (*fig. 4*, courbe 2). Enfin, pour des pouzzolanes d'énergie croissante, le maximum de résistance

s'accroît et correspond à des mélanges de plus en plus riches en pouzzolane (*fig. 4*, courbe 3).

Laissant de côté les pouzzolanes peu énergiques, on peut diviser les autres en deux catégories : 1° les bonnes pouzzolanes naturelles, 2° les laitiers de hauts fourneaux granulés pour la fabrication du ciment de laitier et divers résidus industriels.

Si l'on se sert des premières avec des ciments portland, la proportion pondérale de pouzzolane à faire entrer dans un poids 100 de mélange de ces deux substances, pour obtenir la résistance finale maximum, est d'environ 30 à 40; une pareille substitution

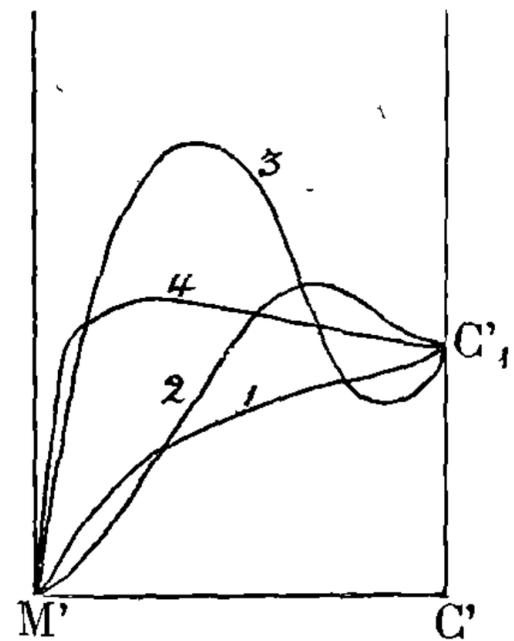


Fig. 4.

de pouzzolane au tiers du ciment employé peut augmenter la résistance du mortier de 50 p. 100 au maximum.

La proportion de pouzzolane à prendre augmente en général quand, au lieu de ciment, on emploie des chaux de moins en moins hydrauliques, et atteint 75 à 80 avec la chaux grasse éteinte en poudre, c'est-à-dire qu'il faut de trois à quatre parties de pouzzolane pour une de chaux.

Les laitiers et autres résidus industriels jouissant de propriétés analogues ont naturellement des compositions et des propriétés variables selon les conditions dans lesquelles ils ont été obtenus; les meilleurs peuvent parfois plus que doubler les résistances des mortiers dans lesquels on les introduit.

Avec les laitiers granulés convenant à la fabrication du ciment de laitier, les proportions qui correspondent au maximum de résistance sont plus fortes qu'avec les pouzzolanes naturelles : ainsi, dans les mélanges de laitier et de portland, le laitier peut entrer pour 50 p. 100, et cette proportion, encore plus forte avec les chaux, atteint 85 à 90 p. 100 avec la chaux grasse éteinte en poudre (*).

(*) Certaines fabriques d'Allemagne produisent sous le nom de Eisenportland-

Les mélanges en diverses proportions de portland et de laitier granulé dans des mortiers de même dosage donnent en général des courbes des types 4 et 3 de la *fig. 4*, parfois avec dépression très accentuée entre le sommet de la courbe et le point C'_1 , de sorte qu'une addition trop faible de laitier peut diminuer notablement la résistance; parfois aussi le sommet de la courbe est plus bas que le point C'_1 lui-même; aussi, tant qu'on ne sera pas mieux fixé sur les circonstances qui correspondent à ces divers types de courbes, sera-t-il imprudent d'employer des mélanges de laitiers et de ciments sans les avoir soumis à des expériences préliminaires.

14 janvier 1908

Approuvé par la Commission des Chaux et Ciments, dans sa séance du 18 janvier 1908.

Le Président,

QUINETTE DE ROCHEMONT.

zement, des ciments contenant 70 0/0 de portland pour 30 0/0 de laitier.

D'autre part, on sait que le ciment de laitier proprement dit est un mélange de laitier granulé et de chaux grasse ou légèrement hydraulique, mélange dans lequel le laitier entre toutefois en proportion inférieure à la limite indiquée ci-dessus.

Enfin on a réussi à obtenir depuis quelques années des laitiers qui font prise sans aucune addition de chaux et qui constituent par eux-mêmes de véritables ciments, sur lesquels leurs inventeurs fondent de grandes espérances au point de vue de l'emploi dans l'eau de mer, toutefois cette fabrication ne semble pas être entrée jusqu'à présent dans une voie franchement industrielle, et l'on n'a encore sur ces produits que des expériences peu nombreuses et de trop courte durée.

N° 7

NOTE

SUR

LA RESTAURATION DU PONT
DE PONT-DU-CHATEAU

Par M. TAVERA, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Historique et description de l'ouvrage. — La route nationale n° 89, de Lyon à Bordeaux, traverse la rivière de l'Allier, aux abords du bourg de Pont-du-Château, au moyen d'un pont en pierre de sept arches, construit vers l'année 1777.

Les arches sont en forme d'anse de panier.

L'arche centrale a 21^m,44 d'ouverture ; les autres, symétriques par rapport à celle-ci, ont respectivement 21^m,12, 20^m,70 et 20^m,34 d'ouverture. La hauteur sous clef, mesurée à partir du socle, varie de 9^m,24 à 9^m,78. Les piédroits ont 2 mètres de hauteur (*fig. 1 et 3, pl. 4*).

Les piles ont une épaisseur de 4^m,26 ; elles sont munies d'avant et d'arrière-becs de forme ogivale.

La culée de rive gauche est percée d'une voûte de 6 mètres d'ouverture, établie sur le quai du port de Pont-du-Château.

Les fondations du pont reposent sur le calcaire bitumineux. Ce rocher est apparent sous les deux arches de rive gauche. Ailleurs, il est facilement mis à nu, la grève n'ayant que peu d'épaisseur.

L'ouvrage tout entier est parementé en pierre de taille de Volvic (lave volcanique).

Les maçonneries de l'extrados, de l'intérieur des piles et de la

partie interne des tympans avaient été faites avec des moellons calcaires.

Entre les tympans et jusqu'au niveau du dessous des plinthes le pont avait été rempli par une maçonnerie de moellons calcaires bitumineux de mauvaise qualité.

Par une singularité inexplicable, le pont n'avait pas été recouvert d'une chape sur toute sa largeur; celle-ci n'existait que sur une largeur de 2^m,90 de chaque côté des plinthes et laissait, au milieu du pont, un vide d'une égale largeur.

Etat de l'ouvrage. — L'ouvrage présentait depuis longtemps de sérieux désordres.

Toutes les voûtes étaient lézardées longitudinalement près de l'axe de l'ouvrage. Ces lézardes avaient leur maximum d'ouverture à la clef et, d'une manière générale, ne descendaient pas jusqu'aux naissances. (Voir *fig 2*, pl. 4). Dans certaines piles, on avait rencontré quelques fissures, à peine visibles, situées en prolongement de ces crevasses et dans la hauteur des piédroits.

A l'intrados, on constatait, en outre, des fissures près des bandeaux.

Aux têtes de l'ouvrage, les désordres se manifestaient principalement dans la région qui correspond aux tympans. Le parement de ceux-ci était venu en surplomb très nettement et, au droit des reins de la voûte, les voussoirs de tête s'étaient fissurés au niveau de la partie inférieure des tympans.

L'arête des avant et arrière becs était en surplomb variant de 0^m,08 à 0^m,17. Ces becs présentaient quelques lézardes se dirigeant du pont vers les arêtes et de haut en bas (*fig. 4*, pl. 4).

En examinant l'ouvrage en plan, on constatait que les deux parements du pont s'étaient écartés et que cet écartement était beaucoup plus important au droit des piles qu'au sommet des voûtes, ainsi que le montre le diagramme des déplacements (*fig 4, bis* pl. 4).

Le nivellement des parapets a fait ressortir quelques jarrets qui ne s'apercevaient pas au regard. Sur la partie droite de l'ouvrage, les points bas correspondaient à des piles, tandis que, sur la partie

gauche, le point bas correspondait au sommet d'une arche (*fig. 4 bis*, pl. 4).

La comparaison de l'état de l'ouvrage avec des dessins relevés en 1890 n'a pas fait constater une aggravation bien sérieuse des désordres ; mais, néanmoins, toutes les personnes qui passaient fréquemment sur le pont affirmaient que les trépidations qui se produisaient au passage de lourdes charges s'étaient accentuées.

Causes présumées des avaries. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, le pont est fondé sur le rocher calcaire qui constitue le lit de la rivière à son emplacement ; on n'a constaté aucun mouvement à la partie basse de l'ouvrage et on peut en conclure que ce n'est pas dans un tassement ou un affouillement des fondations qu'il faut chercher la cause des détériorations que présente l'ouvrage.

Le surplomb des parements de tympans et celui des arêtes des becs des piles, joint à ce fait que l'écartement des tympans était partout supérieur au-dessus des piles à leur écartement au sommet des voûtes, fait croire à une action d'expansion des maçonneries de remplissage faites avec des calcaires tendres qui, sous l'action des eaux (que les chapes partielles de l'ouvrage ne pouvaient empêcher de passer) se sont décomposées et ont pu fuser en subissant une dilatation. On peut ajouter à cette action celle des gelées dont l'effet est analogue.

Dans ces deux hypothèses, la poussée des tympans aurait été la plus forte au-dessus des piles, là où l'épaisseur des maçonneries de remplissage est maximum et l'effet produit serait bien analogue, en plan, à la déformation que présente l'ouvrage (*fig. 4*, pl. 4).

Le mouvement d'écartement des tympans se serait transmis forcément aux têtes des voûtes, par suite de la disposition de l'appareil des pierres qui assure une liaison intime entre ces tympans et les têtes de voûte. Ce mouvement aurait produit les lézardes que l'on remarquait sous chaque douelle, près de l'axe de l'ouvrage, ainsi que les fissures et les cassures qui existaient dans les bandeaux.

Essai de restauration partielle. — L'essai de restauration partielle de l'ouvrage a été limité aux voûtes et tympons de deux demi arches contiguës à une pile ; il avait pour objet :

1° De ne reconstruire que les maçonneries disloquées, en opérant successivement sur la moitié de la largeur du pont et en ne mettant sur cintres que les parties de voûtes qui exigeaient des réparations importantes ;

2° De remplir, au fur et à mesure de l'exécution des tympons, avec du béton, tous les vides dans les maçonneries de remplissage entre ces tympons ;

3° De recouvrir cette maçonnerie de remplissage par une chape en ciment armé reliant les deux tympons au moyen de ses armatures métalliques, les eaux s'écoulant par des gargouilles qui traverseront les reins des voûtes près des piles ;

4° De rejointoyer et de rocailler au besoin les maçonneries conservées, étant entendu que dans tous ces travaux, on respecterait l'appareil de l'ouvrage, qu'on emploierait en parement les mêmes matériaux et que, sur les bandeaux, les rocaillages devraient être limités à de faibles surfaces.

Pour appliquer les dispositions précédentes, nous avons choisi la partie comprise entre le sommet de la première arche de rive gauche et le sommet de l'arche voisine (*fig. 5, pl. 4*).

Les travaux ont été exécutés en deux fois, afin de ne pas interrompre la circulation.

Après avoir enlevé les parapets, la plinthe et la chaussée, on a enlevé toutes les maçonneries de remplissage entre les tympons jusqu'au niveau du couronnement des becs. La maçonnerie de pierre de taille de Volvic qui forme le parement des tympons ainsi que l'intrados des voûtes, a donc été mise à nu. Les parties démolies étaient en très mauvais état. Les moellons calcaires tendres et bitumineux étaient décomposés et délités, le mortier ne possédait plus aucune résistance. Les maçonneries de l'extrados de la voûte et celle de la partie arrière des tympons, étaient à peu près dans le même état que celles du remplissage proprement dit, et il n'était même pas possible de faire une distinction entre elles, contrairement au résultat donné par un sondage exécuté en 1903

sur la troisième arche, à la suite duquel on avait nettement reconnu l'existence d'une maçonnerie d'extrados en calcaire assez dur.

Les maçonneries de la pile étaient bonnes à partir du dessous des chaperons des becs.

Toutes les maçonneries défectueuses ayant été enlevées, l'ouvrage présentait donc les dispositions suivantes :

Deux demi-voûtes en pierre de taille d'une épaisseur variant de 0^m,90 à 1 mètre et des murs de tympan formés seulement de pierres de parement ayant 0^m,35 à 0^m,80 de queue.

Les lézardes et les fissures des voûtes ainsi que les joints des tympan qui étaient dégradés ont été soigneusement bouchés avec du ciment, puis l'on a rempli tout le vide, jusqu'à la hauteur fixée pour la chape, avec du béton de chaux hydraulique au dosage de trois parties de gravier pour deux de mortier (*fig. 7, pl. 4*).

Sur ce béton, on a exécuté une chape en béton armé de 0^m,06 d'épaisseur constituée par une armature de tringles ou barres rondes en acier doux de 0^m,008 de diamètre, formant un treillis à mailles carrées de 0^m,20 de côté.

Les tringles ont été ligaturées à chaque intersection et ajoutées l'une à l'autre en se doublant sur une longueur de 0^m,35 sur laquelle la ligature a été faite également. Leurs extrémités ont été recourbées en forme de crochets (*fig. 9 et 10, pl. 4*).

Les barres transversales ont été scellées au mortier de ciment dans les pierres de parement des tympan. Pour renforcer la partie scellée, les barres ont été doublées d'une deuxième barre de 1 mètre de longueur formant crochet à ses deux extrémités, allant jusqu'au fond du scellement et ligaturée avec la barre principale sur 0^m,30 de longueur et avec les barres longitudinales par une boucle de fer.

Les murs de tympan ont été reconstitués au-dessus de la chape en béton par une maçonnerie de moellons bruts de Volvic avec mortier de ciment, de façon à leur donner une épaisseur d'un mètre (*fig. 8 et 9, pl. 4*).

Le béton armé a été recouvert entre les tympan, d'une chape en mortier de chaux hydraulique de 0^m,025 d'épaisseur, puis d'une

chape en asphalte de 0^m,015 amenant l'eau dans deux gargouilles établies une de chaque côté de l'axe, en raison de l'exécution en deux fois des travaux.

On a enfin remblayé jusqu'à la chaussée avec des cailloux de l'Allier, puis rétabli les plinthes, les parapets et les trottoirs et exécuté les rejointements et les rocaillages.

Il n'a pas été utile de mettre l'ouvrage sur cintres. Les arches en réparation n'ont subi aucun mouvement.

Cet essai de restauration partielle a été exécuté par voie de régie et sur un marché de gré à gré. La dépense s'est élevée à la somme de 15.916 francs.

Les travaux nous ont paru donner toute la solidité nécessaire et les résultats obtenus étaient trop concluants pour ne pas appliquer le même procédé de réparation au reste de cet important ouvrage.

Restauration totale de l'ouvrage. — L'expérience faite sur deux demi-arches contiguës à une pile, ayant permis de constater que le procédé de réparation mis à l'essai pouvait être étendu au pont en entier, nous avons soumis à l'approbation de l'administration supérieure en novembre 1905, un projet de restauration totale.

Ce projet comportait l'exécution, sur le surplus du pont, de travaux semblables à ceux qui viennent d'être décrits précédemment et, en outre, un dallage en ciment sur les trottoirs (*fig. 9, pl. 4*), ainsi que la pose de quelques tirants destinés à relier les têtes des deuxième et troisième arches, qui paraissaient en plus mauvais état que les autres. Les ancrs de ces chaînages devaient être noyées dans les parements des tympans et recouvertes d'un rocaillage imitant la pierre dont l'appareil est conservé. Il n'avait pas été prévu de mise sur cintres.

Une décision ministérielle du 6 mars 1906 a approuvé le projet et vu l'urgence, nous a autorisé à procéder immédiatement à l'adjudication des travaux qui a eu lieu le 7 avril 1906. Ceux-ci ont été commencés au mois de mai suivant ; ils ont été exécutés en deux fois, de manière à ne pas interrompre la circulation.

Les conditions et le mode d'exécution ont été les mêmes que

pour l'essai de restauration partielle. Le nettoyage des vieilles maçonneries des voûtes et des tympans, le garnissage au ciment des lézardes et des joints dégradés, ont été exécutés en régie ; il paraissait, en effet, difficile de donner à l'entreprise, des travaux d'une nature aussi spéciale et exigeant des soins tout particuliers.

En résumé, le programme que comportait le projet, a été réalisé entièrement et dans les meilleures conditions possibles. Quoi qu'il reste encore quelques parachèvements à exécuter, les travaux peuvent être considérés comme terminés, en tant que grosse réparation proprement dite. Aucun mouvement n'a été constaté dans la partie de l'ouvrage qui a fait l'objet de la restauration partielle de 1905 ; on peut en déduire que les mêmes résultats seront obtenus à la suite de la restauration totale.

La composition du mortier de ciment pour béton de chape armée, a été de 1.250 kilogrammes de ciment de Voreppe (Isère), pour un mètre cube de sable.

Le béton de ciment formant chape armée, de 0^m,06 d'épaisseur, a été composé de 2 mètres cubes de gravillon pour 1 mètre cube du mortier ci-dessus.

La surface de cette chape est de 1.700 mètres carrés, soit, à raison de 5 fr. 12, rabais déduit, une dépense de 8.704 francs y compris l'armature métallique.

Le montant total des dépenses s'élèvera environ à la somme de 100.000 francs.

Sous notre direction, les travaux ont été projetés par M. Populus, ingénieur auxiliaire, qui en a surveillé l'exécution, secondé par MM. Levadoux, conducteur des Ponts et chaussées et Marcé, commis des Ponts et chaussées.

L'entreprise a été adjugée à M. Moulin, entrepreneur de travaux spéciaux en ciment, à Clermont-Ferrand.

Clermont-Ferrand, le 23 mai 1907.

CHRONIQUE

N^o 8

Etude sur les mouvements d'eau qui peuvent se produire au contact et au voisinage d'une paroi plane verticale, par MM. FORTANT et LE BESNERAIS, ingénieurs de la Marine.

Rapport à l'Académie des Sciences, par M. BERTIN.
(Séance du 16 décembre 1907).

Compte rendu par M. GOUPIL, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Depuis Newton qui formula dans son livre des *Principes*, (T. II. Sect. VIII, prop. 44-46) une hypothèse pendulaire, de nombreux travaux ont été publiés sur la théorie des vagues. La base des recherches modernes a été fournie par la solution cinématique à orbites circulaires du chevalier Gerstner (1808); et d'une part, le mémoire classique de M. Bertin sur *la théorie et l'observation de la houle et du roulis* (*Mémorial du Génie Maritime* 1873), d'autre part, les savantes recherches de M. Boussinesq sur la régularisation de toute agitation périodique des flots, sur l'amortissement des harmoniques de la houle fondamentale (*Comptes Rendus* 1875), sur l'influence de la viscosité et des frottements (*Journal de Mathématiques pures et appliquées*, 1878) ont abouti à une théorie rigoureuse pour la houle trochoïdale pure et aussi satisfaisante pour le clapotis, qu'on peut l'envisager dans une première approximation correspondant à la théorie infinitésimale de l'élasticité parfaite dans les solides, c'est-à-dire en considérant comme négligeables les carrés et les produits des déplacements, et en appliquant le principe de la superposition des petits mouvements.

Dans les limites de cette approximation on doit signaler comme étude bien documentée et particulièrement intéressante pour les espaces limités parallélépipédiques, cylindriques ou tubulaires la Thèse de Doctorat présentée par M. F. Nau (Gauthier-Villars, 1897, avec des photographies de Marey) et l'exposition simplifiée des résultats de M. Boussinesq, donnée par M. Maurice Lévy en 1898.

Enfin M. Bertin est revenu à son tour sur les points définitivement

acquis de la théorie des vagues dans une conférence à la Société de Géographie du 23 mai 1906.

Les études préliminaires relatives à la fermeture de cales sèches de dimensions exceptionnelles, à Brest (Lanninon) ont conduit MM. Fortant et Le Besnerais à reprendre dans son ensemble la théorie de la houle et du clapotis pour lui donner un plus haut degré d'approximation permettant une évaluation plus exacte des pressions dynamiques exercée par la mer contre une paroi verticale.

Nous n'avons pas à insister sur l'étude préliminaire de la houle pure et du clapotis (interférence de deux houles égales et de sens contraire) par laquelle débute leur important mémoire et qui correspond aux résultats déjà connus, nous voulons parler surtout de la méthode d'approximation qu'ils ont introduite et du parti qu'ils en ont tiré.

D'abord, MM. Fortant et Le Besnerais ont considéré les coordonnées x, y, z de chaque molécule mobile comme étant des fonctions de celles d'une molécule dite *conjuguée* (X, Y, Z) appartenant à un liquide immobile également continu ; ce choix de variables qu'on adopte normalement dans les théories élastiques des milieux continus permet de donner aux équations générales une forme favorable à l'intégration par séries.

Ils ont donc repris les équations du clapotis sous la forme générale :

$$\begin{aligned} x &= X + f(X, Z, t) \\ y &= Y \\ z &= Z + \varphi(X, Z, t) \\ p &= p_a + \rho g Z + \rho g \psi(X, Z, t) \end{aligned}$$

et ils ont cherché à satisfaire aux équations générales de l'hydrodynamique et de la continuité, en développant les fonctions f, φ et ψ suivant les puissances croissantes d'un paramètre ϵ , apparaissant dans les expressions relatives au clapotis simple et à la houle trochoïdale.

Tandis que la houle pure trochoïdale est susceptible d'une représentation algébrique exacte (pour un liquide non visqueux et incompressible) satisfaisant rigoureusement aux équations de l'hydrodynamique et de la continuité, le clapotis pur n'a pu être figuré que par des équations qu'on peut mettre sous la forme binôme, révélant les deux houles composantes :

$$\begin{aligned} x - X &= -r \sin \omega \left(t - \frac{X}{W} \right) + r \sin \omega \left(t + \frac{X}{W} \right) \\ z - Z &= r \cos \omega \left(t - \frac{X}{W} \right) + r \cos \omega \left(t + \frac{X}{W} \right) \end{aligned}$$

ω , désignant la vitesse angulaire uniforme des molécules dans leur orbites circulaires de rayon $r = r_0 e^{\frac{-z}{R}}$, $W = R \omega = g \omega$ étant la célérité des ondes composantes, et R le rayon de la circonférence de base du mouvement trochoïdal.

Ces formules ne satisfont pas à l'équation de continuité pour toutes les valeurs du temps t , à moins de négliger les termes en $\left(\frac{r}{R}\right)^2$.

Il est d'ailleurs visible qu'au moment où dans le clapotis, la surface est horizontale les centres d'oscillation des diverses molécules ont dû descendre tous d'une certaine quantité, vu que dans les houles composant prises isolément ils sont au-dessus de la surface de l'eau au repos. Ce déplacement des centres d'oscillation correspond d'ailleurs à la transformation d'énergie cinétique en travail de la pesanteur qui accompagne les déformations de la surface dans le clapotis.

On ne peut donc songer à exprimer les équations exactes du clapotis par des formules du genre de celles qui précèdent, en considérant X et Z comme indépendants du temps, ainsi qu'on a pu le faire pour la houle.

Il serait dès lors intéressant de rechercher les conditions analytiques les plus simples dans lesquelles on peut admettre que X et Z dépendent de t pour satisfaire exactement aux équations différentielles générales.

Si l'on s'en tient au cas de deux houles trochoïdales égales et de sens opposé la trajectoire des centres d'oscillation doit par raison de symétrie être une ligne verticale aux crêtes et aux nœuds correspondant aux surfaces d'onde plane, on est donc conduit à rechercher si les équations fondamentales peuvent être satisfaites en corrigeant $x - X$ et z par l'addition des termes complémentaires ξ , ζ fonctions périodiques de t , définissant la courbe décrite par le centre d'oscillation.

Pour réaliser un *clapotis à volume constant*, MM. Fortant et Le Besnerais ajoutent à l'expression précitée de $z - Z$, un terme supplémentaire $-\frac{r^2}{2R} \cos \omega t$ et les équations du clapotis à volume constant prennent la forme :

$$x = X + r \cos \omega t \sin \frac{X}{R}$$

$$z = Z - \frac{r^2}{4R} (1 + \cos 2\omega t) + r \cos \omega t \cos \frac{X}{R}$$

Les trajectoires des molécules, au lieu d'être des lignes droites, comme dans le clapotis pur, deviennent des paraboles à axe vertical; les équations générales de l'hydrodynamique et les conditions de surface (pression atmosphérique) ne sont satisfaites qu'à la condition de négliger le cube de $\frac{r_0}{R}$.

Ce clapotis ne peut plus résulter de la superposition de deux houles trochoïdales simples et symétriques par réflexion comme celles des équations précédentes.

Dans le cas général de la superposition de n mouvements de houle trochoïdale, les équations de ces divers mouvements seront de la forme :

$$\begin{aligned} x_k &= X + f_k(X, Y, Z, t), & y_k &= Y + \varphi_k(X, Y, Z, t) & z_k &= Z + \psi_k(X, Y, Z, t) \\ p_k &= p_a + \rho g Z & & & & (k = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

On admet pour les f , φ et ψ , des développements suivant les puissances croissantes de paramètres ε , spéciaux à chaque houle composante.

$$f_k = \sum_p (A_p)_k \varepsilon_k^p, \quad \varphi_k = \sum_p (B_p)_k \varepsilon_k^p, \quad \psi_k = \sum_p (C_p)_k \varepsilon_k^p$$

ε_k pouvant être soit le rapport $\frac{r_k}{R_k}$ du rayon orbitaire de surface au rayon de la circonférence primitive égale à la longueur d'onde L , soit le rayon orbitaire r lui-même.

Le mouvement résultant étant représenté par des équations :

$$\begin{aligned} x &= X + F(X, Y, Z, t) & y &= Y + \Phi(X, Y, Z, t) & z &= Z + \Psi(X, Y, Z, t) \\ p &= p_a + \rho g Z + \Theta(X, Y, Z, t) \end{aligned}$$

les fonctions F , Φ , Ψ pourront être développées suivant les puissances croissantes d'un quelconque des paramètres ε^k et si on annule tous les autres paramètres, elles doivent devenir identiques aux f_k , φ_k et ψ_k , on est ainsi conduit à des formes :

$$F = \sum_{pk} (A_p) \varepsilon_k^p + \sum_{h'l} A_{h'l} \varepsilon_h \varepsilon_l + \sum_{pqr} a_{pqr} \varepsilon_p \varepsilon_q \varepsilon_r + \dots$$

ou bien

$$F = \sum f_k + F', \quad \text{de même } \Phi = \sum \varphi_k + \Phi'$$

En adoptant un paramètre unique ε lié aux ε_k par des relations $\varepsilon = \lambda_k \varepsilon_k$ les fonctions complémentaires F' , Φ' , pourront être développées suivant les puissances croissantes de ε à partir de ε^2 .

$$F' = \sum_p a_p \varepsilon^p, \quad \Phi' = \sum_p b_p \varepsilon^p, \quad \Psi' = \sum_p c_p \varepsilon^p, \quad \Theta' = \sum_p d_p \varepsilon^p.$$

La recherche des coefficients serait extrêmement compliquée dans le cas général, même en se limitant aux premières puissances :

Il faudra exprimer que les fonctions satisfont bien aux équations de continuité et de l'hydrodynamique, que les conditions physiques résultant des circonstances des divers mouvements sont satisfaites, enfin que l'énergie correspondant au mouvement résultant est la somme des énergies emmagasinées dans chaque houle composante, seule relation quantitative. Le problème sera évidemment très compliqué pour les termes supérieurs à la partie principale du mouvement résultant et il sera

notamment difficile de ne conserver parmi les éléments de la solution générale que ceux qui interviennent réellement dans la solution particulière qui correspond au cas réel.

Le problème limité au cas de deux houles trochoïdales parallèles a été étudié en détail par MM. Fortant et Le Besnerais et il donne déjà lieu à des calculs laborieux qui font entrevoir la difficulté des cas plus complexes. La première houle étant caractérisée par le paramètre $m = \frac{r_1}{R_1}$, la seconde par le paramètre $n = \frac{r_2}{R_2}$, leurs équations se développent suivant

les puissances croissantes de m et de n , et l'on forme par addition les équations du clapotis résultant. L'intégration des équations de l'hydrodynamique et de la continuité se fait ensuite par approximations successives en calculant d'abord les termes en m en faisant abstraction des puissances supérieures, puis les termes en m^2 sans tenir compte des termes en m^3 , etc.

Le résultat intéressant et imprévu de ces calculs, pour deux houles égales ayant même vitesse orbitaire ω ou même période $T = \frac{2\pi}{\omega}$ est que

la période τ du clapotis résultant n'est pas égale à T mais à $T\sqrt{1+m^2}$.

Cette période est donc un peu supérieure à celle de la houle génératrice. La superposition des deux houles de sens contraire imprimerait un léger ralentissement au mouvement ondulatoire des molécules. M. Bertin remarque dans son rapport à l'Académie que les effets de ce ralentissement n'ont pas été observés dans les expériences anciennes qu'il a faites avec M. de Caligny sur un canal d'essai contenant une vingtaine de vagues; les crêtes paraissaient s'élever et s'abaisser simultanément sur toute la longueur du canal.

Il est possible que la viscosité dont il n'est pas tenu compte dans les calculs, mais qui n'en exerce pas moins en réalité une action affaiblissante sur chaque système de vagues pris à part intervienne pour atténuer ce retard dans la période du clapotis. Il est probable que la destruction de travail produit par la viscosité au sein du clapotis reste inférieure à la somme des destructions analogues afférentes à chaque houle isolée.

Les équations simplifiées du clapotis pur aboutissent pour la pression à la formule suivante :

$$p = p_a + \rho g \left\{ \begin{array}{l} Z + \frac{\varepsilon^2 R}{2} \cos 2 \Omega t \left(e^{-\frac{2Z}{R}} - 1 \right) \\ - \frac{\varepsilon^3 R}{4} \cos \frac{X}{R} \left(e^{-\frac{3Z}{R}} - e^{-\frac{Z}{R}} \right) \left(\cos \Omega t + \frac{5}{3} \cos 3 \Omega t \right) \end{array} \right\}$$

En général on peut s'en tenir pour l'évaluation de la pression aux résultats antérieurs obtenus avec les termes du premier ordre.

2° *Cas du clapotis pur en profondeur limitée.* — En appliquant la méthode relative au cas de la profondeur infinie, il suffit de modifier l'expression des z de manière que pour $Z = h$ on ait $z = Z$.

MM. Fortant et Le Besnerais s'en sont tenus aux termes en ε et ε^2 soit au degré d'approximation du clapotis à volume constant dont les lois sont connues ;

3° *Cas des mouvements de gaufrage.* — C'est de l'avis de M. Bertin, la partie complètement nouvelle de l'étude analytique poursuivie par MM. Fortant et Le Besnerais. Le *gaufrage* résulte de la superposition de deux houles trochoïdales égales se propageant dans des directions obliques l'une par rapport à l'autre ; la seconde houle peut être la réflexion de la première contre un quai frappé obliquement.

Les axes horizontaux de coordonnées étant disposés suivant les bissectrices des directions de deux houles composantes m et n , leurs équations prennent la forme

$$x = X \mp m R e^{-\frac{Z'x}{R}} \sin \theta \sin \left(\omega t \mp \frac{X \sin \theta}{R} + \frac{Y \cos \theta}{R} + \xi \right)$$

$$y = Y \mp m R e^{-\frac{Z'y}{R}} \cos \theta \sin \left(\omega t \mp \frac{X \sin \theta}{R} + \frac{Y \cos \theta}{R} + \xi \right)$$

$$z_1' = Z_1' + m R e^{-\frac{Z'z_1'}{R}} \cos \left(\omega t \mp \frac{X \sin \theta}{R} + \frac{Y \cos \theta}{R} + \xi \right)$$

$$\text{avec } p = p_a + \rho g z$$

Les coordonnées de molécules ont donc des expressions de la forme $X + f(X, Y, Z, t)$, $Y + \varphi(X, Y, Z, t)$ et $Z + \psi(X, Y, Z, t)$ et l'on représentera f par un développement $\Sigma A_k \varepsilon^k$, φ par $\Sigma B_k \varepsilon^k$, ψ par $\Sigma C_k \varepsilon^k$, ε étant une quantité assez petite comme $\frac{r}{R}$. En introduisant ces dévelop-

pements dans les équations fondamentales, on obtiendra comme pour le clapotis les A_1, B_1, C_1 en négligeant les termes en ε^2 et les A_k, B_k, C_k en négligeant les termes en ε^{k+1} .

Les lois du mouvement ont été établies et les pressions calculées en considérant seulement les termes du premier et du second ordre et en supposant la profondeur infinie.

Les surfaces d'ondes sont des surfaces gaufrées dont les sommets et les creux sont disposés en quinconces losanges, la propagation se faisant suivant la bissectrice des deux houles.

L'agitation totale est la combinaison du mouvement principal (terme

en ϵ) des couches régulièrement gaufrées et d'ondulations secondaires (termes en ϵ^2) à crêtes rectilignes et continues; l'une est fixe à crêtes parallèles à la paroi, l'autre est une sorte de houle résiduaire dont les génératrices sont perpendiculaires à celles de l'ondulation fixe qui précède.

Au surplus, l'étude du gaufrage n'a pas d'importance pour la résistance des ouvrages fixes, attendu que la situation la plus défavorable correspond à l'action orthogonale d'une houle produisant un clapotis pur.

4° *Mouvements variés.* — MM. Fortant et Le Besnerais ont également appliqué leurs équations, en se bornant aux termes de premier ordre, à l'étude de mouvements complexes résultant de la combinaison de houles de hauteur quelconque, et produisant des vagues de hauteur et de vitesse variables.

Le Mémoire se termine par des considérations relatives au déferlement, à l'action du vent sur les vagues du large et enfin sur les règles à suivre pour le calcul des pressions sur les ouvrages d'art.

Dans ces mouvements ondulatoires avec déferlement, la masse d'eau qui déferle n'a généralement qu'un faible volume par rapport à la masse totale, et les vagues parasites sont petites par rapport aux vagues principales, les auteurs estiment donc que le calcul des efforts exercés par de tels mouvements contre une paroi pourra se faire en n'envisageant que des mouvements principaux de premier ordre dont l'intensité sera convenablement majorée.

En ce qui concerne le calcul des pressions sur les ouvrages d'art, le Mémoire conclut qu'on doit s'abstenir de le baser sur des pressions statiques établies d'après des données empiriques, toutes les fois qu'il sera possible de ramener l'agitation à laquelle on aura affaire à l'une de celles qu'on peut assez facilement étudier par les méthodes de calcul exposées. Le remplacement des efforts et moments dynamiques par les efforts et moments statiques peut donner lieu à deux sortes d'erreurs susceptibles de se cumuler, l'une venant de la substitution de pressions statiques aux pressions dynamiques effectives (la variation de ces dernières pouvant être beaucoup moindre aux grandes profondeurs), l'autre résultant d'une appréciation souvent fort erronée de la trace de la surface libre de l'eau sur la paroi.

Au surplus, les auteurs du Mémoire ne considèrent pas leurs théories comme applicables à l'action des grosses vagues sur les côtes ou sur les ouvrages exposés aux fortes lames du large; ils ont soin de les limiter aux lames relativement faibles, agissant à l'intérieur de ports convenablement abrités.]

BIBLIOGRAPHIE

N° 9

Les ports de la Grèce dans l'antiquité qui subsistent encore aujourd'hui, par Athan. S. GEORGIADES, Ingénieur en chef, ancien Elève de l'École des Ponts et Chaussées de Paris et de l'École polytechnique d'Athènes. — Athènes, 1907, in-folio.

Compte rendu par M. CHOISY,
Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite

Cette publication comble une importante lacune dans l'histoire technique de la Grèce. Les Grecs étaient connus comme d'incomparables architectes : leurs travaux d'ingénieurs restaient dans l'ombre ; M. Georgiades vient de les mettre en lumière.

Dans une revue d'ensemble où les documents écrits sont soumis à une pénétrante analyse, l'auteur nous fait assister à un essor général de l'art de l'ingénieur, qui se manifeste par des entreprises de dessèchement (lac Capais) ; des distributions d'eau (aqueduc et tunnel de Samos) ; et, surtout, des constructions de ports.

La mer était le vrai lien entre les villes helléniques ; les Grecs construisaient peu de routes : leur activité se concentrait sur les aménagements des ports. M. Georgiades a recueilli six exemples caractéristiques de ports grecs, et c'est à l'étude de leurs dispositions et de leur structure qu'est consacré son livre : chacun est figuré par un relevé à grande échelle ; les directions des vents et celles des courants littoraux sont soigneusement analysées ; et de cette analyse, ressort la pleine justification des orientations admises pour les jetées. Contre-épreuve : la conservation de la plupart des bassins, dont quelques-uns ont traversé vingt siècles sans ensablements graves.

Le groupe des ouvrages maritimes de Corinthe se présente comme un ensemble coordonné avec une méthode parfaite : Un port de chaque côté de l'isthme ; et, en attendant la réalisation d'un projet de percement conçu dès le VI^e siècle, une voie de terre relie ces ports entre eux en les rattachant à la ville même.

Le plus grand de ces ports, le Léchée, est une série de bassins intérieurs obtenus par dragage d'un marais sablonneux et auxquels vinrent successivement se joindre des bassins extérieurs en eau profonde, protégés par des jetées.

En Locride, le port de Larymna offre, à l'arrière des bassins d'eau profonde, une crique barrée par une jetée à deux passes éclusées.

A Erétrie, nous trouvons, d'un côté du bassin, un atterrissage naturel ; de l'autre, une jetée dont le musoir portait un phare.

Comme structure, les faits essentiels sont les suivants :

Emploi, pour les fondations sous l'eau, d'enrochements en blocs de diverses catégories : le noyau, en menus moellons ; puis des blocs dont la grosseur va sans cesse croissant.

L'auteur ne signale aucune application des fondations en blocs artificiels, dont Vitruve nous a laissé une description si précise.

Sur ces enrochements, reposent d'ordinaire des assises de pierres poreuses, dont la taille est facile et qui jouissent de la propriété de durcir au contact de l'eau et de l'air. Les plus grandes dimensions n'excèdent guère 1^m,20. Les lits de pose sont vifs ; et, entre deux pierres, on constate un intervalle de 2 à 4 centimètres, rempli de gravier, que M. Georgiades considère comme intentionnellement déposé. Ces sortes de joints de gravier se sont empâtés d'incrustations qui forment de toute la construction une sorte de monolithe.

C'est seulement au-dessus de l'atteinte des eaux calmes que commence l'emploi de matériaux calcaires.

Deux moyens de liaison artificiels sont admis : des crampons en fer ; ou bien des pièces de bois encastrées en rainure dans les faces supérieures des libages, et orientées perpendiculairement aux directions où des glissements sont à craindre. Ce dernier mode d'attache n'a été observé qu'à Anthédon.

Un autre artifice représenté, lui aussi, par une application toute locale, consiste à renforcer les murs des quais par des éperons adossés à leur contre-parement (port de Larymna).

Ces aperçus sommaires feront, nous l'espérons, ressortir l'intérêt qui s'attache aux observations si nouvelles de M. Georgiades : l'Ecole des Ponts et Chaussées a droit de se féliciter de compter leur auteur parmi ses élèves, et les Français ne peuvent qu'être touchés de voir l'exposé de ces découvertes présenté dans leur langue.

N^o 10

Les oscillations du matériel des chemins de fer et la voie, par M. Georges MARIÉ, ancien élève de l'École polytechnique; Ingénieur chef de division des chemins de fer du P.-L.-M., en retraite; Membre du Comité de la Société des Ingénieurs civils de France:

Compte rendu par M. F. LAUNAY, Ingénieur en Chef,
Inspecteur de l'École des Ponts et Chaussées

Depuis plusieurs années, M. Georges Marié poursuit des études sur les oscillations du matériel des chemins de fer, la voie, les grandes vitesses, le confortable et les déraillements pouvant provenir de l'association et de la résonance des oscillations exagérées, avec application aux automobiles. Ces travaux, qui ont obtenu un prix de l'Académie des Sciences en 1906, sur le rapport de M. Léauté, membre de l'Institut, sont entièrement terminés à présent.

L'auteur a divisé ainsi qu'il suit ses travaux :

La première série d'études a été exposée dans les « Annales des Mines » de 1905 ; elle donne l'analyse et le calcul des oscillations dues aux dénivellations ou défauts verticaux de la voie, par des méthodes entièrement nouvelles (*).

On sait, d'après les mémorables expériences de Couard, que les rails, après un long usage, ont une déformation permanente en forme d'arc de cercle, avec points bas aux joints ; de plus, les traverses, au passage des trains, subissent des affaissements plus considérables aux joints qu'ailleurs ; finalement, la roue, aux joints, tombe plus bas qu'au milieu du rail, d'une hauteur égale à 4 à 6 millimètres environ pour les bonnes voies et à 10 ou même 20 millimètres pour les mauvaises. On s'est demandé s'il pouvait en résulter des oscillations croissantes ou divergentes de la caisse sur les ressorts de suspension des véhicules, en cas de synchronisme entre la durée naturelle d'oscillation de la caisse sur ses ressorts et la durée du passage d'un joint au suivant.

L'auteur montre que cette crainte n'est pas fondée parce que les

(*) *Les dénivellations de la voie et les oscillations du matériel des chemins de fer*, par M. G. Marié. Paris, Dunod, 1906.

oscillations sont, dans l'immense majorité des cas, amorties par les frottements des lames des ressorts les unes sur les autres. Il étudie ces frottements, en donne une formule théorique nouvelle, vérifiée par l'expérience. Puis il établit la théorie des oscillations des véhicules sur ressorts lorsque ces véhicules franchissent les points bas des joints des rails supposés concordants. Il établit ce qu'il appelle « la condition de convergence des oscillations » ou formule qui donne la relation entre la dénivellation périodique à chaque joint, la flexibilité des ressorts et les frottements de ces ressorts, de telle façon que les oscillations ne puissent pas aller en augmentant et aillent même en diminuant, si une cause étrangère donne une grande oscillation préalable. Il est conduit à donner les formules de l'amplitude, de la durée, etc., des oscillations de galop dues aux dénivellations aux joints des rails à joints concordants.

Puis il passe à la même étude pour les oscillations de roulis, en cas de joints alternés, avec détermination de l'amplitude, de la durée et de la condition de convergence de ces oscillations. Cette étude le conduit aux conditions générales de stabilité des véhicules en travers, en fonction de la largeur de la voie, de la position de divers centres de gravité et d'oscillations, et de la flexibilité des ressorts.

Les formules et épures de dynamique graphique de l'auteur, relatives à ces oscillations de roulis, avec joints alternés, s'appliquent au cas des joints concordants, avec dénivellations plus fortes d'un côté que de l'autre. Ce cas se produit sur les voies anciennes, comme l'a montré Couiard, parce que le côté gauche s'affaisse plus que le côté droit dans les lignes à double voie, à cause du petit talus du ballast.

Puis l'auteur passe au cas des dénivellations, non plus régulières, mais locales, dues à ce qu'une ou plusieurs traverses se sont affaissées notablement, au cas de la traverse danseuse de la voie qui repose sur son centre, à cause de l'insuffisance du bourrage aux extrémités, etc.

En résumé, cette première série d'études traite toutes les questions d'oscillations dues *aux défauts verticaux de la voie*, réguliers ou locaux.

Il résulte, notamment, de cette série d'études que, pour les déraillements, les oscillations verticales sont d'autant moins dangereuses que les ressorts de suspension sont plus flexibles, à condition que la « condition de convergence » des oscillations soit remplie. Cependant, cette flexibilité doit être limitée par la nécessité de ne pas avoir des oscillations de roulis trop importantes, comme cela résulte des calculs de l'auteur dans cette première série d'études et dans la deuxième.

La deuxième série d'études de l'auteur a été exposée dans les mémoires de la Société des Ingénieurs civils de 1905 et 1906 (*); elle donne l'analyse et le calcul des oscillations du matériel dues aux variations brusques des rayons de courbure de la voie, résultant du tracé ou accidentelles, et cela par des méthodes encore nouvelles; ce sont les oscillations dues aux défauts horizontaux de la voie.

L'auteur montre que quand un véhicule de chemin de fer entre en courbe sans courbe de raccordement, ou en sort, il subit une oscillation *de roulis* autour d'un axe horizontal passant par un « centre d'oscillations » dont il a montré l'existence en 1901; ce centre se trouve à peu près dans la verticale du centre de gravité de la caisse et dans le plan horizontal moyen d'attache supérieure des ressorts. La fixité de ce point permet l'étude de l'oscillation, par des formules relativement simples, les équations se réduisant à deux équations de projection et à une équation des moments. L'auteur, après des calculs et des épures de dynamique graphique, arrive à cette conclusion curieuse : *l'amplitude de l'oscillation tend à être le double de celle qui résulterait du calcul banal de la force centrifuge dans le cas où la courbe serait de rayon constant.*

Fort heureusement, ces oscillations sont puissamment amorties par les frottements des lames de ressorts et autres, comme le montre l'auteur dans ses calculs, au point d'être, le plus souvent, annulées. Mais l'amortissement est déjà moins bien assuré s'il y a concordance avec les oscillations des dénivellations de la voie de la première série d'études.

L'auteur étudie l'amplitude et la durée de ces oscillations, la variation de pression des roues sur les rails, etc.

Puis il étudie les oscillations *de lacet* des véhicules, encore dans le cas d'entrée en courbe ou de sortie sans courbe de raccordement; il montre comment l'on doit calculer les éléments de l'appareil élastique du bogie ou plan incliné d'avant de la locomotive, pour éviter le choc latéral dur du boudin de la roue d'avant sur le rail dans ce cas.

Puis l'auteur applique toutes ces études au cas où la voie prend accidentellement une forme de serpent, de sinusoïde en quelque sorte, ce qui est très dangereux, comme on le sait, pour les déraillements; il calcule les conditions de convergence de ces oscillations, leur amplitude, leur durée, etc.

Puis il calcule les effets gyroscopiques des roues et traite un problème qui avait été posé par Foucault sans avoir été résolu, pour l'application du gyroscope aux roues de chemins de fer.

(*) *Les oscillations du matériel des chemins de fer à l'entrée en courbe et à la sortie.* — *Les grandes vitesses des chemins de fer, les oscillations du matériel et de la voie*, par M. G. Marié, Paris, Dunod, 1906. (Mémoires couronnés par la Société des Ingénieurs civils en 1906).

Enfin, il étudie l'association des oscillations de cette deuxième série d'études avec celles de la première série et celle de la troisième série, dont il sera question ci-après. *Il montre que l'oscillation résultante du véhicule, en cas de synchronismes les plus fâcheux, ira en augmentant jusqu'à ce que l'ensemble des travaux résistants dus aux résistances passives, soit aussi grand que l'ensemble des travaux des forces perturbatrices pendant une oscillation simple.*

C'est là le principe dominant de toutes ces études, qui offrent une certaine analogie avec l'étude des résonances en électricité et, notamment, dans la télégraphie avec et sans fil.

Au point de vue pratique, l'auteur arrive à proposer une combinaison de tracés des dévers de la voie pouvant compenser, dans une certaine mesure, l'absence de raccordements paraboliques ou progressifs de la voie, dans le cas où il est impossible de les établir ou dans le cas où ces raccordements sont un peu courts. Ce système de l'auteur a été appliqué par une grande Compagnie de chemins de fer et a donné de bons résultats.

Enfin, l'auteur examine les conditions dans lesquelles les associations d'oscillations, isolées ou répétées, peuvent occasionner des déraillements dans le matériel ordinaire ou à bogies.

La troisième série d'études de M. Marié a été exposée dans la « Revue générale des Chemins de fer et Tramways » de 1907 (*). Elle donne l'analyse et le calcul des oscillations que le matériel subit, même sur une voie excellente, ou oscillation due à la conicité des bandages de tout le matériel, associée avec les oscillations dues aux forces centrifuge et d'inertie des pièces tournantes et oscillantes non équilibrées et à l'action de la vapeur dans les locomotives.

Ces études sont, ici encore, basées sur des méthodes entièrement nouvelles.

L'auteur donne donc une théorie simple des oscillations de lacet des locomotives et de tout le matériel, dues à la conicité des bandages. Il montre que cette oscillation est la plus puissante des oscillations dues au matériel lui-même ; elle a une durée indépendante de la vitesse du train et ne dépendant que des éléments du véhicule lui-même et du jeu de la voie. Sa durée est de $\frac{2}{3}$ à $\frac{3}{4}$ de seconde environ pour une oscillation double, aller et retour, comme on l'avait déjà signalé.

L'auteur montre ensuite que ces oscillations sont amorties, en pratique, par les frottements internes de la locomotive et du matériel ; il montre

(*) *Les oscillations du matériel dues au matériel lui-même et les grandes vitesses des chemins de fer*, par M. G. Marié. Paris, Dunod, 1907.

surtout qu'il ne faut pas faire entrer en ligne de compte, dans les frottements d'amortissement, les frottements latéraux des bandages sur les rails, si l'on veut considérer les cas les plus défavorables, mais seulement les frottements internes du matériel.

Il étudie, d'autre part, les oscillations dues aux forces d'inertie des pistons, aux forces centrifuges non équilibrées, à l'action de la vapeur, etc. Il montre que ces dernières oscillations, qui dépendent de la durée de révolution des roues motrices, sont, aux grandes vitesses, beaucoup plus rapides que les oscillations de conicité des bandages. Il étudie les cas où ces deux durées sont des multiples l'une de l'autre; il montre que le cas le plus défavorable est le cas où la durée de l'oscillation de lacet, due à la conicité des bandages, est un multiple impair de la durée de révolution des roues motrices. Il étudie alors l'amortissement de ces diverses oscillations combinées, ce qui le conduit au calcul de l'amplitude de l'oscillation résultante de sa durée, etc., comme pour ses autres séries d'études:

Il montre que les bogies des locomotives doivent se calculer à ce nouveau point de vue de l'amortissement des oscillations de lacet, surtout pour les très grandes vitesses; ces bogies doivent aussi remplir les conditions résultant des deux premières séries d'études comme, par exemple, la nécessité de leur donner des ressorts de suspension aussi flexibles que possible, dans les limites fixées par l'auteur, la nécessité d'un appareil élastique de rappel assez puissant pour adoucir les entrées en courbe, avec frottements suffisants, etc.

Enfin, l'auteur a étudié l'amortissement de diverses autres oscillations dues aux freins continus et à diverses autres causes.

On avait admis, depuis 50 ans, que les oscillations des locomotives dues à elles-mêmes étaient minimes et indépendantes de la vitesse du train. Ces conclusions, justes, pour une machine librement suspendue à un câble et marchant à vide, ne s'appliquent pas à la pratique, comme l'auteur le montre. En réalité, les oscillations sont souvent assez considérables et augmentent avec la vitesse. Cependant, l'auteur montre que les locomotives modernes, à 4 cylindres, bien équilibrées et munies d'un bon bogie, peuvent circuler à 140 kilomètres à l'heure, sur de bonnes voies, sans le moindre danger. Ses conclusions peuvent se vérifier aisément par l'observation de la pratique.

Enfin, l'auteur a appliqué ses travaux à l'étude de la stabilité des automobiles et des autobus (*). Il montre que ses travaux s'appliquent aux automobiles, avec des différences tenant à ce que la roue peut

(*) *Formule relative à une condition de stabilité des automobiles et spécialement des autobus*, par M. G. Marie. Paris, Dunod, 1917. (Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de 1907).

déraper latéralement, tandis que la roue de chemin de fer *déraille* quand le rapport de la force horizontale à la force verticale transmise par la roue au rail dépasse une certaine limite. Il donne une nouvelle théorie des virages des automobiles ; il en conclut les conditions pour que l'automobile dérape toujours au lieu de verser dans les virages brusques, en tenant compte de la largeur de la voie, de la flexibilité des ressorts, de la hauteur du centre de gravité du poids suspendu au-dessus du centre d'oscillations, etc.

Cette étude constitue une analyse complète de la stabilité des automobiles, sauf la question des « têtes à queue » que l'auteur a réservée à d'autres ingénieurs qui s'occupent de ce point spécial.

En résumé, M. Marié a étudié les oscillations de toutes sortes de véhicules, leur amplitude, leur durée, les conditions de convergence et aussi l'association et la résonance de ces diverses oscillations, ainsi que les conséquences au point de vue des déraillements, etc.

Il arrive, notamment, aux conclusions pratiques suivantes :

Les voies peuvent être légèrement perfectionnées, très facilement, pour faciliter l'entrée en courbe et la sortie.

On peut perfectionner le matériel de manière à diminuer le danger de circulation, aux grandes vitesses, même sur les voies défectueuses.

On pourra augmenter encore de beaucoup les vitesses actuelles, avec de légers perfectionnements de la voie et du matériel, quand la puissance des locomotives le permettra.

Ces études contiennent une soixantaine de problèmes entièrement nouveaux, avec formules simples et épures nouvelles de dynamique graphique.

Ces diverses théories, un peu aléatoires, sont cependant toutes d'une application pratique fort simple.

N° 11

Distillation en grand de l'eau pour la production d'eau potable et l'alimentation des locomotives. — (*Massen. Destillation von Waurser*) insbesondere zur Erzeugung von Trinkwasser und Lokomotiv-Speisewasser, par Ludwig BOTHAS. Berlin Julius Springer, 1908, 2 marks.

Compte rendu par M. GOUPIL, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées

L'auteur s'est proposé de faire connaître les travaux russes sur la question et les résultats obtenus en Russie dans les principales installations distillatoires établies suivant le système Jagn-Koppel au masou ou à la houille et dont le tableau ci-après donne un aperçu :

Désignation des établissements	Degré de dureté de l'eau (*)	Production journalière effectuée		Consom- mation de combustible	Rapport de l'eau produite au combustible
		moyenne	maximum		
1897. Alimentation municipale d'eau potable de Bakou, à nonuple vaporisation. . . .	520	m. cub. 1230	m. cub. 1844	16 kg. 7 masou	lit. par kg. 60 lit.
1902. Alimentation de chaudière à Bibi-Eibat (Bakou), quadruple vaporisation	400	93	27	27 kg. masou	36 lit.
1902. Alimentation de locomotives à Utsch-Adshi (Asie centrale), nonuple vaporisation	96	223	276,5	19 kg. 3 masou	68 lit.
1903. Alimentation municipale d'eau potable à Kasnowodsk (Caspie), nonuple vaporisation	400	97	120	19 kg. masou	60 lit.

(*) Le degré de dureté correspond à 1 partie de CaCO³ dans 100.000 parties d'eau.

Désignation des établissements	Degré de dureté de l'eau	Production journalière effectuée		Consom- mation de combustible	Rapport de l'eau produite au combustible
		moyenne	maximum		
1904. Alimentation sem- blable à la précédente pour un lazaret. . . .	»	»	»	»	»
1904-1905. Installations mobiles pour alimenta- tions militaires (Mand- chourie) quintuple va- porisation, voie de 0 ^m , 75 (6 installations sem- blables)	»	16	17,6	74 kg. 3 charbon de terre	12 lit. 7
1907. Installation à Mu- rino (St-Pétorsbourg) pour l'eau potable du régiment Ishorski (en cours)	»	12 m ³ (prévision)	»	»	»

Avec la vaporisation simple, 1 kilogramme de charbon produit pratiquement de 8 à 9 kilogrammes de vapeur, tandis que la vaporisation multiple, en utilisant pour l'échauffement de l'eau à distiller la chaleur cédée par la vapeur produite, permet d'obtenir normalement 50 kilogrammes d'eau distillée avec 1 kilogramme de charbon. Les deux procédés en présence sont le procédé russe (Jagn-Koppel), avec lequel la vaporisation et la condensation se font sous pression (pratiquement 6 atmosphères) et le procédé anglais qui emploie en partie la pression, en partie le vide (voir *the Engineer*, 4 mars 1907, installations Mirrless Watson et C^o en Egypte, 48 litres par kilogramme de charbon ?)

L'auteur décrit en détail les aménagements du procédé russe : chaudière, éléments distillatoires, condenseurs, régénérateurs, réfrigérateurs, pompes. Pratiquement un élément distillatoire complet ne peut produire plus de 400 mètres cubes en 24 heures. Le nombre des éléments doit être fixé en conséquence pour un débit donné.

M. Bothas examine ensuite la question économique de l'alimentation des locomotives, au moyen de l'eau distillée et trouve qu'elle réduirait les dépenses afférentes aux machines alimentées avec des eaux dures dans des proportions notables, qui justifieraient la substitution du procédé aux divers systèmes d'épuration chimique. A vrai dire, les essais divers tentés jusqu'ici sur les chemins de fer russes n'ont pas été couronnés de succès, mais il serait désirable qu'ils fussent poursuivis.

Une intéressante description de l'alimentation d'eau municipale de

Bakou termine l'opuscule. La consommation annuelle de cette ville en eau distillée s'approche de 280.000 mètres cubes.

L'eau de la mer Caspienne soumise à la distillation, avec une dureté de 520° renferme 5^{gr},400 de sel marin par litre et des impuretés résultant de l'écoulement du pétrole et du masou ; la distillation en abaisse la dureté à 1°,3 et les sels à 0^{gr},078 par litre

Le prix garanti ressort à 1 fr. 80 par mètre cube, malgré l'élévation considérable du prix du masou.

N° 12

Revue de l'Industrie du Naphte à Bakou pour l'année 1906, publiée par le Conseil de l'Union des Industriels de Bakou. —
L'Industrie du Naphte en Russie en 1906.

Compte rendu par M. DE TIMONOFF, Professeur à l'Institut des voies de communication, à Saint-Pétersbourg

Tout le monde connaît l'importance qu'ont acquise, depuis une vingtaine d'années, les huiles minérales russes. Sur le marché international ; l'industrie du Naphte au Caucase a pris des proportions colossales. La nouvelle industrie, en se développant constamment et en cherchant au début à diminuer le plus possible le prix de ses produits afin d'en augmenter le débit, a donné naissance à un matériel spécial de transport. C'est ainsi qu'ont été créés les wagons-citernes, qui circulent aujourd'hui par milliers, les bateaux-citernes du Volga et de la mer Caspienne, enfin les grands bateaux, destinés à transporter les huiles minérales des ports de la mer Baltique et de la mer Noire à l'étranger. Dans tous ces véhicules, le Naphte est directement introduit dans des réservoirs spéciaux, sans barils et le transbordement s'effectue avec une très grande rapidité, au moyen de pompes à vapeur. La même industrie a donné lieu à un système de chauffage des chaudières à vapeur, qui a fait une vraie révolution partout où le prix du combustible a permis d'en faire usage. C'est le chauffage à l'aide *des résidus de la distillation du Naphte*, qui sont fournis par les usines à pétrole.

Ces résidus présentent un liquide visqueux, qui ne s'enflamme à l'air libre au contact de la flamme que lorsque la température est portée à un degré déterminé. Il y a à peine 25-30 ans, ces résidus n'avaient aucune valeur et les usines les cédaient gratuitement afin de se débarrasser de cette matière encombrante. Ensuite, à mesure qu'on arrivait à s'en servir pour la fabrication des huiles à graisser, des couleurs d'aniline et surtout pour le chauffage des chaudières à vapeur, le prix en monta rapidement. Déjà tous les bateaux de la mer Caspienne et tous ceux qui circulent sur le Volga, sont chauffés avec les résidus du Naphte. Les chemins de fer aboutissant au Volga ont aménagé leurs locomotives pour ce combustible.

Beaucoup de chaudières des machines fixes sont chauffées de la même

façon et on a fait des expériences très concluantes sur l'emploi du Naphte pour les besoins de la métallurgie. Sans insister sur les autres nombreux emplois du Naphte, entre autres sur son emploi pour les moteurs sans chaudières, on peut constater que le Naphte, comme combustible, se propage de plus en plus en Russie. Et cela s'explique parfaitement par les immenses avantages techniques et économiques que présente ce système de chauffage, ainsi que par le bas prix du produit que l'on peut recevoir directement des lieux de production par les voies navigables. La propagation du Naphte est d'ailleurs appelée à croître, car, comme il n'est plus permis d'en douter, la question du chauffage aux résidus de Naphte des habitations et des boulangeries, étudiée avec soin depuis quelques années, sera définitivement résolue.

Dans ces conditions, les données que contiennent les revues de l'Industrie du Naphte à Bakou, publiées par le Conseil de l'Union des Industriels de cette ville présentent un intérêt général très grand. La publication de 1906 se compose de deux volumes in-4° et donne des renseignements sur la quantité de Naphte fournie par les puits, la fabrication du pétrole et autres dérivés, l'exportation du Naphte, des résidus, etc., enfin sur les prix du Naphte et de ses produits. Des diagrammes, cartes et tableaux accompagnent le texte.

Le nombre des puits ayant fonctionné en 1906 était de 1970, qui ont fourni 448.373.672 pouds de Naphte.

Les usines de distillation ont fourni 344.021.158 pouds et produits, dont 75.042.117 pouds d'huile minérale pour éclairage, 16.727.194 pouds d'huile de graissage et 246.737.128 pouds de résidus.

L'exportation d'huile d'éclairage à l'étranger par Bakoum et Novorossinsk est de 21.500.000 pouds. Les prix moyens de l'année étaient, à Bakou :

Pour le Naphte brut	25,56	kopecks	par	poud.
Les résidus de la distillation	25,96	—	—	
Les pétroles	29,73	28,69	—	—

COMPTE RENDU DES PÉRIODIQUES

N° 13

Périodiques français, par M. F. LAUNAY, Ingénieur en chef, Inspecteur de l'École des Ponts et Chaussées. — Périodiques allemands et italiens, par M. E. GOUPIL, Ingénieur en chef. — Périodiques anglais, par M. THÉRON, Ingénieur. — Electricité appliquée, par M. BLONDEL, Ingénieur.

Erratum du volume VI page 151.

Dans les comptes rendus des périodiques allemands de novembre-décembre 1907, nous devons rectifier une omission concernant l'article de la Zentralblatt der Bauverwaltung concernant *les barrages à segment*, par M. Eger, et qui fait attribuer au professeur Engels, l'ouvrage de ce type exécuté en 1888 sur le Lez (Hérault) par M. Guibal, Ingénieur en chef, et dont le ministère des Travaux publics a fait figurer un modèle à l'Exposition universelle de 1889.

En réalité, la Zentralblatt rappelait que cette première application du type de barrage en question avait été signalée en 1893 par M. Engels comme exécutée à la rencontre d'un canal de navigation avec le Lez, comme protection contre les crues de ce dernier.

I — SCIENCES APPLIQUÉES.

Mitteilungen aus d. K. Materialprüfungsamt zu Gross-Lichtfelde (1907, 6^e cahier). — P. W. HINRICHSSEN : *Recherches sur l'influence des escarbilles sur l'attaque du fer par la rouille*. — L'attaque du fer par les escarbilles est considérablement diminuée sinon supprimée complètement par la présence du mortier de ciment. Toutefois le fer n'est protégé qu'autant qu'il est soustrait au contact de l'air atmosphérique, sinon la présence des escarbilles active l'attaque de la rouille.

Oesterr. Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst (27 février). — Alfons. LEON : *Perturbations dans la répartition des efforts à l'intérieur de corps élastiques par suite de trous ou bulles*. — Pour une plaque mince indéfinie soumise à une traction uniforme p dans le sens Ox les équations des pressions σ_r , σ_t et τ et des déplacements (ρ, ξ) élastiques sont avec les coordonnées polaires (r, φ) .

Pressions .	Déplacements :
$(a) \left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = p - p \sin^2 \varphi \\ \sigma_t = p \sin^2 \varphi \\ \tau = - p \sin \varphi \cos \varphi \end{array} \right.$	$(b) \left\{ \begin{array}{l} \rho = \frac{p}{E} r - \frac{p}{E} r \sin^2 \varphi \\ \xi = - \frac{p}{E} r \sin \varphi \cos \varphi \end{array} \right.$ <p style="text-align: center;">E module d'élasticité.</p>

En supposant qu'il existe un trou circulaire de rayon r_i , ayant l'origine pour centre, l'état des tensions moléculaires sera modifié pour les divers points d'autant plus qu'ils seront plus rapprochés de l'origine et au bord du trou ($r=r_i$), les pressions σ_r dirigées suivant le rayon doivent s'annuler. L'auteur cherche un système de solutions de la forme :

$$(c) \quad \begin{array}{ll} \sigma = L_1 + M_1 \sin^2 \varphi & \rho = G + H \sin^2 \varphi \\ \tau = N_1 \sin \varphi \cos \varphi & \xi = J \sin \varphi \cos \varphi \end{array}$$

dont les coefficients f seront fonctions de r et qui devront satisfaire aux conditions d'équilibre intérieur et aux conditions au contour.

Les relations entre les pressions et les déplacements sont, en admettant la loi de Hook :

$$(d) \quad \begin{array}{l} \sigma_r = \frac{m}{m+1} E \left[\frac{d\rho}{dr} + \frac{\nu}{m-2} \right] \\ \sigma_t = \frac{m}{m+1} E \left[\frac{\rho}{r} + \frac{1}{r} \frac{d\xi}{d\varphi} + \frac{\nu}{m-2} \right] \\ \tau = \frac{m}{2(m+1)} E \left[\frac{1}{r} \frac{d\rho}{d\varphi} + \frac{d\xi}{dr} - \frac{\xi}{r} \right] \end{array}$$

m étant le rapport de l'extension longitudinale à la contraction transversale (inverse du coeff. de Poisson).
et ν la dilatation cubique

$$\nu = \frac{m-2}{m-1} \left[\frac{1}{r} \frac{d(\rho r)}{dr} + \frac{1}{r} \frac{d\varphi}{d\xi} \right]$$

les équations différentielles d'équilibre sont alors

$$\begin{array}{l} \frac{2m}{m-2} \frac{d\nu}{dr} + \frac{1}{r} \frac{d\beta}{d\varphi} = 0 \\ \frac{2m}{m-2} \frac{1}{r} \frac{d\nu}{d\varphi} - \frac{d\beta}{dr} = 0 \end{array}$$

en posant :

$$\beta = \frac{1}{r} \frac{d\rho}{d\varphi} - \frac{d\xi}{dr} - \frac{\xi}{r}$$

$\frac{2m}{m-2} v$, et β présentent, comme fonctions de r et φ , les mêmes propriétés différentielles que les σ et les τ , on est alors conduit à poser

$$\begin{aligned}\frac{2m}{m-2} v &= L + M \sin^2 \varphi \\ \beta &= N \sin \varphi \cos \varphi\end{aligned}$$

ce qui donne au moyen des équations en h , une intégration simple

$$M = A r^2 + \frac{B}{r^2}, \quad N = A r^2 - \frac{B}{r^2}, \quad L = C - \frac{1}{2} [A r^2 + B r^2]$$

Les constantes arbitraires A , B , C seront déterminées par les conditions au contour.

En procédant à l'égard de ρ , ξ donnés par les (c) comme on l'a fait pour σ τ , on trouve en substituant leurs valeurs dans les expressions de v et γ .

$$\begin{aligned}v &= \frac{m-2}{m-1} \left[\frac{dG}{dr} + \frac{G+J}{r} + \left(\frac{dH}{dr} + \frac{H-2J}{r} \right) \sin^2 \varphi \right] \\ s &= \left(\frac{2H-J}{r} - \frac{dJ}{dr} \right) \sin \varphi \cos \varphi\end{aligned}$$

et l'identification des valeurs de v et β donne les G , H et J en fonction de r , des constantes précédentes A , B , C et de trois nouvelles constantes D , E , F , la substitution des valeurs ainsi obtenues dans les équations (d) et la détermination des intégrales par les conditions aux limites donnent les formules définitives :

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p}{2} \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right) \left[2 - 3 \frac{r_1^2}{r^2} - 2 \left(1 - 3 \frac{r_1^2}{r^2} \right) \sin^2 \varphi \right] \\ \sigma_t &= \frac{p}{2} \left[\left(1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right) \frac{r_1^2}{r^2} + 2 \left(1 + 3 \frac{r_1^4}{r^4} \right) \sin^2 \varphi \right] \\ \tau &= \frac{-p}{2} \left(1 + 3 \frac{r_1^2}{r^2} \right) 2 \sin \varphi \cos \varphi\end{aligned}$$

Dans le cas d'une plaque indéfinie soumise à la pression p dans tous les sens on obtient plus simplement :

$$\sigma_r = p \left(1 - \frac{r_1^2}{r^2} \right) \quad \sigma_t = p \left(1 + \frac{r_1^2}{r^2} \right)$$

Si on passe au cas d'un milieu continu indéfini, avec une traction d'abord uniforme p , normale au plan de base des coordonnées polaires, il y a déformation homogène et les déplacements radial ρ et normal ξ sont

dans un plan méridien. Les relations entre les pressions et les déplacements deviennent

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{m E}{m+1} \left[\frac{d\rho}{dr} + \frac{\nu}{m-2} \right] & \tau &= \frac{m E}{2(m+1)} \left[\frac{d\rho}{r d\varphi} + \frac{d\xi}{dr} - \frac{\xi}{r} \right] \\ \sigma_t &= \frac{m E}{m+1} \left[\frac{\rho}{r} + \frac{d\xi}{r d\varphi} + \frac{\nu}{m-2} \right] \\ \sigma_p &= \frac{m E}{m+1} \left[\frac{\rho}{r} - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \frac{\xi}{r} + \frac{\nu}{m-2} \right] & \nu &= \frac{d\rho}{dr} + \frac{2\rho}{r} + \frac{d\xi}{r d\varphi} - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \frac{\xi}{r} \end{aligned}$$

Les combinaisons des équations et les intégrales s'établissent comme précédemment et en désignant $\frac{r_t}{r}$ par x on obtient les équations finales :

$$\begin{aligned} \frac{\rho}{r} &= \frac{mE}{p(m+1)} \left\{ \frac{x^3}{2(7m-5)} [3mx^2 - (6m-5)] - \frac{1}{(m+1)} \right\} + \frac{p(m+1)}{mE} \sin^2 \varphi \\ &\quad \times \left\{ \frac{x^3 (-9mx^2 + 5m - 4)}{2(7m-5)} + 1 \right\} \\ \frac{\xi}{r} &= \frac{p(m+1)}{mE} \left\{ \frac{x^3}{7m-5} [3mx^2 + 5(m-2)] + 1 \right\} \sin \varphi \cos \varphi. \\ \frac{\sigma_r}{p} &= \frac{6m}{7m-5} x^3 (-x^2 + 1) + \left\{ \frac{x^3}{7m-5} [18mx^2 - 5(5m-1)] + 1 \right\} \sin^2 \varphi \\ \frac{\sigma_t}{p} &= \frac{x^3}{2(7m-5)} [9mx^2 + (4m-5)] + 1 + \left\{ \frac{x^3 - 21mx^2 + 5(m-2)}{2(7m-5)} - 1 \right\} \sin^2 \varphi \\ \sigma_p &= \frac{3x^3}{2(7m-5)} [mx^2 - (2m-5)] + \frac{15x^3}{2(7m-5)} [-mx^2 + (m-2)] \sin^2 \varphi \\ \frac{\tau}{p} &= \left\{ \frac{x^3}{7m-5} [-12mx^2 + 5(m+1)] + 1 \right\} \sin \varphi \cos \varphi. \end{aligned}$$

Des formules analogues sont obtenues pour la superposition de deux tractions p s'exerçant à angle droit, il n'y a de changement que pour les conditions aux limites.

En considérant ces résultats comme applicables approximativement au cas de plaques ou de solides de dimensions finies avec un trou central de dimensions très petites, M. Alfons-Leon arrive aux principales conclusions suivantes :

Dans des plaques minces soumises à une traction simple, le percement d'un trou peut augmenter les efforts de 200 p. 100.

Les perturbations sont indépendantes des constantes d'élasticité. Dans des barres soumises à la traction, une petite cavité sphérique peut augmenter les efforts de 100 p. 100. La perturbation dépend de la constante m (inverse du coefficient de Poisson).

Pour un disque tournant autour d'un de ses diamètres, l'existence d'un œil central augmente de 200 p. 100 les efforts.

Pour une sphère tournante, la présence d'une cavité centrale peut augmenter les efforts de 168 à 182 p. 100.

Ces problèmes ont été déjà traités d'une manière différente et plus générale par Wangerin et par les géomètres anglais. (Voir Love : *Mathematical Theory of Elasticity*. T. I). Dans le cas d'un arbre cylindrique soumis à une torsion, l'existence d'une cavité cylindrique coaxiale ne modifie pas les efforts intérieurs. Pour une barre de grandes dimensions soumise à une extension longitudinale simple, avec une cavité cylindrique étroite à faible distance de l'axe, la contraction radiale qui se produirait en l'absence de cavité est modifiée dans le rapport $2 : 2 - m$ ou $\lambda : \mu$ avec les coefficients de Lamé.

Il serait à désirer que des expériences optiques sur des substances transparentes comme le verre d'Iéna, le cristal, permettent de contrôler ces diverses indications de la théorie.

On peut se demander notamment si à la surface de cavités intérieures de faible rayon, il ne se produit pas, même avec les substances isotropes des tensions superficielles du même ordre que celles qui correspondent à la capillarité dans les liquides.

Proceedings of the Royal Society (13 février 1908). —

J. H. GRINDLEY et A. H. GIBSON : *Résistances de frottement à l'écoulement de l'air dans un tuyau*. — Ce mémoire est le résultat de travaux poursuivis sur les conseils d'Osborne Reynolds dans les Withworth Engineering Laboratories, Owens College, Manchester.

La vitesse critique d'écoulement marque la séparation entre les mouvements plus lents, s'effectuant par filets continus et les mouvements plus rapides où apparaît la turbulence.

Pour les premiers, le coefficient de viscosité μ est donné par la relation (Lamb, *Hydrodynamics*).

$$(1) \quad \mu = \frac{\pi a^4}{8l} \frac{p_0 - p_1}{w}$$

où a et l désignent respectivement le diamètre et la longueur du tuyau, $p - p_1$ la différence des pressions aux extrémités.

Quand la vitesse critique est dépassée, les équations du mouvement dépendent des hypothèses faites pour l'évaluation de la résistance R_1 . On admet habituellement la formule

$$(2) \quad R_1 = \zeta \frac{D}{2g} u^2 \Delta$$

pour la résistance au passage du fluide sur une surface Δ avec une

vitesse moyenne uw , D étant le poids du fluide par unité de volume, ξ le coefficient de frottement.

En intégrant les équations du mouvement pour l'air avec cette formule de résistance, on obtient pour la vitesse initiale de l'air à l'entrée, en négligeant $\log \frac{p_0}{p_1}$.

$$(3) \quad u_0^2 = \frac{g m R \tau (p_0^2 - p_1^2)}{\zeta l p_0^2}$$

R étant la constante dans l'équation caractéristique $p v = R \tau$, m le rayon moyen, rapport de l'aire au périmètre.

En introduisant dans cette formule les résultats des expériences, les auteurs obtinrent des valeurs tellement différentes de ζ qu'ils jugèrent utile de revoir la formule donnant R_1 .

Ils prirent pour expression de la résistance spéciale à chaque expérience une formule de la forme

$$R_1 = f \Delta p^r u^n \tag{5}$$

le coefficient f dépendant seulement de la nature du gaz, de la température et de l'état de la paroi intérieure du tube. Si on désigne par S le périmètre, par A l'aire de la section constante du tube, par W le poids de gaz débité par seconde, p la pression moyenne dans une section B , $p + \delta p$ la pression moyenne dans une section B éloignée de δx de la section B , on a, en appliquant le théorème des quantités de mouvements :

$$- A \delta p = \frac{W}{g} \delta u + f S p^r u^n \delta x$$

et en remarquant que la température restant constante on a $pu = p_0 u_0$

$$W = \frac{A u p}{R \tau} = \frac{p_0 u_0 A}{R \tau}$$

et on obtient l'équation différentielle

$$\frac{dp}{u^n p^r} + \frac{W}{A g u^n p^r} + f \frac{S}{A} dx = 0$$

comme

$$u^n p^r = u_0^n p_0^n p^{r-n} = u_0^r p_0^r u^{n-r}$$

$$\frac{p^{n-r} dp}{p_0^n u_0^n} + \frac{W}{A g p_0^r u_0^r} + f \frac{dx}{m}$$

en remplaçant $\frac{A}{S}$ par un rayon moyen.

En intégrant et négligeant le terme en $\frac{W}{Ag}$ toujours très petit par rapport aux deux autres on a finalement pour la longueur l

$$\frac{fl}{m} = \frac{p_0^{n-r+1} - p_1^{n-r+1}}{(n-r+1) p_0^n u_0^n}$$

En désignant par w le débit moyen par seconde à la pression moyenne $\frac{1}{2} (p_0 + p_1) = p_m$ nous avons $w = Au_m$.

$$p_0 u_0 = p_m u_m = \frac{p_m W}{A} \text{ et pour la formule de } f$$

$$f = \frac{m A^n}{l (n-r+1)} \frac{p_0^{n-r+1} - p_1^{n-r+1}}{p_m^n w^n}$$

Les expériences ont été faites avec un tube en plomb de 3 millimètres carrés de diamètre intérieur et de 33 mètres de longueur reliant 2 gazomètres de 85 litres, le mouvement de l'air étant obtenu en introduisant dans les gazomètres ou en retirant des volumes d'eau jaugés.

La détermination de w (débit du gaz à la seconde) pour la vitesse critique a donné des chiffres compris entre 0^c3,509 et 0^c3,483 correspondant à une vitesse critique moyenne de 0^m,593 par seconde.

S'il y a une variation de la vitesse critique correspondant à la température elle doit être très faible.

La valeur moyenne de ν , coefficient de viscosité ressort à 0.000.0004475 et il paraît indépendant de la pression conformément aux conclusions tirées par Maxwell de la théorie cinétique des gaz.

Les variations de ν avec la température ont satisfait avec des erreurs inférieures de 1,3 p. 100 à la formule de Sutherland, justifiée par des considérations théoriques, valable dans les limites de pression où la loi de Mariotte est applicable et vérifiée par Breisenbach, Markowski et Beltesmeyer pour divers gaz.

$$\mu = \frac{K \tau^{\frac{1}{2}}}{1 + C \tau^{-1}}$$

C et K désignent des constantes, à déterminer par les expériences, τ est la température absolue.

Les résultats s'expriment également avec peu d'écart au moyen d'une formule $\mu = a (1 + bt + it^2)$ adoptée par de précédents expérimentateurs. La valeur de μ à 0° centigrade est sensiblement 0.0001702.

Pour la détermination du coefficient de la résistance R , dans le cas d'un écoulement plus rapide que la vitesse critique les valeurs laborieusement établies pour les exposants n et r ont été $n = 1,25$ (au lieu du chiffre usuel 2 qui s'applique moins bien aux résultats actuels) et $r = 0$, ce qui implique que les résistances de frottement sont indépendantes de la pression dans le gaz.

Les valeurs correspondantes pour f sont :

$$\begin{aligned} f &= 0,000105 && \text{à } 32^\circ \text{ Fahrenheit} \\ f &= 0,000107 && \text{à } 75^\circ 2 \text{ F.} \\ f &= 0,000118 && \text{à } 212^\circ \text{ F.} \end{aligned}$$

Il serait utile de vérifier par d'autres expériences la valeur $n = 1,25$ avant de la substituer à $n = 2$. Les expériences de Riedler exécutées avec un tube de 28 centimètres 34 de diamètre, des pressions voisines de 7 kilogrammes par centimètre carré et des vitesses de 3 à 7^m,30 par seconde conduisent aussi avec la formule indiquée à une valeur de $f = 0.000207$ à la température $t = 50^\circ$.

Revue maritime (décembre 1907). — J. REVELLE : *Etude du mouvement relatif d'une molécule liquide sur une surface hélicoïdale*. — En négligeant le frottement l'auteur obtient les équations différentielles du mouvement en coordonnées cylindriques :

$$\begin{aligned} r^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 &= - \frac{h^2}{4 \pi^2} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \omega^2 r^2 + c' \quad (\text{principe des forces vives}) \\ r^2 \frac{d\theta}{dt} &= - \frac{h^2}{4 \pi^2} \frac{d\theta}{dt} - \omega r^3 + c \quad (\text{principe des aires}) \end{aligned}$$

ω étant la vitesse angulaire constante de la surface hélicoïdale autour de son axe.

La vitesse d'un point M de l'élément d'hélice étant W et faisant un angle i avec cet élément et α étant l'angle de l'hélice correspondante avec l'axe on a pour le point initial M où la molécule liquide arrive sur la surface de l'hélice

$$\left(\frac{r d\theta}{dt} \right)_0 = - W \cos i \sin \alpha \quad \left(\frac{dr}{dt} \right)_0 = 0$$

et les constantes sont données par

$$\begin{aligned} c &= \omega r_0^3 - \left(\frac{h^2}{4 \pi^2} + r_0^2 \right) \frac{W \cos i \sin \alpha}{r_0} \\ c' &= \left(r_0^2 + \frac{h^2}{4 \pi^2} \right) \frac{W^2 \cos^2 i \sin^2 \alpha}{r_0^2} - \omega^2 r_0^2 \end{aligned}$$

On obtient ainsi pour la composante de la vitesse de la molécule dans le sens perpendiculaire à l'axe de l'hélice

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = W \sin i \cot \alpha)^2 \frac{r^2 - r_0^2}{r^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}}$$

la discussion montre que r et $\frac{dr}{dt}$ vont toujours en croissant et la limite supérieure de $\frac{dr}{dt}$ est $W \sin i \cot \alpha$. La projection du mouvement relatif sur un plan normal à l'axe est à peu près circulaire.

On trouve d'autre part :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\omega + \frac{r_0}{\sin^2 \alpha} \frac{W \sin i \cos \alpha}{r^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}}$$

$\frac{d\theta}{dt}$ croît donc en valeur absolue, sa valeur ne pouvant atteindre $-\infty$ que pour $r = \infty$.

La vitesse angulaire absolue $\omega + \frac{d\theta}{dt}$ est positive, la molécule étant entraînée dans le sens de la rotation de l'hélice.

Les équations peuvent être obtenues en termes finis au moyen des intégrales elliptiques.

Schweizerische Bauzeitung (7 mars 1908). — SCHYDE : *Le Planimètre Weber-Kern*. — Ce planimètre, analogue comme principe à celui de Coradi, comporte deux bras formant un angle droit FOR mobile autour de son sommet O, lequel se déplace dans la rainure longitudinale d'une règle graduée; le bras OF de longueur constante porte en F un style qui décrit le contour de la surface à mesurer et le bras OR porte une roulette dentelée dont on relève les glissements le long de ce bras. Si on décompose la surface en parallélogrammes élémentaires dont les grands côtés sont parallèles à la règle graduée, la surface de l'un de ces éléments est le produit du déplacement correspondant de la roulette sur le bras OR par la longueur fixe du bras OF.

Sitzungsberichte der kön. preussischen. Akad. der Wissenschaften (décembre 1907). — ZIMMERMANN : *Sur les grandes oscillations dans un milieu résistant et sur les applications pour déterminer la résistance de l'air*. — Les essais de traction

électrique à grande vitesse ont fait ressortir la prédominance de l'action du vent dans l'ensemble des résistances. Les expériences de l'auteur ont montré en confirmation des travaux de von Loeszl (1896) qu'une surface rectangulaire normale à sa trajectoire éprouve une résistance sensiblement proportionnelle au carré de la vitesse entre 5 mètres et 58 mètres à la seconde et qu'elle pousse devant elle un bourrelet d'air au repos (dénommé *Lufthugel* par von Loeszl). L'influence des formes d'un véhicule est beaucoup plus compliquée. Avec un coupe-vent AV à deux faces planes, la pression unitaire sur l'arête n'est pas diminuée, mais elle diminue rapidement sur les parois latérales au point de devenir négative, comme on a pu le constater par le sens du courant d'air provoqué par la rupture d'une glace.

Les recherches consciencieuses faites par la Société d'Etudes pour la Traction électrique, sous la direction de Denninghoff, en 1904 (*Glaser's Annalen*, juin 1906), ont consisté à soumettre à des oscillations pendulaires des modèles réduits des diverses formes de véhicules; on comptait pour chaque type le nombre d'oscillations nécessaires pour obtenir une réduction déterminée de l'écart initial, et le classement était fait en conséquence.

Des expériences tout à fait analogues étaient faites en même temps sur des corps de formes plus générales par le professeur Frank, à Hanovre, et sur des ballons par le Dr Hergesell (*Illustrierte aeronautische Mittheilungen für 1904*).

Les vitesses envisagées dans ces dernières expériences avec une formule de résistance $av + bv_2$ sont trop faibles pour l'assimilation aux wagons de chemins de fer.

Les expériences sur une voie circulaire telles qu'elles ont été faites par v. Loeszl ont l'inconvénient d'ajouter des résistances passives importantes, la mesure exacte des temps est assez difficile et les perturbations qui s'introduisent aux grandes vitesses nuisent à la précision des résultats.

L'auteur expose ensuite ses calculs pour les oscillations pendulaires dans l'hypothèse de l'assimilation à un pendule simple; il arrive par une intégration des équations classiques à la formule

$$v^2 = 2gr \sin \gamma [\sin (\gamma - \sigma) - C e^{-u\sigma}]$$

r étant la longueur du pendule simple, γ l'angle dont la cotang est $\frac{2rW}{m} = u$; W , résistance tangentielle de l'air pour $v = 1$, σ l'angle d'écart avec la verticale; la constante C est égale à $\sin (\alpha + \gamma) e^{-u\alpha}$, α étant l'angle d'écart initial.

L'auteur donne alors les représentations graphiques de la parenthèse

$[\sin (\gamma - \sigma) - C e^{-u\alpha}] = S$ à laquelle v^2 est proportionnelle pour des valeurs de u égales à 1,73, — 1,00, — 0,5774 et à 0, correspondant à $\gamma = 30^\circ, 45^\circ, 66^\circ$.

S étant considéré comme fonction de σ .

La condition $S = 0$ donne la valeur β de σ correspondant à l'écart extrême, et si l'on pose $\gamma - \beta = \delta$ on a

$$S = \sin \delta - \sin (\alpha + \gamma) e^{-u(\alpha + \gamma)} e^{u\delta} = 0$$

δ pouvant être déterminé par approximations successives.

Pour une précision déterminée dans les mesures, les valeurs de u peuvent être déterminées d'autant plus sûrement que u sera plus voisin de l'unité, en supposant que l'angle initial α soit de 90° .

L'auteur envisage finalement les oscillations verticales susceptibles de se produire par exemple pour un ballon d'où l'on jettera de petites quantités de lest ou qui laissera échapper du gaz. Ces changements entraîneront pour le ballon une nouvelle position d'équilibre vers laquelle il sera ramené par une force variable qui peut être regardée comme proportionnelle à l'écart. Les expressions du mouvement sont de la même forme que pour le cas précédent.

Zimmermann ne mentionne dans sa communication qu'un certain nombre de travaux allemands, et il semble ignorer ceux de Ch. Renard, et notamment les balances dynamométriques simples et doubles réalisées à l'établissement de Chalais. L'extension de ces essais aux formes correspondantes aux véhicules de chemins de fer ne pourrait qu'être intéressante tant pour la comparaison avec ceux de la Société d'Études pour la Traction électrique que pour l'examen rationnel des avantages du coupe-vent pour l'arrière aussi bien que pour l'avant des trains à très grande vitesse.

Rappelons pour terminer que, d'après le professeur A. Franck qui a poursuivi sur les lignes d'Alsace-Lorraine des essais méthodiques au sujet de la résistance des trains, la partie de cette résistance due à l'action de l'air sur une locomotive et son tender est donnée par une formule $0,07 v^2 \times 1,10 F_1$, F_1 étant la projection transversale de la locomotive; la surface idéale $1,10 F_1$, plus grande que F_1 , tenait compte de résistances accessoires opposées par diverses surfaces placées les unes derrière les autres.

Les recherches sur la pression du vent semblent d'ailleurs être actuellement à l'ordre du jour. Le laboratoire national de Physique de Londres poursuit ses expériences depuis 1902. M. Stanton y a fait usage d'une conduite de 610 millimètres de diamètre; il a trouvé que pour des plaques semblables, la pression est proportionnelle à leur surface, mais qu'elle varie considérablement pour des plaques de même superficie et

de forme différente. Il en a conclu la possibilité de déterminer la résistance au vent d'une construction compliquée par des essais sur un modèle réduit.

Zeitschrift des Vereines deutsch. Ingenieure (22 février 1908). — O. MÜLLER : *Mesures de débit des gaz au moyen d'un diaphragme*. — L'auteur expose une série d'expériences dans lesquelles il a vérifié les formules connues de la pneumatique. Il trouve pour l'écoulement de l'air un coefficient de contraction à peu près égal (à 2 p. 100 près) à celui qu'on trouve pour l'eau.

Zentralblatt der Bauverwaltung. (22 février — 11 mars). — H. ENGELS : *Recherches sur la force d'entraînement (Räumungskraft) de l'eau courante*. — Introduction rappelant les travaux antérieurs de Dubuat, du Boys (*Annales*, 1879, 2^e semestre), Max Möller (1890), Kreuter, etc.

Les expériences de l'auteur ont été faites en 1907 dans le laboratoire d'hydraulique fluviale installé à Dresde.

L'eau circulait dans une rigole rectangulaire, revêtue de zinc, de 0^m,750 de haut et 0^m,300 de large, passant à l'entrée et à la sortie par deux profils grillagés réalisant un écoulement très tranquille. Il s'agissait de mesurer pour des hauteurs d'eau t aussi grandes que possible, pour un débit donné, la pente superficielle à laquelle correspondait la mise en marche de solides posés sur la fond de la rigole, dans une partie où il était constitué par une plaque de verre (pour éliminer les écarts qui auraient pu provenir de différences dans la nature du fond.

La pente mesurée soigneusement au moyen de tubes piézométriques latéraux, distants de neuf mètres était évaluée au $\frac{1}{10^e}$ de millimètre. Les

corps entraînés étaient des sphères soigneusement tournées d'ivoire et de galalithe, succédané de la gutta-percha ; ces deux substances avaient été choisies parce qu'elles avaient des densités assez différentes (0,75 et 0,59), tout en n'étant pas lourdes. Les matières, sensiblement plus pesantes, avaient l'inconvénient d'exiger un débit trop fort qui entraînait un mouvement irrégulier et rendait les observations moins certaines.

Les évaluations de la force d'entraînement nécessaire pour une sphère d'un diamètre et d'une nature déterminés ont répondu, sauf de légers écarts, à la formule $K = \gamma t J$ dans laquelle γ est en kilogrammes le poids spécifique de l'eau, t la hauteur d'eau dans le profil de l'observation, J la pente superficielle, il en résulte que cette force ne varie pas avec la vitesse moyenne d'écoulement, lorsque $t J$ est constant.

L'auteur a fait également des expériences pour déterminer la valeur

du frottement des sphères par l'inclinaison φ du plan incliné, formé par une glace, correspondant à leur mise en mouvement. Il a trouvé dans l'eau

$\sin \varphi = 0,05387$ pour l'ivoire,

$\sin \varphi = 0,05615$ pour la galalithe,

ce qui permet une évaluation approximative de la force d'entraînement au départ.

En admettant que les valeurs obtenues pour K correspondent à la poussée horizontale exercée normalement sur la surface de la sphère, à la hauteur de son centre et rapportée à l'unité de surface, en admettant, en outre, d'après Eytelwein que la pression sur la sphère soit les $8/10^{\text{e}}$ de celle exercée normalement sur la surface d'un grand cercle, on peut calculer, d'une seconde manière, la force d'entraînement :

Les deux valeurs obtenues sont pour l'ivoire, $0,018^{\text{e}}$ et $0,013^{\text{e}}$;

Pour la galalithe, $0,008^{\text{e}}$ et $0,008^{\text{e}}$.

Les vitesses avec lesquelles les sphères se déplacent au fond de la rigole sont sensiblement inférieures à celles qui résulteraient de la formule

$P = \zeta f \gamma \frac{v^2}{2g}$, f désignant la section plane correspondante, ζ le coefficient de réduction (0,80 pour la sphère).

En résumé, la force d'entraînement est bien donnée par le produit $t J$ et elle augmente ou diminue en même temps que ce produit. Si J est constant, elle variera avec la profondeur t . Par exemple, en portant l'entrée d'un port vers de plus grandes profondeurs, si les courants ne sont pas modifiés, on diminue la chances d'encombrement. Pour les rivières à marées, les résultats des dragages pourront être différents en raison des modifications de la pente.

Le travail de M. H. Engels a donné lieu, de la part de M. le conseiller G. Schmidt, à quelques critiques portant sur les dispositions des expériences et sur le principe même de la formule $K = \gamma t J$.

Il appuie ses objections sur les variations irrégulières que présentait l'écoulement de l'eau. M. Engels a répondu à ces critiques et, tout en reconnaissant que l'établissement d'un régime complètement régulier pour l'écoulement n'était pas réalisable dans ses expériences, il se prononce absolument pour la loi de proportionnalité énoncée et contre l'autre théorie rattachant la force d'entraînement à la vitesse moyenne.

Il serait intéressant de reprendre les expériences de M. Engels pour examiner si l'expression de la force d'entraînement parfaitement justifiée pour un mouvement régulier, par filets parallèles, ne doit pas être modifiée dès que l'écoulement dépasse sensiblement la *vitesse critique* correspondant à l'apparition des mouvements tourbillonnaires (Osborne Reynolds) et, peut-être qu'alors, une formule en fonction de la vitesse moyenne répond mieux à la réalité.

Giornale del Genio Civile (décembre 1907). — Mario GIANDOSSI : *Sur les rapports des débits des cours d'eau avec les chutes de pluie.* — L'auteur rappelle les travaux précédents des hydrauliciens italiens et allemands et reprenant les considérations de Bocci (*Trattato della bonifica idraulica agricola ed igienica delle terre incolte*) et de Fantoli (*Le acque de piene delle acque delle fognature di Milano*), il établit des formules pour les variations des affluents en conséquence de la conformation des bassins et la détermination de la quantité de pluie qui peut produire le débit maximum dans l'émissaire collecteur.

II. — MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS GÉNÉRAUX DE CONSTRUCTION

Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale (janvier 1908). — SAUVAGE : *Rapport sur un frappeur pneumatique de M. Baril.* — M. Baril a fait une étude approfondie des frappeurs pneumatiques dont les applications se sont multipliées depuis quelques années dans les ateliers de chaudronnerie et sur les chantiers de constructions métalliques.

Ses études l'ont conduit à construire un appareil de ce genre dans lequel il a cherché à réunir les diverses qualités désirables en évitant les défauts constatés dans d'autres types.

L'inventeur a réalisé un appareil bien étudié dont le fonctionnement est satisfaisant.

Beton u. Eisen (19 février). — F. von EMPERGER : *Charge d'épreuve d'un pylône fondé suivant le système Compressol.* — Note sur les essais de résistance d'un pylône ou pieu de béton foncé au compressol (analogue au procédé Dulac) et chargé de 166 tonnes pendant 14 jours. Enfoncement maximum 21 millimètres, enfoncement permanent 18 millimètres. La profondeur de fondation est évaluée à 7 mètres environ.

— K. VON TERZAGHI : *Silos de l'usine à plâtre d'Egeres-Siebenburgen* — Ces importants silos construits en ciment armé comportent 16 trémies carrées de 3^m,48 de côté en deux rangées portées par des piliers de 5^m,82 de hauteur, reposant sur des semelles de fondation de 2 mètres de largeur et 0^m,70 d'épaisseur. Calculs des pressions et de la résistance des principales parties.

Deutsche Bauzeitung (22 février). — MAUTNER : *Silos en béton armé pour menus à la mine Rechlinghausen*. — Intéressante description d'un bâtiment en béton armé pour emmagasiner le charbon.

— (22 février). — W. LUFT : *Halles, marquises en béton armé*. —

La corrosion des constructions en fer par les fumées de locomotives a conduit les Administrations de Chemins de fer à étendre la substitution du béton armé au métal. Les marquises des quais à voyageurs construites dans la gare de Nuremberg sont des applications en grand aussi intéressantes que hardies du nouveau matériau ; les piliers sont espacés de 10^m,73 aussi bien pour les portiques que pour les marquises à forme de parapluie. La surface couverte est de 22.000 mètres carrés.

Une autre application à mentionner est la grande halle n° III de l'exposition de Munich (1908) en cours d'exécution qui comporte deux nefs latérales ayant chacune 27 mètres de largeur entre appuis, 35 mètres de long, 15 mètres de hauteur et une coupole centrale de 37 mètres de portée et 28 mètres de hauteur.

Reste à savoir si cette construction imposante sera satisfaisante au point de vue de l'aspect.

Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure (1^{er} février 1908). — EUGÈNE MAYER : *Calcul de la flexion de barres dont la matière ne suit pas la loi de Hook*. — Comparaison des flexions observées avec celles qui peuvent être calculées au moyen des courbes de déformations à la traction et à la compression. On peut calculer pour une pièce donnée le moment fléchissant correspondant à une tension et à un allongement déterminé des fibres extrêmes et l'on calcule aussi les angles de flexion et les flèches. Les essais ont porté sur la fonte et le fer. Pour la fonte, les sections des barres éprouvées se conservent dans la flexion et la relation entre l'effort et la déformation dans les fibres infléchies est la même que dans le cas des essais de traction ou de compression simple.

Pour le fer, la flexion peut être calculée, au moyen des courbes de déformation, sensiblement au delà de la limite élastique et les écarts avec l'observation sont de l'ordre de grandeur que comportent les différences expérimentales pour des barreaux différents.

On peut considérer aussi dans le cas de la flexion une limite à partir de laquelle il y a un accroissement très notable des déformations. C'est précisément à cette limite que l'influence du temps commence à se faire sentir.

Engineer (20 septembre 1907). — *Appareil pour dérochements sous-marins.* — Cet engin a été construit aux Etats-Unis pour l'amélioration du Lac Supérieur : il est spécialement conçu en vue de l'enlèvement de blocs de 2 à 10 tonnes, sous une hauteur d'eau variable de 1^m,50 à 3 mètres.

Il est essentiellement constitué par un chaland de 30^m,48 de longueur, 9^m,14 de largeur, 2^m,44 de profondeur, qui porte une grue pivotante à vapeur d'une puissance de 10 tonnes : la volée a une longueur de 12^m,19 ; le diamètre du chemin de roulement est de 6^m,10. La vapeur est fournie par une chaudière verticale de 1^m,07 de diamètre et de 2^m,44 de hauteur : elle agit sur un treuil de 30 chevaux, muni de deux cylindres de 0^m,22 sur 0^m,25.

La quantité d'enrochements enlevés en une heure varie de 40 à 60 tonnes.

On emploie deux types de grappins : l'un à cinq branches pour les gros enrochements ; l'autre à sept branches pour les pierres de plus petite dimension.

Engineering Record. — (19 oct. 1907). *Reprise en sous-œuvre d'une pile supportant une charge de 400 tonnes.* — Ce travail a été exécuté à Philadelphie, pour la station terminus du Pennsylvania Railway.

La pile a comme base un rectangle de 4^m,27 sur 6^m,10 : elle repose sur une semelle d'environ 2^m,75 d'épaisseur. La reprise a été nécessitée par les fouilles exécutées dans le voisinage, à une profondeur de 9 à 10 mètres, pour le Philadelphia Rapid Transit Railway.

On a creusé deux tranchées blindées, d'où partaient des galeries permettant de passer sous la pile six groupes de fers à double T : ceux-ci reposaient sur des piliers en charpente établies dans les tranchées. A l'aide de vérins, la charge fut reportée sur les poutrelles. Puis on déblaya le terrain sous la pile et l'on construisit une nouvelle fondation constituée par un massif de béton et des piliers en briques. Une fois la maçonnerie achevée, on dégagea les poutrelles et l'on effectua un remplissage en briques.

La durée du travail a été de 22 jours avec un nombre d'hommes qui était en moyenne de 17.

III. — ROUTES. PONTS ET VIADUCS.

Deutsche Baukunst (25-28 mars). — *Mise en place du tablier d'un viaduc de chemin de fer sur le Cyroesalmi-Sund près de*

Nyslott en Finlande. — Description du procédé employé par l'Augsbourg und Nuremberg Allg. Gesellsch. Les trois quarts de la longueur du tablier (125 mètres — poids 1000 c.) étaient montés sur la rive et sur une des ouvertures secondaires. Le dernier quart était monté en encorbellement en avant de la culée avec l'aide d'un échafaudage flottant pour les derniers panneaux. Le lançage fut effectué ensuite au moyen de treuils à câble.

Oesterreichische Wochenschrift für den öffent.

Baudienst (4 janvier 1908). — Georges KAPSCH : *Théorie d'une espèce particulière de cadres transversaux dans les ponts en arc.* — Le cadre considéré est symétrique par rapport à l'axe vertical avec contreventement supérieur en arc, contreventement inférieur rectiligne étroit à une hauteur intermédiaire.

Le système statique est sextuplement indéterminé. On admet que les forces longitudinales et les moments sont des fonctions linéaires des forces extérieures et des forces intérieures surabondantes. Ces dernières sont déterminées au moyen des équations d'élasticité données par la méthode de Müller-Breslau.

Zentralblatt der Bauverwaltung (n° 16, 26 février). —

E. PATTON : *Oscillations des diagonales dans les poutres à treillis doubles.* — Description d'expériences avec appareils multiplicateurs, faites sur des ponts de chemins de fer (Brest, la Lesnaja, l'Ikiva).

L'auteur insiste sur les inégalités de tension des diverses diagonales et sur la facilité avec laquelle dans certains cas (notamment pour des tabliers à charge morte considérable) les oscillations des diagonales peuvent être provoquées à la main, par de faibles efforts rythmés.

Engineering (18 octobre 1907). — *Viaducs en béton armé pour la voie ferrée des mines de Cala à Séville.* — Ces viaducs, au nombre de deux, ont été construits par travées de 9 mètres. Les poutres principales ont une hauteur de 1^m,20 et une largeur de 0^m,23. La largeur de la plateforme est de 3^m,50. Les poteaux verticaux supportant les poutres sont solidaires de ces dernières ; ils ont une section rectangulaire, de 0^m,67 sur 0^m,23.

Chaque paire de poteaux repose sur une semelle de béton armé de 0^m,20 d'épaisseur, et dont les dimensions en plan sont 1^m,75 sur 6^m,75 : sous cette semelle se trouve un massif de béton ordinaire, de 2 mètres de largeur, 7 mètres de longueur et 0^m,30 d'épaisseur ; la pression est ainsi réduite à 0^{kg},550 par centimètre carré, pour les conditions normales.

Engineering News (12 décembre 1907). — *Machine pour mélanger et répandre le béton dans la construction des chaussées.* — Cette machine est automobile ; elle est munie d'un moteur de 16 chevaux. Le bâti se prolonge de 7^m,60 par une poutre qui peut pivoter horizontalement dans un angle de 170° : ce qui permet de couvrir une chaussée de 15^m,25.

Les quantités d'eau sont mesurées automatiquement. Le béton, en sortant du mélangeur, est versé dans une auge à roues qui se déplace sur la poutre et bascule au point voulu.

Avec une équipe de 17 hommes, on a mis en place, à Buffalo, une quantité de béton de 90 mètres cubes par heure. On est exceptionnellement arrivé, en une journée de huit heures, à une quantité de 760 mètres cubes.

Engineering Record (9 novembre 1907). — *La reconstruction des piles d'ancrage du pont de Poughkeepsie.* — Le pont à double voie construit sur la rivière Hudson à Poughkeepsie est un des premiers ouvrages de grande portée et du type cantilever. Sa longueur totale est de 2.056^m,45 ; la hauteur des rails au-dessus de la surface du fleuve, de 64^m,60. Il est constitué par cinq travées principales, dont les longueurs varient de 160 à 167 mètres ; et par deux viaducs d'approche en acier, avec des travées de 16^m,15 à 53^m,35.

Un renforcement a été reconnu nécessaire en vue du passage des charges actuelles. On a été amené à reconstruire les piles d'ancrage et tout le système d'ancrage : ce travail difficile a été exécuté sans interrompre le trafic.

Les anciennes piles ont été enveloppées d'une couche de béton, et l'on a disposé en même temps les nouvelles barres et poutres d'ancrage. La stabilité des fondations est, en outre, augmentée par la construction de contreforts en béton.

— (16 novembre 1907). — *Pont-route de Catskill (New-York).* — C'est un pont à six arches, en béton armé, dont la longueur totale est de 137^m,16. Chaque arche a une portée de 21^m,03 et une flèche de 2^m,59 ; l'épaisseur à la clé est de 0^m,41 et aux reins de 0^m,99. Toutes les piles sont fondées sur le roc dur.

Le cube du béton employé est d'environ 3.058 mètres. Le prix total de l'ouvrage a été de 216.250 francs.

— (23 novembre 1907). — *Le viaduc de Long Key.* — Ce viaduc, construit pour les extensions du Florida East Coast Railway, a été établi entre Long Key et Conch Key par des profondeurs d'eau

de 2^m,75 à 5^m,20, avec des courants de marée dont la vitesse normale est de 4 à 6 nœuds.

Il est constitué par une série de 180 arches en béton armé, ayant chacune une ouverture de 15^m,24. Pour la construction des piles, on s'est servi de batardeaux.

Le nombre d'ouvriers du chantier a varié de 500 à 800.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (vol. CLXIX). — *Le pont de Vauxhall*. — Ce pont traverse la Tamise à environ 1600 mètres en amont du pont de Westminster, vers le milieu de l'intervalle qui sépare ce dernier ouvrage du pont de Chelsea. La reconstruction en a été nécessitée par l'accroissement du trafic.

La longueur totale du nouveau pont, comptée entre les culées, est de 231^m,64. La travée centrale a une ouverture libre de 45^m,60, avec une hauteur de 6^m,33 au-dessus du niveau des plus hautes eaux ; les deux travées intermédiaires ont une ouverture libre de 44 mètres, avec une hauteur de 5^m,79 ; et les deux travées de rive, une ouverture libre de 39^m,77, avec une hauteur de 4^m,55.

La superstructure est constituée par cinq arcs métalliques, formés chacun de treize membrures. La maçonnerie des piles s'arrête au-dessous des naissances des arcs : le couronnement, entre les arcs, est entièrement métallique. Cette disposition spéciale est considérée comme très satisfaisante au point de vue esthétique.

Le prix total de l'ouvrage, y compris le pont provisoire, a été approximativement de 12.000.000 francs.

— (Vol. CLXIX). — *Pont à flotteurs sur les rivières du district de Darbhanga (Bengale)*. — Les ponts décrits sont au nombre de cinq ; ils ont respectivement des largeurs de : 141^m,73 ; 170^m,08 ; 122^m,83 ; 103^m,94 ; 94^m,49.

Les flotteurs sont de simples cylindres, de 1^m,83 de diamètre et 9^m,14 de longueur, avec des extrémités coniques portant leur longueur totale à 11^m,17. Ils sont construits en tôle d'acier.

La distance des flotteurs est de 9^m,45 d'axe en axe.

La route occupe une largeur de 3^m,35, dont 2^m,44 pour les voitures.

Proceedings of the American Society of Civil Engineers (vol. XXXIII — n° 10). — *Emploi du béton armé pour recouvrir les excavations dans les rues pavées*. — Malgré tout le soin apporté dans le remblaiement des excavations, il est difficile

d'éviter le tassement des pavages : ce résultat est obtenu en renforçant le béton de fondation au moyen de métal déployé. Ce procédé est particulièrement avantageux quand il s'agit de recouvrir des tranchées pratiquées pour le passage de canalisations.

Engineering News (12 mars 1908). — *Conclusions de la Commission d'enquête, nommée par le gouvernement Canadien, sur les causes de la chute du Pont de Québec.* — La commission était composée de MM. Henri Holgate, de Montréal, G. Kerry, de Campbellford et J. Galbracth, professeur à l'université de Toronto. Après cinq mois d'études approfondies, au cours desquelles elle s'est entourée de tous les renseignements possibles, la Commission d'enquête nommée par le gouvernement Canadien a, le 9 mars courant, déposé devant le Parlement, à Ottawa, son rapport sur les causes de la chute du Pont de Québec.

Ce rapport est divisé en 19 chapitres principaux, où se trouvent développées les conclusions énoncées ci-après, auxquelles aboutit la Commission :

a) La chute du pont de Québec est due à la rupture des membrures inférieures de la travée d'ancrage, dans le voisinage de la pile principale.

Ces membrures ont cédé parce que le projet en était défectueux.

b) Les efforts qui ont amené la chute de l'ouvrage, ne sont le résultat ni de circonstances atmosphériques exceptionnelles, ni d'aucune cause accidentelle : c'étaient ceux auxquels il fallait normalement s'attendre.

c) L'étude des membrures qui ont cédé avait été faite par M. Szlapka, ingénieur de la Phoenix Bridge Co.

d) Cette étude a été soumise à M. Th. Cooper, ingénieur-conseil de la Co^e du pont et du chemin de fer de Québec (Quebec Bridge et Railway Co) qui, après examen, l'a approuvée.

e) On ne saurait assigner à la catastrophe d'autre cause directe que les erreurs de jugement des ingénieurs précités.

f) La faute de ces ingénieurs ne relève ni d'un manque de connaissances professionnelles, ni de négligence ou d'un souci exagéré d'économie.

Mais se trouvant en face d'un des problèmes les plus difficiles que l'art des ingénieurs ait jamais eu à résoudre, ils ont été au-dessous de leur tâche. (Proved to be insufficient for the task).

g) Les clauses du cahier des charges étaient, à notre avis, insuffisantes ; en particulier les efforts auxquels les pièces devaient être soumises dépassaient de beaucoup les limites antérieurement atteintes.

Cependant aucun des intéressés n'a fait d'observations à ce sujet.

h) On a eu le tort grave d'admettre pour les calculs un poids mort beaucoup trop faible et de ne pas vérifier à nouveau cette première hypothèse.

Cette faute, à elle seule, suffisait pour compromettre complètement le pont, même si les membrures inférieures avaient résisté, car, en admettant que le pont ait été achevé conformément au projet, les efforts auxquels il aurait été soumis auraient notablement dépassé les limites résultant du cahier des charges.

L'erreur commise est du fait de M. Szlapka ; elle a été partagée par M. Cooper et elle a dû contribuer à hâter la chute.

i) A notre avis, la catastrophe était, le 27 août 1907, devenue inévitable : aucune mesure ne pouvait plus la prévenir. Il eût été impossible de consolider l'ouvrage ou de le démolir sans risquer la vie des ouvriers.

j) Avec un peu plus de réflexion et de jugement, les chefs auxquels la C^{ie} du chemin de fer (Quebec Bridge et Railway C^o) et les entrepreneurs (Phoenix Bridge C^o) avaient confié respectivement la direction des travaux auraient pu éviter les morts qu'on a eu à déplorer le 27 août.

k) La C^{ie} du Chemin de fer a commis une faute en ne choisissant pas un spécialiste de grande expérience pour le mettre, comme ingénieur en chef, à la tête des travaux. De ce fait, on a pu, non sans raison, reprocher à cette C^{ie} un manque de contrôle et un relâchement dans la surveillance des détails.

l) Il n'y a rien à dire contre les dessins d'exécution et de montage de la Phoenix Bridge C^o, non plus que sur la qualité des matières premières et de l'acier fourni par la Phoenix Iron C^o.

Le défaut essentiel de l'ouvrage consistait dans les erreurs fondamentales du projet.

m) Aucun de ceux qui ont étudié le projet d'ensemble ne s'est bien rendu compte de l'ampleur exceptionnelle du travail, ni de l'insuffisance des données qu'on possédait pour aborder pareille entreprise.

On n'avait pas fait les essais et les expériences spéciales qu'il aurait fallu pour pouvoir éclairer convenablement les ingénieurs chargés de l'étude du projet.

n) Nos connaissances actuelles sur la résistance des grands montants en acier, chargés debout, sont trop incomplètes pour permettre aux ingénieurs de construire, dans des conditions économiques, des ouvrages de l'importance de celui de Québec.

Sans doute on peut établir avec sécurité un ouvrage de pareille portée, mais dans l'état actuel de la science, il y aurait lieu d'y consacrer un

poids de métal bien supérieur à celui qui serait nécessaire si l'on avait plus d'expérience.

o) La réputation professionnelle de M. Cooper justifiait amplement le choix dont il a été l'objet pour la haute situation d'ingénieur-conseil et la confiance qu'avaient placée en lui le gouvernement du Canada, la C^{ie} du Quebec Bridge et Railway et la Phoenix Bridge C^o.

IV. — NAVIGATION INTÉRIEURE

Engineering Record (5 octobre 1907). — *Le barrage de Crocker's Reef sur la rivière Hudson, à Fort-Edward.* — Ce barrage est le premier de la série à construire pour l'amélioration du canal de Champlain ; il est divisé par une île en deux parties, dont l'une a 146^m,30 et l'autre 85^m,34.

Le fond de la rivière est rocheux des deux côtés de l'île. L'auteur donne une description détaillée du batardeau, qui a été consolidé au moyen des déblais provenant du décapage du rocher. La durée des travaux a été de cinq mois.

V. — TRAVAUX MARITIMES

Zeitschrift für Bauwesen (1908, cahiers 1 à 3). — O. FRANZIUS : *Mesure des mouvements de relèvement et d'enfoncement subis par les cales sèches n^o V et n^o VI au Chantier Impérial de Kiel.* — On est conduit à expliquer les mouvements par une certaine élasticité du sous-sol sableux, les formes ayant été assises en partie dans le déblai du terrain, en partie dans l'eau avec des dragages — Comparaison avec les mouvements observés lors du remplissage et de la vidange du nouveau réservoir de Brême (4^{mm},5 et 2 millimètres). — Inconvénients de l'établissement de chambres de machineries à maçonnerie liée entre deux formes sujettes à ces mouvements.

Engineer (27 septembre 1907). — *Construction d'épis en béton armé à Brighton.* — Ces épis sont destinés à la défense de hautes falaises calcaires, qui ont subi des érosions importantes ; pendant les onze dernières années, on a observé un recul annuel de la côte d'environ 0^m,90 par an.

La distance des épis entre eux est de 150 mètres : ils sont au nombre de six et s'étendent à 167 mètres du pied des falaises. Tous ces ouvrages sont entièrement en béton armé.

Chaque épi est constitué par des colonnes à section carrée de 0^m,40 de côté, espacées de 1^m,68 sur les 60 premiers mètres à partir de la falaise, et ensuite de 2^m,13. Les intervalles entre les colonnes sont fermés par des dalles de 0^m,15 d'épaisseur et 0^m,30 de hauteur, qui glissent dans des rainures ménagées sur les côtés des colonnes.

Les colonnes sont fixées au moyen de béton dans des trous creusés dans le banc de calcaire : la hauteur libre, qui est de 2^m,44 près de la falaise, se réduit progressivement jusqu'à 0^m,76. Partout où cette hauteur dépasse 1^m,52, les colonnes sont soutenues par des contrefiches de 0^m,25 × 0^m,25, dont les extrémités inférieures sont retenues de la même façon.

Toute l'armature est constituée par des barres d'acier à section ronde.

— (11 octobre 1907). — *L'agrandissement du port du Havre.* —

Après un historique détaillé du port, il est donné des indications sur les nouveaux travaux projetés : les renseignements ont été fournis à l'auteur de l'article par M. Louis Brindeau, député du Havre.

— (18 octobre 1907). — *Nouveaux bassins de radoub sur la rivière*

Tees, à Southbank. — Les dimensions des deux nouveaux bassins sont les suivantes :

	Bassin n° 1	Bassin n° 2
Longueur intérieure	167 ^m ,64	137 ^m ,16
Largeur d'entrée	20 ^m ,42	18 ^m ,59
Hauteur d'eau sur le seuil (hautes mers de vive eau ordinaires)	7 ^m ,92	7 ^m ,92

Des dispositions ont été prises en vue d'un allongement éventuel.

Les radiers sont à 1^m,37 au-dessous du niveau des seuils.

Pour la construction, on a eu recours à un batardeau, d'une longueur totale de 610 mètres.

— (22 novembre 1907). — *Drague suceuse à deux hélices.* — Cette

drague est destinée à l'enlèvement des sables dans l'estuaire de la Tamise. Sa coque est la plus grande qui ait été construite sur la Clyde ; elle a comme dimensions : longueur, 100^m,58 ; largeur, 16^m,92 ; profondeur, 7^m,01.

Le cube de sable dragué en une heure est de 4.500 tonnes ; l'enlèvement se fait à une profondeur de 21^m,30 au-dessous du niveau de l'eau.

Les machines de propulsion sont à triple expansion : elles ont des cylindres de 0^m,48, 0^m,76 et 0^m,99 de diamètre, avec une course de 0^m,76. Les cylindres des pompes ont des diamètres de 0^m,30, 0^m,51 et 0^m,81, avec une course de 0^m,46. Il y a trois chaudières multitubulaires, ayant chacune un diamètre de 4^m,57.

— (6 décembre 1907). — *Nouveau dock flottant à Rotterdam.* — Sa longueur est de 172^m,21 ; sa largeur, de 36^m,58 ; et sa hauteur, de 15^m,24. La hauteur intérieure est de 11^m,13. Les côtés reposent sur 7 pontons indépendants, qui ont chacun une longueur de 36^m,58, une largeur de 24^m,08 et une hauteur variant de 3^m,66 à 3^m,96 : le poids de chaque ponton est d'environ 600 tonnes, soit en tout 4.200 tonnes. Le poids total des caissons latéraux est de 1.800 tonnes. La machinerie représente un poids approximatif de 500 tonnes. L'ensemble pèse donc environ 6.500 tonnes.

Ce dock peut recevoir des bateaux de 18.000 tonnes. Son prix de revient est de 2.265.000 francs.

Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (vol. CLXIX). — *La manutention des bois dans le bassin de Portishead (Bristol).* — Le port de Bristol renferme les bassins d'Avonmouth, de la Cité et de Portishead. Ce dernier a une surface d'eau de près de 5 hectares ; la hauteur d'eau sur le seuil varie de 7^m,32 à 10^m,36 ; l'écluse d'entrée a une longueur de 135^m,33.

Pour le déchargement des bois, on a construit un appontement longitudinal de 182^m,88 de longueur et de 9^m,75 de largeur, présentant une profondeur d'eau de 7^m,32. Normalement au bord extérieur sont disposées neuf voies de grues, distantes de 20^m,42 d'axe en axe : les grues se déplacent avec une vitesse de 183 mètres par minute.

On a, en outre, établi une jetée de 60^m,96 de longueur et 8^m,53 de largeur pour les embarcations de faible tonnage : le tirant d'eau à l'extrémité est de 4^m,57 ; sur les côtés il est respectivement de 2^m,74 et 4^m,27.

Atti della reale Accademia dei Lincei (5 janvier 1908). — Luigi DE MARCHI : *La marée dans la Méditerranée.* — L'auteur discute les hypothèses de Sterneek (*Die Höhe des Mittelwasser bei Ragusa*, etc. 1904), de Harris, (*Manual of Tides* 1901-1904) et de Grablovitz, (*Neptunia*, xx et xxii), expliquant les

anomalies de la marée dans la Méditerranée par la considération de bassins uninodaux indépendants. Il recherche l'explication dans la configuration du fond qui dévierait les courants provoqués par la composante horizontale de l'action lunaire. Son raisonnement s'appuie principalement sur les observations maréométriques du littoral adriatique et de la lagune.

VI. — CHEMINS DE FER. TRAMWAYS. AUTOMOBILES.

Le Bois (4-11 avril 1908). — *A propos du hêtre à cœur rouge.* —

L'importante question de l'approvisionnement des traverses pour chemins de fer est fréquemment l'objet d'informations et de discussions intéressantes dans le journal spécial *Le Bois*. La controverse actuellement engagée dans ses colonnes à propos du hêtre à cœur rouge touche à un sujet capital : le perfectionnement des procédés d'imprégnation de traverses, notamment avec la créosote. Ce perfectionnement doit surtout consister à faire pénétrer l'antiseptique jusqu'au centre même de la traverse, de manière à atteindre les filaments mycéliens qui en provoquent la destruction. Le cœur rouge du hêtre étant réfractaire à l'injection, les Compagnies de chemins de fer semblent fondées à le rebuter jusqu'à ce qu'on soit en mesure d'assurer la diffusion d'une quantité convenable d'antiseptique dans toute la masse des traverses, avant que les causes de détérioration, principalement le développement des champignons, n'aient commencé leurs ravages.

Les essais pratiqués dans ce sens par les chemins de fer allemands (procédés Ruping et Heise) n'ont pas abouti à des résultats satisfaisants, mais le correspondant du journal *Le Bois* signale un procédé de MM. Chateau et Merklen, dont le cycle d'opérations réaliserait l'imprégnation complète d'une traverse en ramenant de 23 kilogrammes à 15 kilogrammes la dose de créosote introduite.

Le point de départ du procédé est qu'au lieu de poursuivre une dessiccation aussi complète que possible des traverses, il y a intérêt à leur communiquer une humidité homogène, en maintenant dans la masse une température convenable pour éviter la solidification de la créosote qui se fige à 40°.

En outre, cette humidification facilite, par l'ébullition de l'eau lors de l'application du vide, l'extraction des gaz permanents occlus dans la matière à imprégner. Il est utile d'égaliser l'action de la vapeur ou de l'eau chaude, de la conserver pendant un temps convenable pour arriver à stériliser la sève, la transformer en la diluant et l'éliminer en partie.

Le dessevage permet l'injection de traverses provenant d'arbres fraîchement abattus.

L'imprégnation comprend :

a) L'action plus ou moins prolongée du vide pour enlever l'air et les gaz permanents encore contenus dans les canaux du bois ;

b) L'injection sous pression de la quantité voulue d'antiseptique (créosote 18 kilogrammes).

c) La répartition de l'antiseptique dans toute la masse par l'effet de fluides auxiliaires multiples. Ces derniers sont employés successivement et agissent à des pressions successivement croissantes, ils doivent comprendre au moins un fluide vapeur et un fluide gaz, la vapeur fournissant les calories nécessaires à la fluidité de la créosote qui s'émulsionne avec l'eau, le gaz agissant ensuite comme piston et comme modérateur de la température.

Bulletin du Congrès international des Chemins de fer

(janvier 1908). — JAEHN : *L'indicateur de flexions Osske-Kühne*. — *Interprétation des résultats de mesures faites sur des ponts de chemins de fer*. — Les surcharges roulantes des ponts agissent avec une vitesse déterminée sur l'ensemble de l'ouvrage. De ce fait les éléments de ce dernier sont soumis à des tensions plus grandes que celles provoquées par des charges statiques. Le problème de l'augmentation que subissent les tensions sous l'action dynamique des surcharges roulantes ne peut recevoir de solution pratique que par des observations méthodiques effectuées avec soin à l'aide d'appareils convenablement choisis. Parmi ces derniers on peut ranger l'indicateur de flexion Osske-Kühne pour l'étude duquel on s'est inspiré des principes suivants : construction simple, manœuvre facile, grande sensibilité grâce au frottement minimum des pièces en mouvement et notation automatique des mouvements par un enregistreur. L'appareil comporte un levier tournant, relié à une tige verticale et muni à son extrémité d'un stylet écrivant.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

(15 janvier). — M. SPITZ : *Joint élastique à éclisses cintrées*. — L'auteur décrit un type de joint en porte à faux essayé par la Société austro-hongroise des chemins de fer de l'État. On prend des éclisses usées qui ne s'appliquent plus exactement sur leurs portées, on les chauffe au rouge et on les cintre sur un gabarit, de manière à leur donner une courbure dont la flèche excède de 1 millimètre à 1^{mm},5 la somme des usures de l'éclisse et de son logement auprès du joint. L'ex-

périence a montré qu'un cintrage de 3 millimètres est le plus convenable.

Pour la mise en place ces éclisses doivent être forcées à coups de marteau. Théoriquement l'éclisse cintrée n'a ainsi que trois points de contact avec la file de rail, en réalité elle soutient le champignon supérieur sur une longueur de 10 à 20 centimètres. Cette disposition tend donc à relever les abouts des rails sans créer des points hauts dans la surface des roulements si le cintrage n'est pas exagéré.

Les épreuves effectuées sur les éclisses cintrées ont montré que l'opération ne leur avait rien fait perdre de leur résistance. Les ruptures auxquelles elles ont donné lieu sont notablement plus rares que celles des éclisses ordinaires.

(Il est à remarquer que sur certains réseaux français, on remédie assez efficacement à l'usure des éclisses et des portées d'éclissage en rapportant des fourrures en feuillard d'acier, d'une épaisseur appropriée ; ce procédé équivaut au point de vue mécanique au cintrage des éclisses.)

— (1^{er} février 1908). — R. BASSEL : *Amélioration du joint des rails au moyen de rails de rebut*. — Le procédé à l'essai depuis un an consiste à poser les vieux rails en contre-files intérieures à la voie courante de manière à créer une liaison longitudinale supplémentaire des traverses. L'enfoncement du joint dans le ballast serait notablement diminué.

Zeitung des Vereins Deutsch. Eisenbahnverwalt.

(5 février 1908). — D^r HEUBACH : *Entretien des voies dans les courbes*. — Les relevés de courbes effectués en octobre et novembre 1907 sur les voies ferrées de la direction de Munich ont eu pour objet de rechercher s'il se produisait des déformations et comparer le procédé usuel de vérification des courbes à l'aide des flèches avec un nouveau dispositif de mesure des courbures décrit dans les numéros 33 et 62 de la *Zeitung* (1907).

Il s'agissait d'une courbe de 350 mètres de rayon d'un entretien onéreux et assujettissant ; la voie était en rails d'acier de 9 mètres pesant 34^k,87 ; les mesures étaient prises soit par la flèche sur le milieu d'une corde de 27 mètres (3 longueurs de rails), soit au moyen d'un curvimètre spécial fourni par la maison Reiss de Liebenwerda. On détermina en même temps l'usure latérale du champignon des rails posés depuis trois ans et la situation de la largeur de voie et du surhaussement.

Les résultats traduits par des graphiques ont montré que :

1° La portion de voie la plus difficile à tenir entre les points H. 20 et H. 30 présentait des écarts notables avec le rayon normal, les rayons observés variant de 298 mètres à 440 mètres avec la méthode de la corde et de la flèche et de 285 mètres à 580 mètres avec le curvimètre ;

2° La portion la plus facile (entre les points H. 50 et 75) présentait des écarts notablement moindres, les rayons allant de 310 mètres à 390 mètres.

On peut admettre que des écarts variant de 8 à 10 p. 100 au plus du rayon normal ne sont pas inquiétants et que ce serait peine à peu près perdue de s'attacher à maintenir une exactitude beaucoup plus rigoureuse dans le tracé des courbes. L'essentiel est de maintenir une continuité régulière dans la courbure et d'éviter les variations brusques.

Des observations méthodiques conduiront peut-être à une recherche plus serrée de l'exactitude ; si l'on se reporte aux communications de Hansen et Bräunings sur des voies dressées soigneusement à l'œil (*Zentralblatt der Bauverwaltung*, 6 février 1907) on voit qu'une courbe, au rayon normal de 750 mètres, ainsi dressée présentait en réalité des rayons variant de 550 mètres à 1.087 mètres et que les courbes de raccordement s'étendaient toujours plus que la longueur réglementaire.

Le relevé des usures latérales du champignon a montré qu'il y avait une relation étroite entre les défauts notables de la courbure et les usures exceptionnelles. Ainsi aux points H. 24 et 30 où le rayon est réduit au minimum, l'usure est deux ou trois fois plus grande que dans les parties où la courbe normale est conservée. Il y a donc un sérieux intérêt au point de vue des dépenses d'entretien à éviter ces défauts qui peuvent réduire de $\frac{1}{3}$ ou de $\frac{1}{2}$ la durée de service des rails (sans parler du supplément de fatigue qui peut en résulter pour le matériel roulant).

Au point H. 43 de la portion étudiée, la déféctuosité accentuée de la courbure n'est pas accompagnée d'une usure excessive du champignon, mais parce que la largeur de voie entre les points H. 42 et 45 dépassait sensiblement la largeur normale avec le surécartement réglementaire) qu'on retrouvait dans le reste de la courbe.

L'auteur proclame la supériorité de l'instrument de mesure qui donne par une lecture immédiate le rayon des courbes sur le procédé de détermination par la corde et la flèche et qui facilite le tracé et la vérification des courbes de raccordement ; il discute les formules employées dans ce dernier procédé et critique les conclusions de l'article inséré sur ce sujet dans le *Bulletin de l'Association du Congrès International des chemins de fer* (janvier 1908) par H. Saller.

Ce dernier a fait ressortir d'après des graphiques que dans les voies les mieux entretenues les flambages ou discontinuités de courbure tendent à se former aux joints, mais ses observations ne portent que sur des déplacements sensiblement inférieurs à ceux que constatent d'autres observateurs et il conclut qu'il y a peu d'intérêt en employant le dressage d'après les flèches à vouloir pousser loin l'exactitude en faisant usage de contre-flèches, et qu'il suffit de travailler approximativement avec des cordes égales à 1, 3 ou 5 longueurs de rails en s'appliquant surtout à réaliser la continuité dans la courbure et dans le déplacement. L'auteur insiste aussi sur l'utilité de repères fixes.

Il serait intéressant de comparer au sujet de l'amplitude de ces déformations les voies sur traverses métalliques avec les voies sur traverses en bois. Les vérifications fréquentes de la régularité des courbes ont une sérieuse importance pour les voies dont l'entretien est fait par révision, lorsque le cycle comporte une assez longue durée.

— (25 janvier-22 février 1908). — H. A. MARTENS : *Types nouveaux pour les signaux avancés et les signaux de gare.* — Les chemins de fer de l'État danois ont essayé et introduit pratiquement dans leur exploitation (Almindeligt Signalreglement 1903, Danske Statsbaner) un nouveau système de signaux comportant en principe l'exclusion de toute lumière blanche. Ils ont ajouté au rouge et au vert une troisième couleur intermédiaire entre le jaune et l'orangé, dénommée *jaune feu, brandgult*. Le feu de cette couleur a une visibilité supérieure à celle du rouge et du vert. Sur les signaux d'arrêt, elle commande l'arrêt ou le ralentissement et la supériorité de sa visibilité permet dans bien des cas de se passer du signal à distance. La confusion éventuelle de ce jaune orangé avec le rouge ne peut avoir d'inconvénient pour la sécurité parce que sa juxtaposition au rouge commande l'arrêt.

Les signaux d'entrée dans les gares danoises sont à deux bras avec les feux correspondants, ils portent un grand bras supérieur, terminé à une extrémité en forme de disque et au-dessous un autre plus petit à extrémité triangulaire. Dans la position horizontale (arrêt) le bras supérieur comporte un feu rouge, et le bras inférieur un feu jaune-orange ; dans la position inclinée (voie libre) chaque bras comporte un feu vert. Le ralentissement est commandé par le bras supérieur incliné avec le bras inférieur horizontal (vert et jaune orangé).

Le signal comportant le ralentissement est présenté à tous les trains qui doivent s'arrêter en gare ou qui doivent y être déviés de la voie directe.

Le signal avancé a la forme d'un sémaphore moins élevé dont le bras

est analogue au bras inférieur du signal de gare. Le feu jaune orangé répond à la position horizontale (attention ou ralentissement), le feu vert à la position inclinée (voie libre).

La logique du système est remarquable, et prévient toute ambiguïté. La lumière jaune orangé, d'une grande visibilité commande d'abord la prudence et le ralentissement, si le signal de gare a de plus un feu rouge, c'est en outre l'arrêt, s'il a un seul feu vert c'est la confirmation du ralentissement, s'il a deux feux verts c'est l'assurance que la voie est désormais libre.

La seule disposition qui peut paraître singulière, étant donné les errements habituels, c'est que de jour, la voie dans la position horizontale du bras sur le signal avancé signifie voie libre.

La comparaison de ce système avec la dernière signalisation à l'essai sur le réseau d'État bavarois est intéressante : les principes sont presque identiques, les formes adoptées sont très différentes.

Les Bavarois ont depuis vingt-cinq ans le feu blanc comme signal de voie libre sans réduction de vitesse, mais ils en reconnaissent les inconvénients et cherchent à le remplacer ; le feu vert signifie : attention, marchez lentement.

On essaie actuellement un feu jaune rougeâtre analogue au *brandgult*.

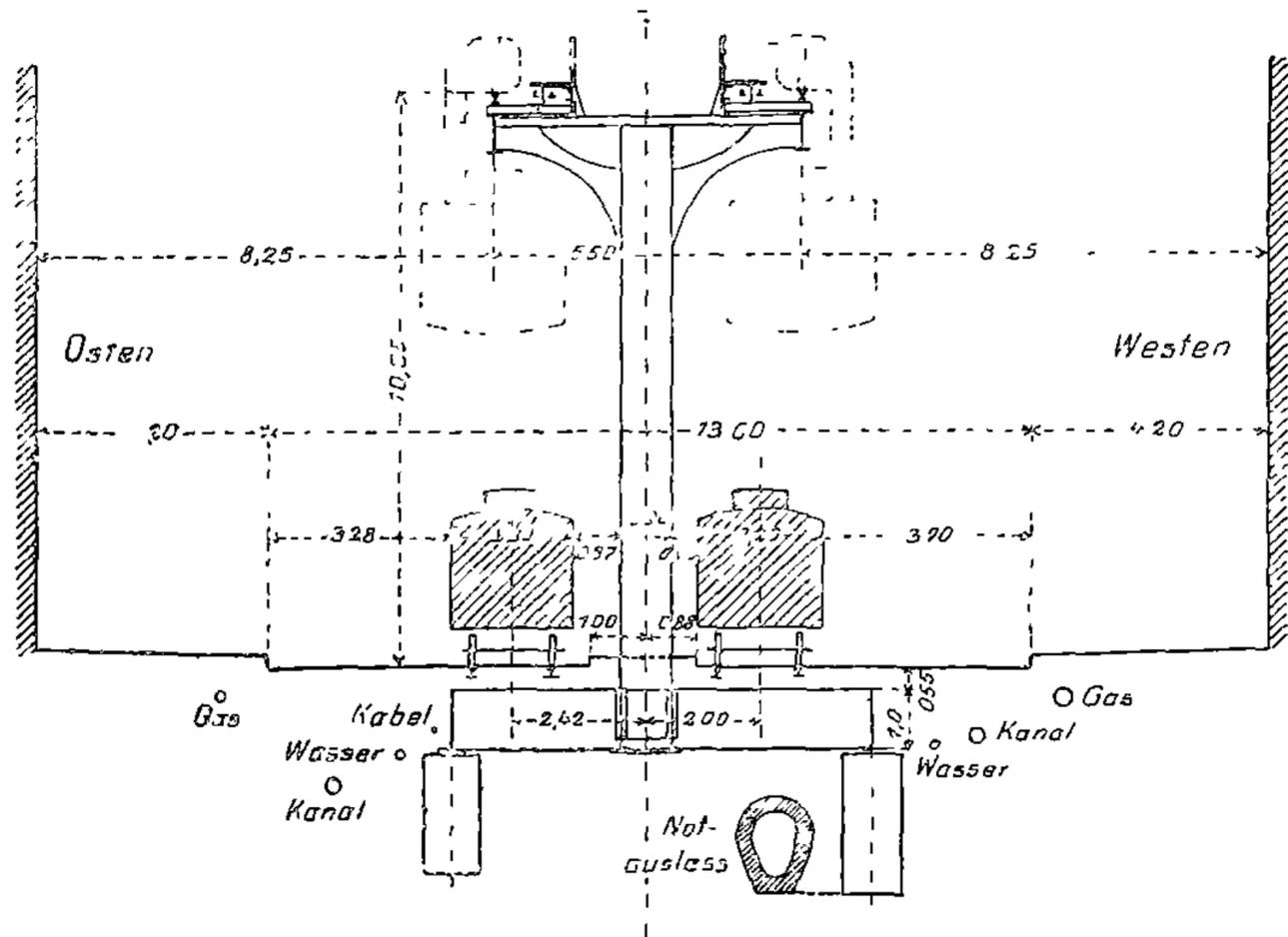
Ce feu est toujours doublé pour prévenir toute confusion avec des lumières blanches ou jaunâtres isolées. Les aiguilles des voies déviées ne doivent pas être abordées sans arrêt. Les dispositifs antérieurs de la signalisation allemande pour l'arrêt et la voie libre sont maintenus. On s'est évidemment préoccupé en Bavière de maintenir la transition entre l'ancien et le nouveau système dans l'intérêt de la sécurité.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (19 et 22 février 1908). — BERDROW : *Travées d'essai d'un chemin de fer suspendu à la porte Rosenthal à Berlin*. — Parmi les solutions en présence pour la jonction diamétrale (12 kilomètres) de Gesundbrunnen à Rixdorf, gares du chemin de fer de ceinture de Berlin, l'introduction du chemin de fer monorail suspendu (type Barmen-Elberfeld) a rencontré des partisans convaincus et a suscité de vives et intéressantes discussions dans la presse technique.

Dans la *Zeitung des Vereines...* du 18 décembre, M. Voss s'est efforcé de démontrer la supériorité de ce système pour des voies publiques de largeur restreinte, sa convenance pour les besoins effectifs de la circulation et ses garanties de sécurité comparables à celles des autres voies. La *Zeitschrift f. Elektrotechn. u. Maschinenbau* (24 décembre) a fait ressortir les avantages que procureraient les supports étroits alignés au milieu des rues, au point de vue de la régularisation de la circula-

tion, en créant une zone centrale neutre où les voitures pourraient se garer sans gêner personne.

Deux travées d'essai ont été exécutées à la fin de l'année dernière par la Société Continentale pour les entreprises électriques à la porte Rosenthal, sans aucun trouble pour la circulation. Leur structure est indiquée par la coupe transversale ci-dessous, les piliers sont espacés de 5 mètres. Les consoles sont établies d'après des modèles variés dûs aux



professeurs Bruno Mohring, Grenander et Sepp.-Kaiser. L'ossature métallique a été projetée et intercalée par MM. Petersen et Vianello, elle porte au même niveau les rails et les conducteurs électriques. Les poutres longitudinales au lieu d'être à treillis comme dans la voie de Barmen-Elberfeld-Nohwinkel sont des longerons sous rail pleins de 0,75 H. C. En plus des travées exécutées on a figuré l'emplacement de cinq autres piliers, pour permettre d'apprécier l'influence sur la circulation.

Le contre-projet de l'Allgemeine Elektrizität Gesellschaft comporte une voie ordinaire surélevée sur les 4/5 du parcours de Gesundbrunnen à Rixdorf et en souterrain pour le surplus ; la dépense d'établissement correspondante est évaluée à 85 millions de marks, tandis que le chemin de fer suspendu ne coûterait que 36 millions et permettrait une exploitation rémunératrice avec un tarif modéré.

Engineering News (28 novembre 1907). — *Machine pour la pose des voies.* — Cette machine diffère de celles ordinairement

employées en ce que les rails sont déposés en avant de la portion de voie déjà construite. A cet effet, deux poutres sont disposées en porte-à-faux sur une longueur de 6^m,10 : la semelle inférieure de chaque poutre supporte deux chariots avec des câbles auxquels sont attachés les rails.

Les traverses sont de même mises en place automatiquement en avant de l'engin.

Une équipe peut poser avec ce moyen une longueur de voie de 4 kilomètres par jour.

Engineering Record (12 octobre 1907). — *Revêtement en béton dans un tunnel.* — Il s'agit d'un tunnel à simple voie, d'une longueur de 670^m,55, qui se trouve dans la partie Sud de l'Indiana, à environ 6 kilomètres de French Lick.

Ce tunnel a été creusé avec une largeur de 6^m,40 et une hauteur sur l'axe de 8 mètres : le revêtement en béton a réduit les dimensions qui précèdent à 4^m,88 et 6^m,71. L'intrados a la forme d'un demi-cercle de 2^m,44 de rayon.

Le radier a une épaisseur approximative de 0^m,35 ; il forme deux épaulements de 0^m,30 de hauteur pour retenir le ballast de la voie, tout en ménageant de chaque côté un caniveau de 0^m,30 sur 0^m,56.

Les parois latérales ont une épaisseur de 0,61. L'épaisseur de l'arc se réduit progressivement jusqu'à 0^m,46 sur l'axe. Ces différentes parties sont armées au moyen de barres ondulées de 19 millimètres, placées à 0^m,08 de chaque face.

VII. — GÉNIE RURAL. — ASSAINISSEMENT. — DISTRIBUTION D'EAU.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences (13 janvier 1908). — MUNTZ et LAINÉ : *Sur l'utilisation de la tourbe pour l'épuration des eaux d'égout.* — La tourbe est un support extrêmement favorable au développement des organismes nitrifiants ; MM. Muntz et Lainé ont utilisé cette aptitude à l'épuration des eaux d'égout par les procédés biologiques, et ils rendent compte des résultats de leurs expériences de laboratoires poursuivies de mai à décembre 1907.

La couche de tourbe avait 1^m,60 ; la tourbe avait été divisée en fragments anguleux de la grosseur d'un œuf, trempés dans un lait de craie pour saturer l'acidité et additionnés de terreau pour le développement

des ferments nitrificateurs. L'arrosage a été intermittent ; il a atteint 3.000 litres par mètre carré et par 24 heures.

Les résultats ont été excellents : l'ammoniaque disparaît complètement : l'azote organique est éliminé dans la proportion de 85 p. 100 et la matière organique totale exprimée par l'oxygène qu'elle emprunte au permanganate diminue de 91 p. 100 ; l'eau épurée, riche en nitrates est limpide, inodore, imputrescible.

La numération des organismes pouvant se développer sur la gélatine a donné par centimètre cube :

à la sortie de la fosse septique.	3.000.000
à la sortie de la colonne épuratrice de tourbe.	363

En résumé, le support de tourbe a montré son efficacité comme lit bactérien destiné à l'épuration des eaux résiduaires.

Oesterreichische Wochenschrift für den öffentlichen

Baudienst (8 février 1908). — J. VOGLER : *Installation de filtrage à Tullnerbach pour la conduite d'eau de la vallée de la Wien.* — Description des aménagements réalisés par la Compagnie des Eaux de Vienne pour le filtrage des eaux destinées à l'alimentation des faubourgs ouest de Vienne. Deux bassins de décantation d'une superficie totale de 1500 mètres carrés et 3 mètres de profondeur en maçonnerie de béton arrêtent les matières en suspension. En temps de crue ou lorsque d'autres circonstances ont pu charger l'eau, il est ensuite procédé à l'alunage à raison de 40 à 50 grammes de sulfate d'alumine par mètre cube, ce qui débarrasse l'eau d'une nuance brun jaunâtre.

Le premier filtrage se fait dans 4 chambres de 24^m,75 × 5 mètres dont le radier a une épaisseur de 0^m,25. Sur un lit de tuiles de biscuit, est une couche de pierre cassée de 0^m,30 recouverte d'un lit de gravier de 0,5 à 2 cent. de grosseur, d'une épaisseur de 0^m,60. La pression maxima est de 0^m,80 ; l'opération se poursuit avec une vitesse moyenne de 15 à 20 mètres par 24 heures.

Le nettoyage des matériaux filtrants se fait dans les chambres mêmes par un procédé semblable à celui qui est adopté à Zurich et qui comporte l'action combinée de l'eau de lavage et de l'air comprimé. Le compresseur d'air est actionné par deux moteurs à benzine de 20 chvp.

Le second filtrage (fein filter) se fait dans 8 chambres indépendantes (dont 6 couvertes au ciment végétal), mesurant 40 mètres sur 18 mètres et réalisant, déduction faite des supports de toitures et accessoires de vannages, une surface filtrante de 5520 mètres carrés.

Les couches filtrantes sont comme dans le premier filtrage, avec cette différence que la dernière couche de 0^m,80 d'épaisseur est formée de couches successives de sable dont la grosseur décroît progressivement

de 50 millimètres à 3 millimètres. La charge sur les filtres varie de 75 à 95 centimètres. La vitesse de filtrage est réglée au moyen d'un appareil à tube télescopant ; elle peut être élevée jusqu'à 7 mètres en 24 heures (soit 0,08 millimètre par seconde).

Le passage par les filtres de la première série peut être supprimé lorsque l'eau amenée est suffisamment pure.

Le réservoir où l'eau filtrée est amenée par une conduite de 0^m,70 comporte deux divisions ayant chacune 22^m,30 sur 14^m,50 ; la quantité d'eau emmagasinée peut varier de 286 à 922 mètres cubes. Cette eau filtrée convient pour les usages industriels et domestiques, elle n'est par encore utilisée comme eau potable.

Zeitung des Vereines deutscher Ingenieure (11 janvier 1908). — E. F. HUBER : *Installations exécutées par Sulzer Frères (Winterthur et Ludwigshafen) pour les irrigations en Egypte.* — Description des principales installations exécutées par la maison Sulzer Frères pour élever les eaux du Nil au moyen de pompes à vapeur rotatives (les pompes à piston étant exclues par suite de la nature limoneuse des eaux).

Cheik-Faddl (1892-1893). Installation pour le compte de la Raffinerie Say. Deux pompes rotatives élèvent chacune 40.000 mètres cubes en 12 heures à une hauteur variable de 5 à 9 mètres ; elles ont dû être enfoncées à un niveau inférieur aux hautes eaux, le niveau du Nil pouvant varier de 8 mètres annuellement.

Chaque pompe est actionnée par une machine tandem avec distribution à soupape Sulzer, de 200 chvp. Les transmissions se font par courroies embrayant sur les volants.

Kafr-Amar (1893). Installation analogue à la précédente pour la même société.

Nag-Hamadi (1895, agrandie en 1899). Installation analogue aux précédentes pour la même société.

Khoderat (1901). Installation commandée par la Société Egyptienne d'Irrigation avec la condition d'un maximum d'effet utile, imposée par le prix élevé du combustible. La transmission par courroies a été remplacée en conséquence par la commande directe au prix d'une dépense de premier établissement sensiblement plus élevée parce qu'il a fallu établir la totalité de la machinerie sauf les chaudières en contrebas des plus hautes eaux et exécuter des fondations et des étanchements coûteux et difficiles.

La vapeur est produite à la tension de 12 atmosphères dans trois chaudières tubulaires à bouilleurs inférieurs, avec une quatrième chaudière de réserve. La surface totale de chauffe est de 200 mètres carrés

Quatre surchauffeurs de 30 mètres carrés chacun portent la vapeur à 250°.

Deux machines compound en tandem de 502 chvp. actionnent les pompes rotatives au moyen d'accouplements élastiques. Le volume d'eau montée à une hauteur de 6^m,50 à 9 mètres est de 2^m³,78 par seconde. La consommation effective de vapeur est de 8^k,85 par cheval-heure.

L'eau du Nil est chimiquement propre à l'alimentation à condition d'être débarrassée des matières limoneuses en suspension.

Mataana (1903-1904). Deux installations identiques ont été commandées à Mataana par la Daira Sanieh C^o Ltd. pour livrer chacune 1 mètre cube par seconde à 4 mètres de hauteur ou 0^m³,75 par seconde à 10 mètres. La caractéristique a été la recherche de l'économie d'établissement, la machinerie sauf la pompe a été installée au-dessus des hautes eaux. Trois chaudières tubulaires dont une de réserve et deux avec surchauffeur présentent une surface de chauffe de 100 mètres carrés chacune.

La machine compound reçoit de la vapeur surchauffée à 250° et 11 atmosphères. Les conduites d'aspiration ont été disposées dans des puits pour être à l'abri des corps flottants. L'eau d'alimentation est décantée et filtrée au moyen de tontisse ligneuse.

Wadi-Kom Ombo (1904-1906). La société anonyme de Wadi-Kom Ombo fondée en 1902 avait pour but l'irrigation du plateau du même nom dans la Haute-Egypte. Il a été installé jusqu'ici trois pompes élévatoires qu'on a rapprochées du Nil autant que les obstacles locaux le permettaient. La région à irriguer étant au-dessus du niveau des crues (hauteur de 99 à 102 au-dessus de la mer) exige un arrosage permanent. Les pompes actionnées directement par les machines sont à 6 mètres au-dessus des plus basses eaux, la machinerie est dès lors tout entière au-dessous des hautes eaux et le sol est exposé à de fortes contrepressions. Dix chaudières tubulaires avec bouilleurs de 200 mètres carrés de surface totale de chauffe produisent la vapeur à 13 atmosphères. Les grilles comportent une disposition spéciale pour permettre pendant une partie de l'année l'utilisation de déchets végétaux. Les deux machines sont à triple expansion avec condenseurs spéciaux.

L'eau de chaque pompe rotative est aspirée par une conduite circulaire en tôle de 2 mètres de diamètre et 92 mètres de longueur portée sur la rive par une estacade en fer à T. La conduite se divise en deux de 1 mètre de diamètre au voisinage de la pompe dans laquelle elle débouche de deux côtés.

Vu la difficulté des fondations la cheminée de l'usine a été faite en tôle d'une hauteur de 30 mètres avec un tirage artificiel.

Korimat et Elessi (1906-1907). Installations semblables établies res-

pectivement à 80 kilomètres et 40 kilomètres au sud du Caire pour l'irrigation de la rive orientale du Nil concédée à la province de Gizeh.

Chaque installation comporte 4 corps de pompes dont 2 ne travaillent que dans les mois d'hiver et de printemps. Le débit ordinaire est de 4 mètres cubes par seconde ; la hauteur d'élevation varie de 4 mètres à 8 mètres. A l'époque des hautes eaux le débit avec les quatre pompes atteint 8 mètres cubes, la hauteur variant de 1^m,50 à 4 mètres.

Les 4 machines à vapeur tandem ont une force de 320 chvp.

Les 4 pompes aspirent chacune dans un puits. La conduite d'aspiration de 0^m,90 se divise en deux pour déboucher dans les pompes. La conduite de refoulement portée à un diamètre de 1^m,75 débouche au-dessous du niveau le plus bas dans le canal de décharge.

Engineering Record (7 décembre 1907). — *Le nettoyage des rues à Denver (Colorado)*. — Des corbeilles métalliques sont disposées pour recevoir les papiers, pelures de fruits, etc. Elles ont une hauteur de 0^m,91. A l'intérieur de chaque corbeille se trouve un sac. L'enlèvement de ces sacs se fait sans qu'il y ait production de poussière et sans qu'on risque de répandre le contenu : on lie, en effet, la partie supérieure du sac au moyen d'une corde, lorsqu'on remplace le sac plein par un sac vide.

IX. — ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE.

L'Eclairage Electrique (6 juillet 1907). — *Chemin de fer électrique de Bergamo. — Valle Brembana*.

Ce chemin de fer réunit Bergame (247 mètres d'altitude), au village de San-Giovanni-Bianco (400 mètres d'altitude) ; sa longueur est de 30 kilomètres.

Les principales caractéristiques de cette ligne, exécutée par la Société Westinghouse, sont les suivantes :

La station centrale hydro-électrique, située à 1.000 mètres en amont de la gare San-Giovanni-Bianco, produit du courant alternatif simple à 25 p. p. s. et 6.000 volts ; ce courant est distribué aux locomotives au moyen d'une ligne de trolley à 6.000 volts. Sur les locomotives se trouvent des auto-transformateurs qui abaissent la tension de 6.000 à 250 volts, tension d'alimentation des alerno-moteurs monophasés. Le retour de courant se fait par les rails éclissés électriquement.

— (6 juillet 1907). — *Les Tramways Electriques de Buenos-Ayres*.
— Un court article consacré à l'électrification très rapide des tramways

de Buenos-Ayres. L'énergie électrique pour la traction est fournie par une seule Compagnie, la Compagnie Allemana Transatlantica de Electricidad, au moyen de cinq usines génératrices; une sixième usine équipée de turbines à vapeur sera mise prochainement en service et aura une puissance de 100 à 120 mille chevaux.

Les principaux renseignements concernant ces lignes de tramways sont réunis dans un tableau.

- (6 juillet 1907). — *Transporteur électrique des ateliers de Bournemouth.* — Courte description de cet engin, actionné électriquement, en service dans les ateliers de la Bournemouth Gaz and Water Co, destiné à décharger le charbon amené par les bateaux et à le transporter à un convoyeur chargé d'alimenter les soutes qui desservent les cornues.
- (13 juillet 1907). — *L'utilisation des gaz de hauts fourneaux et de fours à coke.* — Résumé très complet d'un mémoire présenté par M. Léon Greiner, à l'Association des Anciens Elèves de l'École de Liège, sur l'économie notable procurée par l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke, dans des moteurs qui sont aujourd'hui perfectionnés dans tous leurs détails et dont le fonctionnement est parfaitement régulier, même pour des puissances supérieures à 3.000 chevaux.
- (13 juillet 1907). — A. SOLIER : *Les nouvelles locomotives triphasées de la Valteline.* — Les principales caractéristiques de ces locomotives sont les suivantes : réalisation de trois vitesses, au lieu de deux des anciennes locomotives; elles sont équipées de deux moteurs simples, l'un à 8 pôles et l'autre à 12 pôles. Ces moteurs sont triphasés pour fonctionner à la haute tension de 3.000 volts et 25 p. p. s. Chaque moteur fonctionnant seul permet d'obtenir une vitesse donnée; les deux moteurs en cascade donnent une troisième vitesse, inférieure aux deux autres. L'article est accompagné de plusieurs dessins.
- (20 juillet 1907) — Maurice MARFAING : *Installations hydrauliques souterraines de la Snoqualmie.* — La rivière de Snoqualmie tombe d'une falaise, à peu de distance de son embouchure, par une chute de 82 mètres. Pour utiliser cette chute la Seattle and Tacoma Power Co fit creuser à 100 mètres environ en amont de la chute un puits vertical de 80 mètres. Au pied de ce puits s'ouvre une grotte, taillée dans le basalt, de 12^m,50 × 61 mètres dans laquelle est installée la salle des machines hydro-électriques; un tunnel presque horizontal de 140 mètres × 3^m,60 × 9^m,20 aboutit en aval de la chute. Le

tunnel et la salle des machines sont éclairés par 600 lampes à incandescence. Le séjour n'y est pas malsain ; la salle des machines est sèche et bien ventilée, et la température y reste constante aux environs de 13°. La hauteur de chute utilisée est de 77 mètres, et la puissance effective, de 30.000 chevaux répartis entre six groupes dont quatre de 2.500 chevaux chacun, formés de roues Abner Doble et alternateurs triphasés Westinghouse, et deux de 10.000 chevaux chacun formés de turbines Francis et alternateurs triphasés. La tension de production de courant est élevée de 1.000 volts à 30.000 volts au moyen de transformateurs, puis l'énergie est distribuée par câbles en aluminium sur un circuit de 300 kilomètres qui comprend les villes de Seattle et de Tocomá. L'article illustré de nombreux dessins et photographies donne des descriptions détaillées des moteurs et de leur régulation.

— (20 juillet 1907). — *Statistique des voies électriques en Hongrie.*

— Un tableau contenant la longueur des lignes de traction électrique et leur puissance, le nombre de voyageurs et des marchandises transportés, et le nombre de trains.

— (27 juillet 1907). — Sous le titre commun de *Traction*, ce numéro publie les intéressants articles suivants: *Les nouveaux tramways électriques de Cadix*, *La ligne de tramway de Gerardmer à Retournemer*, *La Schlucht*, *Le Honeck*.

Les roulements à billes sur les voitures de chemins de fer.

— (27 juillet et 3 août 1907). — *L'emploi des appareils de levage électriques dans les chantiers de constructions navales.* — L'installation de Riva, près de Gênes comprend trois cales pour bateaux pouvant atteindre 90 mètres de long, ces cales sont desservies par deux rangées de trois grues tournantes électriques dont chacune peut lever 11,5 tonnes environ à la vitesse de 25 centimètres par seconde. Chacune de ces grues est desservie par trois dynamos à 110 volts, l'une de 8,3 chevaux pour la levée, l'autre de 2,1 chevaux pour la translation sur le bras de la grue, et la troisième de 3,2 chevaux pour la rotation à la vitesse de 2 mètres par seconde au bout du bras. Cette disposition est très économique et simple ; les grues n'ont coûté que 108.000 francs et procurent, avec un amortissement de 16 p. 100, un bénéfice de 4.000 francs environ. Cet article est complété par une intéressante étude comparative de la valeur économique des grues et des cabestans électriques, hydrauliques ou à vapeur faite récemment par M. Vincent L. Raden.

— (27 juillet et 3 août 1907). — E. GAISSET : *Les réseaux électriques de la Société Méridionale de Transport de force.* — Cette Société exploite dans les départements de l'Aude, de l'Hérault et des Pyrénées-Orientales un réseau à courants triphasés 50 p. p. s. et dans les villes de Carcassonne et Narbonne, des réseaux à courant continu à trois fils à la tension de 220 volts entre les fils extrêmes. Le réseau alternatif comprend un double feeder à 20.000 volts de 65 kilomètres de longueur et trois lignes à 17.000 sur lesquelles sont prises les dérivations avec abaissement de tension à 5.000 volts et d'une longueur totale de 600 kilomètres environ.

Ces ramifications à 5.000 volts desservent environ 150 communes. L'énergie électrique est utilisée pour l'éclairage et la force motrice. Description, nombreux dessins et photographies.

— (3 et 10 août 1907). — *Usines hydro-électrique des chutes de la Catawba.*

— (10 août 1907). — J. REYVAL : *Chemin de fer funiculaire de Lyon-Croix-Paquet à Lyon-Croix-Rousse.* — Electrification de cette installation commandée à l'origine par des machines à vapeur. Description de la transformation de la machinerie pour la commande électrique, de l'installation électrique et des dispositifs de sécurité et discussion économique. Photographies et dessins.

— (10 août 1907). — C. RENSCHAW : *Perfectionnements récents dans les moteurs de traction et leur réglage.*

— (17, 24 et 31 août 1907). — *Comparaison entre les grues hydrauliques et les grues électriques.* — Reproduction d'une intéressante étude sur les grues hydrauliques et les grues électriques publiée, dans le *Génie civil*, par M. R. Casquet. L'auteur étudie successivement le fonctionnement du système hydraulique et du système électrique, et les compare ensuite dans leurs applications pour les grues de quais maritimes.

— (17 août 1907). — A.-H. ARMSTRONG : *Sur la production de l'énergie électrique sous forme de courants triphasés ou de courant monophasé pour la traction à courant monophasé.* — Dans les installations de traction électrique par courant alternatif simple, la question se pose de savoir s'il est avantageux de produire l'énergie électrique sous forme de courants triphasés ou sous forme de courant alternatif simple. L'auteur examine les différentes méthodes de distribution.

auxquelles on peut avoir recours et arrive à cette conclusion, que le choix des appareils générateurs semble dépendre uniquement de questions commerciales: au point de vue purement technique de la charge dûe au service de traction seul, le système de génération et de transmission à courant alternatif simple est à recommander. Parmi les autres combinaisons celle qui assure le plus de sécurité pour le réseau générateur triphasé est la combinaison avec groupes moteurs-générateurs convertissant les courants triphasés d'une fréquence quelconque en courant alternatif simple d'une autre fréquence.

— (17 août 1907). — G. H. HILL : *Perfectionnements récents dans les équipements électriques pour traction (moteurs et appareils de réglage)*. — D'après l'auteur, les perfectionnements réalisés dans l'établissement des moteurs de traction peuvent être classés de la façon suivante : isolement des bobines inductrices, graissage des paliers, solidité de l'arbre et des engrenages, établissement des engrenages et commutation.

L'auteur examine en détail chacune de ces questions.

— (31 août 1907). — *Chemin de fer électrique monophasé de Visalia à Lemou Cove*. — Le système adopté est la combinaison de la génération triphasée avec l'alimentation en courant alternatif simple. Une sous-station principale convertira au moyen de groupes moteurs-générateurs le courant triphasé à 17.500 volts et 60 p. p. s. en courant alternatif simple de 11.000 volts et à la très basse fréquence de 15 p. p. s. Ce courant sera transmis à trois sous-stations de transformateurs-réducteurs abaissant la tension de 11.000 à 3.300 volts, tension d'alimentation du fil de trolley.

— (7 septembre 1907). — *Les trains électriques sur le chemin de fer de New-York, New-Haven et Hartford*.

— (7 septembre 1907). — O. ALLEN : *L'Electrification d'une ligne du Great Western Railway*. — Il s'agit de la ligne du Hammersmith and City Railway. L'énergie électrique est produite sous forme de courants triphasés à 50 p. p. s. et à 6.600 volts, tension de transmission. Dans les sous-stations, l'énergie est transformée par des groupes moteurs-générateurs en courant continu à 600 volts. Description de l'installation et photographies.

— (21 septembre 1907). — L. GERMAIN : *Les wagons-grues*. — Dans les installations de voies ferrées nouvelles, il devient indispensable

de disposer d'appareils de levage appropriés à ce service. L'auteur décrit, dans un court article illustré de dessins et de photographies, la grue montée sur wagon destiné au transport des matériaux sur les voies du Schenectady Railway C^o aux Etats-Unis, le wagon de l'International C^o pour le service des lourdes pièces de la voie après les accidents et le wagon-grue, analogue aux précédents, construit par la Mc. Guire Cummings Mfg C^o de Chicago.

— (10 septembre 1907.) — *La grue électrique de 120 tonnes de l'arsenal de Sidi-Abdallah, à Bizerte.* — Photographies, dessins et description de cette grue installée par les soins de la Compagnie de Five-Lille sur les quais de l'arsenal de Sidi-Abdallah. Cet engin ne pèse pas moins de 550.000 kilogrammes et peut lever, au moyen d'un treuil principal, une charge de 120 tonnes à 30 mètres au-dessus du quai, cette charge étant elle-même à 20 mètres de l'axe de rotation et la vitesse d'élévation étant de 0^m,6 par minute (cette vitesse s'élève à 1^m,2 par minute pour des charges de 30 tonnes).

Un deuxième treuil sert à manutentionner à grande allure des charges allant jusqu'à 20 tonnes, avec des vitesses d'élévation de 3^m,6 à la minute, ou avec des vitesses d'élévation de 6^m,75 des charges inférieures à 5 tonnes. Toutes les manœuvres s'effectuent électriquement au moyen de moteurs alimentés sous 240 volts.

— (10 septembre 1907). — *Installation d'extraction électrique de Ligny-les-Aire (Pas-de-Calais).* — Description, illustrée de dessins, d'une installation électrique, montée par la Société Lahmeyer, destinée à l'extraction électrique de la fosse II de la Compagnie des Mines de houille de Ligny-les-Aire.

— (10 et 25 septembre). — O. H. WILDT : *Les usines génératrices modernes et la surchauffe.* — L'auteur énumère les procédés employés dans les stations centrales modernes pour réduire au minimum les dépenses de production de l'énergie électrique et examine d'une manière assez complète l'influence de la surchauffe de la vapeur sur la production économique de cette énergie.

XII. — DIVERS

Zeitschrift des oesterr. Ingenieur- und Architektenvereines (28 février). — FELDHAUS : *Les origines du nom*

d'ingénieur. — L'auteur cite d'abord les formes les plus anciennes du mot rencontrées chez les auteurs du Moyen-âge, et qui correspondent à l'acception d'ingénieur militaire.

1196 *encignerius* : Alamannus de Gutelmus (Annales Placentini Guelfi).

— 1238 *inzeagnerius* : Calamandrinus (Annales Placentini Guelfi).

1248 *engingnure* : Joinville (Vie de saint Louis, Jocelin de Connaut).

1276 *engeynnyre* : Anelier (Guerre de Navarre).

Dans la chanson des Saxons (XII^e siècle), on remarque les vers :

« Il fait creuser sous terre à pic et à martel,
« À ses *angigneors* dont ot pris maint chastel. »

La forme française « Ingénieur » se rencontre pour la première fois en allemand dans un document des Archives de l'Etat, à Berlin, du 8 août 1651 : Règlement sur les qualités d'un Contrôleur ou d'un Inspecteur en chef des Fortifications et de l'Artillerie.

Le titre *Ober-Ingénieur* (Ingénieur en chef) ou *General-Ingénieur*, d'abord purement militaire, se rencontre dans un ouvrage du major Grubern de 1697 (*La Discipline actuelle de guerre*, Augsbourg).

La séparation de l'Ingénieur civil et de l'Ingénieur militaire fut réalisée en Prusse par une ordonnance de Frédéric-Guillaume I^{er} datée de Postdam, 21 mars 1719.

L'expression toute moderne Génie, corps du Génie, apparaît pour la première fois dans le Dictionnaire militaire de Lachesnaie, ex-capucin, ouvrage édité à Lausanne en 1742.

M. Feldhaus voit l'étymologie du mot Ingénieur dans le latin *gigno*, au lieu de *ingenium* (it. *ingegno*), indiqué par Littré et qui a donné certainement le français « engin », resté dans le terme anglais *engineer* et dont le sens primitif est : adresse, ruse, industrie.

Chez les anciens, l'ingénieur s'appelait *machinator* ou encore *curator viarum pontiumque*. (Inscr.)

Engineer (26 novembre et 6 décembre 1907). — *L'exposition franco-britannique.* — Cette exposition doit être ouverte en mai 1908, et occupera une surface de 57 hectares. La construction des charpentes métalliques est déjà très avancée, et donne lieu à une étude très intéressante.

En particulier, la Galerie des Machines couvre une surface de plus de deux hectares et demi. Elle présente en plan la forme d'un U. Chacune des galeries latérales a une longueur de 201^m,37 et une largeur de 39^m,62 ; la galerie transversale a une longueur de 92^m,05 et une

largeur de 94^m,49. Les galeries latérales sont divisées toutes les deux en trois nefs : celle du milieu a une largeur de 15^m,24 ; et les deux autres, une largeur de 12^m,19.

La galerie de l'Agriculture a une longueur de 130 mètres et une largeur de 39^m,62.

L'ouvrage le plus remarquable est le Stadium, au centre duquel auront lieu les jeux olympiques. La forme en plan est celle d'un rectangle terminé à chaque extrémité par un demi-cercle. Les dimensions extérieures sont : longueur 304^m,79 ; largeur 181^m,04. La bande réservée au public a une largeur de 22^m,86 : le Stadium pourra contenir 75.000 personnes. Sa couverture est constituée par une ferme de 18^m,80 de portée avec un encorbellement de 5^m,45. Pour le montage, on s'est servi d'une grue pivotante de 21^m,34 de rayon.

Engineering News (19 décembre 1907). — *Déplacement d'un hangar au moyen de grues flottantes.* — Ce hangar a une largeur de 6^m,10, une longueur de 23^m,77 et une hauteur de 13^m,72 : il se trouve sur un des môles de la Rivière Nord, à New-York.

Le déplacement a été effectué à une distance de 46 mètres.

Les grues flottantes ont été amenées de chaque côté du môle, et des chaînes ont été fixées au hangar : celui-ci fut élevé à une hauteur d'environ 3 mètres au-dessus de la plateforme du môle ; puis les chalands se déplacèrent de manière à amener le hangar dans sa nouvelle position.

La durée totale de l'opération a été d'une journée. Il n'a fallu que 15 minutes pour le déplacement lui-même.

Le bâtiment n'a aucunement souffert.

Engineering Record (23 novembre 1907). — *Démolition d'une cheminée en briques.* — Cette cheminée faisait partie du service des eaux de Saint-Louis et avait une hauteur de 38^m,82.

On pratiqua dans la base 4 ouvertures d'environ 0^m,91 de largeur sur 0^m,61 de hauteur ; puis on perça 19 trous de 38 millimètres dans les piliers restant, avec des profondeurs variant de 0^m,30 à 0^m,61 ; on chargea chacun de ceux-ci avec des cartouches de dynamite.

Le prix total de l'opération a été de 485 francs.



N° 14

Liste des Ouvrages reçus
à la **Bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées**
du 1^{er} août 1907 au 1^{er} janvier 1908.

30.100. **Quinette de Rochemont** et **G. de Joly**. — Les ports maritimes d'Italie Paris, Beinard, 1906, 1 broch. in-8°. (Ext. des *Annales des Ponts et Chaussées*, 2^e trim. 1906.)

30.101. **Emperger (F. von)**, **Nowak (A.)** et **Otto Schulze (F. W)**. — Handbuch für Eisenbetonbau. Dritter Band. Bauausführungen aus dem Ingenieurwesen. 1 Teil. Grund- und Mauerwerksbau : Wasserbau (Anfang). (Manuel du Béton armé : Fondations ; muraillements ; travaux hydrauliques) Berlin, 1907, 1 vol. gr. in-8°.

30.102. **Carvalho (A. Luciano de)**. — Candido Xavier Cordeiro; elogio historico. Lisbonne, 1907, 1 broch. in-8°.

30.103. **Köttgen (.C)**. — Le système américain de halage Wood et le système de tracteur à deux rails (Deuxième réplique). Berlin, 1907, 1 broch. in-4°.

30.104. **Bloch (Erich)**. — Ergebnisse eines Betriebsversuches an einer elektrischen Schlepplokomotive beim Teltowkanal. (Essai de traction des bateaux par locomotive électrique sur le canal de Teltow.) Berlin, 1907, 1 broch. in-4°.

30.105. **Frazer (Persifor)**. — A manual of the study of documents to establish the individual character of Handwriting and to detect fraud and forgery including several new methods of research. (Manuel de graphologie et d'expertise en écritures.) Philadelphie, 1894, 1 vol. in-8°.

36.107. **Nicolàu (D José)** et **Puig de la Bellacasa (D. Narciso)**. — Las obras de riego en Egipto. (Irrigations en Egypte.) Madrid, 1905, 1 broch, in-8°.

30.108. **Carrara (Giacomo)**. — Elettrochimica delle soluzioni non acquose. Rome, 1906, 1 broch. in-4°.

30.109. **Dejean (André)**. — La crise des transports et le matériel roulant des chemins de fer. Paris, 1907, 1 broch, in-8°. (Ext. de la *Revue politique et parlementaire*, mars 1907.)

30.110. **Huygen (F. C.)**. — Over de Exhaust-Werking bij Locomotiven. (Sur la question de l'échappement et du tirage dans les locomotives.) Rotterdam, 1907, 1 vol. in-8° et annexes.

30.111. **Pavie (Auguste)**. — Mission Pavie. Indo-Chine. 1879-1895. — Géographie et voyages. — II. Exposé des travaux de la mission. 3^e et 4^e périodes, de 1889 à 1895. Paris, Leroux, 1906, 1 vol. in-4°.

30.112. **Henry (Yves)**. — Le coton dans l'Afrique occidentale française. (Notice publiée par le Gouvernement général de l'Afrique occidentale française, à l'occasion de l'Exposition de Marseille.) Paris, Challamel, 1906, 1 vol. in-8°.

30.113. Le Haut-Sénégal et Niger. (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

30.114. Le Dahomey. (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol in-8°.

30.115. **Rouget (Fernand)**. — La Guinée. (Notice publiée ..) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

30.116. Les Postes et Télégraphes en Afrique occidentale française. (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

30.117. Service médical au Haut-Sénégal et Niger. (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

30.118. Service météorologique dans l'Afrique occidentale française. (Notice publiée...) Paris, Larose, 1906, vol. in-8°.

30.119. **Henry (Yves)**. — Le Caoutchouc dans l'Afrique occidentale française. (Notice publiée...) Paris, Challamel, 1906, 1 vol. in-8°.

30.120 **François (Georges)**. — L'Afrique occidentale française. (Notice publiée...) Paris, Larose, 1906, 1 vol. in-8°.

30.121. La Côte d'Ivoire. (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

20 122. **Lemé (René)**. L'Enseignement en Afrique occidentale française (Notice publiée...) Imp. Crété, 1906, 1 vol. in-8°.

30 123. **Savariou (N.)**. — L'Agriculture au Dahomey. (Notice publiée...) Paris, Challamel, 1906, 1 vol. in-8°.

30.124. **Pierre (C.)**. — L'Élevage dans l'Afrique occidentale française. (Notice publiée ..) Paris. Challamel, 1906, 1 vol. in-8°.

30.125. Chemins de fer en Afrique occidentale française.

Tome I. — Dakar à Saint-Louis. — Thiès à Kayes.

— II. — Haut-Sénégal. — De Kayes au Niger.

— III. — Guinée. — Côte d'Ivoire. — Dahomey.

(Notices publiées...) Imp. Crété, 1906, 3 vol. in-8°.

30.207 Statistique des chemins de fer suisses pour l'année 1905 (vol. 33). Berne, 1907, 1 vol, in-folio.

30.208. **Pocard-Kerviler (René)**. — Notice sur le port de Saint-Nazaire, refondue et mise à jour par Mallat et Le Trocquer. Imprimerie Nationale, 1906, 1 broch. gr. in-8°.

30.209. Congrès international des accidents du travail et des assurances sociales. (7^e session tenue à Vienne du 17 au 23 septembre 1905.) Vienne, 1906, 2 vol. in-8°.

30.210. **Dumas et Sergent (E.)**. — Table donnant au moyen d'abscisses et d'ordonnées les développements d'arcs elliptiques quelconques et aussi d'arcs de cercle. Paris, V^e Fournier et Lemoine, 1877. 1 broch. in-8°.

30.211. **Haton de la Goupillière**. — Cours d'exploitation des mines. (3^e édition, revue et corrigée, par Jean Bès de Berc.) Tome II. Paris, Dunod et Pinat, 1907, 1 vol. in-8°.

30.213. **Lambert (Henri)**. — Monographies des grands réseaux des chemins de fer français. — Réseau de l'Est. — Précis historique, statistique et financier. Paris, Dunod et Pinat, 1907, 1 vol. in-8°.

30.214 **Talbot (Arthur N.)**. — Tests of concrete and reinforced concrete columns. Series of 1906. (Essais de résistance de colonnes en béton et en béton armé.) (*University of Illinois Bulletin*, February 1, 1907). Urbana, 1 broch. in-8°.

30.216. **Cayeux (L.)**. — Etudes des gîtes minéraux de la France — Structure et origine des grès du tertiaire parisien, Paris, Imprimerie Nationale, 1906, 1 broch. in-4°.

30.217. **Gosselet (J.)**. — Etudes des gîtes minéraux de la France. — Les assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du nord de la France, Fascicule II : Région de Lille. Paris, Imprimerie Nationale, 1905, 1 fasc. in-4°.

30.218. **Zeiller (R.)**. — Etudes des gîtes minéraux de la France. — Bassin houiller et permien de Blanzay et du Creusot. Fascicule : Flore fossile, Paris, Imprimerie Nationale, texte et atlas, 2 fasc. in-4°.

30 219. Royaume de Belgique. — Chemins de fer vicinaux. Année 1906. Rapport. Bruxelles, 1907, 1 fasc. petit in-folio.

30 220. Amsterdam, See-und freier Rheinhafen (Port d'Amsterdam), 1898, 1 fasc. in-folio.

30.221. **Royers (G.) et Dewinter (Fr.)**. — Ville d'Anvers. — Travaux maritimes. Extension des bassins. Anvers, 1903, 1 fasc. in-folio de planches.

30.222. Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten, 1906. (Procès-verbaux des séances de l'Association des Fabricants allemands de ciment de Portland.) Berlin, 1906, 1 broch. in-8°.

30.223. **Salomon**. — École spéciale de Travaux publics. — Cours de moteurs à explosion et d'automobiles. Livre I : Généralités, Moteurs. Paris, 1907, vol. in-4° autogr.

30.224. **Espitalier**. — École spéciale de Travaux publics. — Le Béton armé. — Compléments et applications. Paris, 1907, 1 vol. in-4° autogr.

30.225. École spéciale de Travaux publics. — Cours de dessin industriel. Paris, 1906, 1 vol. in-4° autogr.

30.227. **Talbot (Arthur-N.)**. — Tests of reinforced concrete T — beams. Série of 1906 (Essais de poutres en béton armé.) (*University of Illinois Bulletin*, February 1, 1907). Urbana, 1 broch. in-8°.

30,228. I — Betankande afgifvet den 17 mars 1903 af den for Utredning beträffande Vissa Staten Tillhöriga Vattenfall af Kungl. Maj. : T den Juni 1899, Tillsatta Kommitté. — II et III. — Forteckning ofver Statens Vattenfall enligt Vattenfallskommitténs Utredning ar 1903 (Inventaire des chutes d'eau en Suède). Stockholm, 1903, 2 vol. in-4°.

30.231. **Poincaré (Lucien)**. — L'électricité. Paris, Flammarion, 1907, 1 vol. in 18.

30.232. **Lichtenberger (Henri)** — L'Allemagne moderne : son évolution. Paris, Flammarion, 1907, 1 vol. in-18.

30.234. **Duhem (Pierre)**. — Recherches sur l'élasticité. Paris, Gauthier-Villars, 1906, 1 vol. in-4°.

30.235. **Schmoller (Gustav)**. — Principes d'Économie politique. 2^e partie. Tome IV. (Traduit de l'allemand par Léon Polack). Paris, Girard et Brière, 1907, 1 vol. in-8°.

30.236. **Jüptner (Hans Baron von)**. — Éléments de Sidérologie. 3^e partie. (Traduit de l'allemand par E. Poncelet et A. Delmer). Paris, Béranger, 1907, 1 vol. in-8°.

30.237. **Denis (Hector)**. — Histoire des systèmes économiques et socialistes. Vol. II. Paris, Girard et Brière, 1907, 1 vol. in-8°.

30.238. **Vierendeel (A.)**. — Cours de stabilité des constructions. T. 6 Paris, Dunod et Pinat, 1907, 1 vol. in-8°.

30.239. **Handbuch der Ingenieurwissenschaften**. — Funfter Teil : Der Eisenbahnbau. Vierter Band : Anordnung der Bahnhöfe, von A. Goering und M. Oder. (Aménagement des gares.) Leipzig, Engelmann, 1907, 1 vol. in-8°.

30.240. **Rougé**. — École d'application du Génie maritime. Cours de construction du navire (1904-1905). Paris, 1906, 2 vol. in-4° autogr.

30.241. Observatoire de Paris. — Catalogue photographique du Ciel. — Coordonnées rectilignes. Tome II. Paris, Gauthier-Villars, 1907, 1 vol. in-4°.

30.242. Ministère des Travaux publics. — X^e Congrès international de Navigation tenu à Milan en 1905. — Rapports des délégués français sur les travaux du Congrès. (Extr. des *Annales des Ponts et Chaussées*, 1906, 4^e trim. et 1907, 1^{er} trim.) Paris, Bernard, 1907, 1 broch. in-8°.

30.243. Ministère du Travail et de la Prévoyance sociale. — Album graphique de la statistique générale de la France. — Résultats statistiques du recensement de 1901. Paris, Imprimerie Nationale, 1907, 1 vol. in-8°.

30.244. **Kersten (C.)**. — Bruken in Eisenbeton. Ein Leitfaden für Schule und Praxis. Teil 1 : Platten und Balkenbrücken. (Ponts en béton armé.) Berlin, Ernst et Sohn, 1907. 1 broch. in-8°.

30.245. **Simin (O.)**. — Water hammer. — With special reference to the researches of Professor N. Joukowski. (Le coup de bélier.) Saint-Louis, 1904, 1 broch. in-8°.

30.246. **Joukowski (N.)**. — Ueber den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren. (Le coup de bélier.) Saint-Petersbourg, 1900, 1 broch. in-4°.

30.247. Rapport annuel au Conseil de perfectionnement sur la situation de l'École des Ponts et Chaussées et des services annexes. Session 1906-1907. Paris, 1907, 1 fasc. petit in-folio autogr.

L'Éditeur-Gérant : E. BERNARD

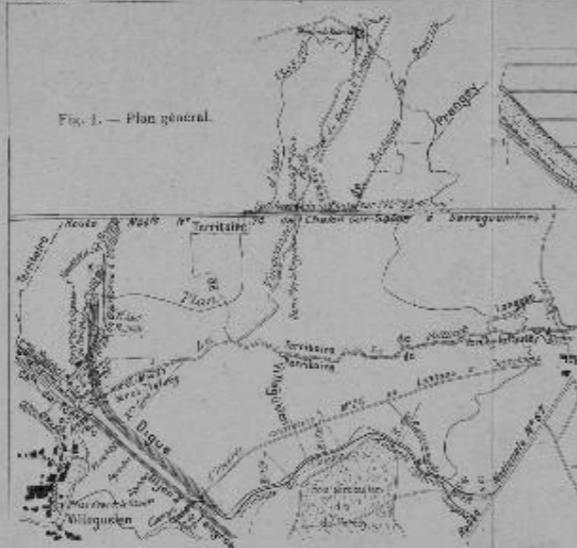


Fig. 1. — Plan général.

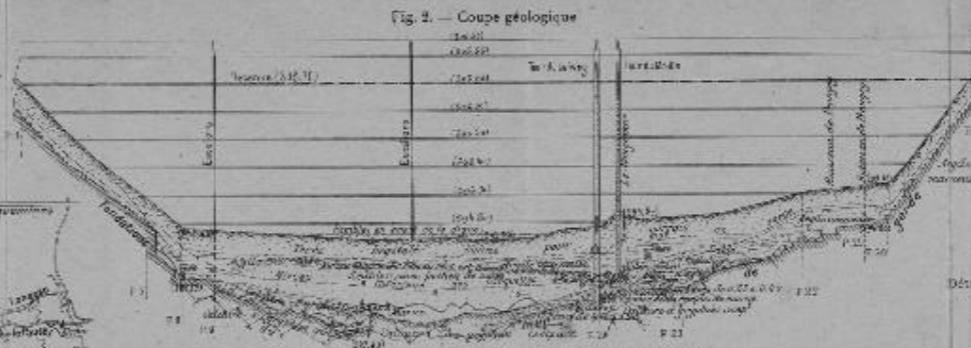


Fig. 2. — Coupe géologique.

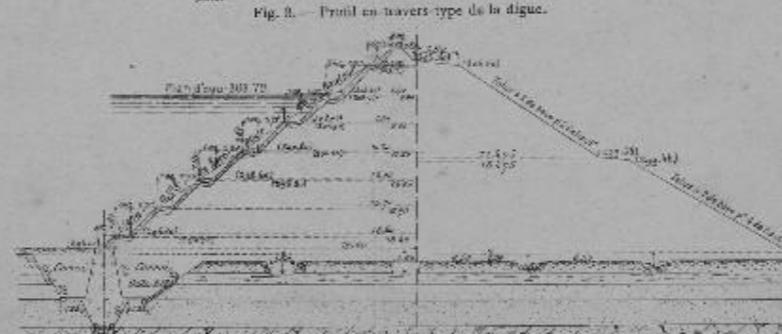


Fig. 3. — Profil en travers type de la digue.

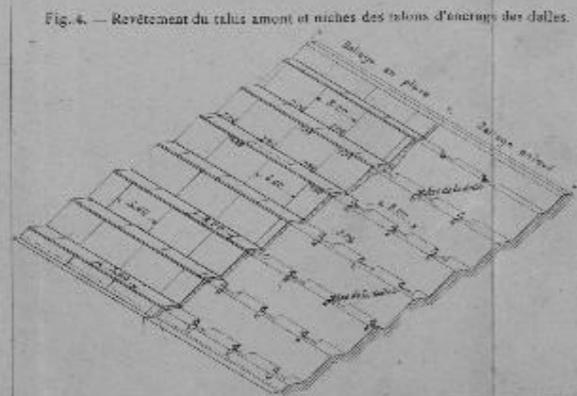


Fig. 4. — Revêtement du talus amont et niches des talons d'ancrage des dalles.

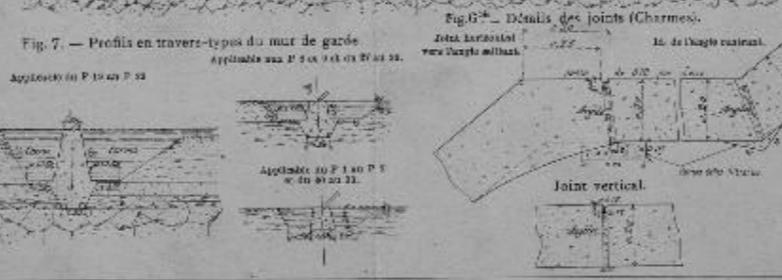


Fig. 5. — Détails des joints (Charmes).

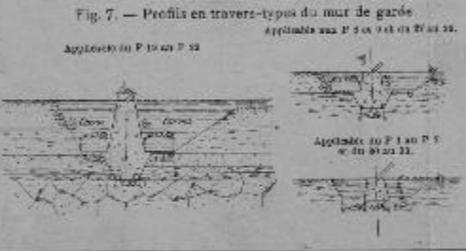


Fig. 6. — Profil en travers-types du mur de garde.

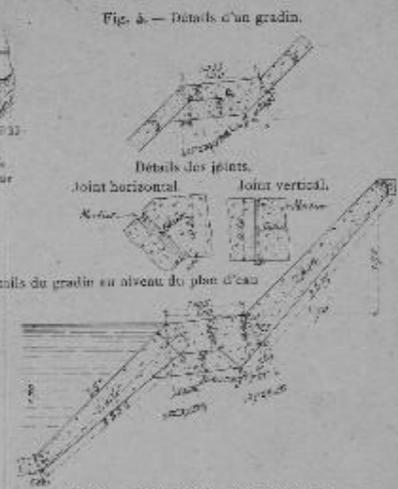


Fig. 7. — Détails d'un gradin.

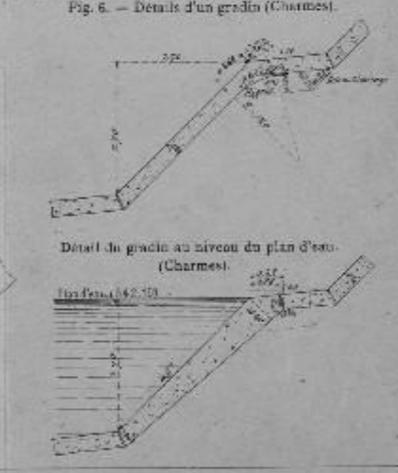
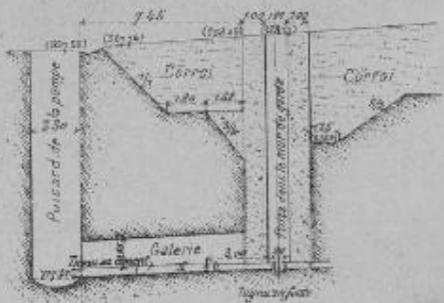


Fig. 8. — Détails d'un gradin (Charmes).

Fig. 1. — Écoulement des eaux du mur de garde vers un puisard de pompe à l'amont.

Coupe par l'axe du puits (Charmes).

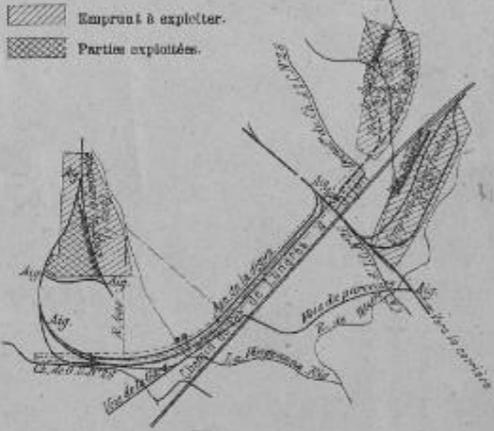


Plan par dessus avant le remplissage.



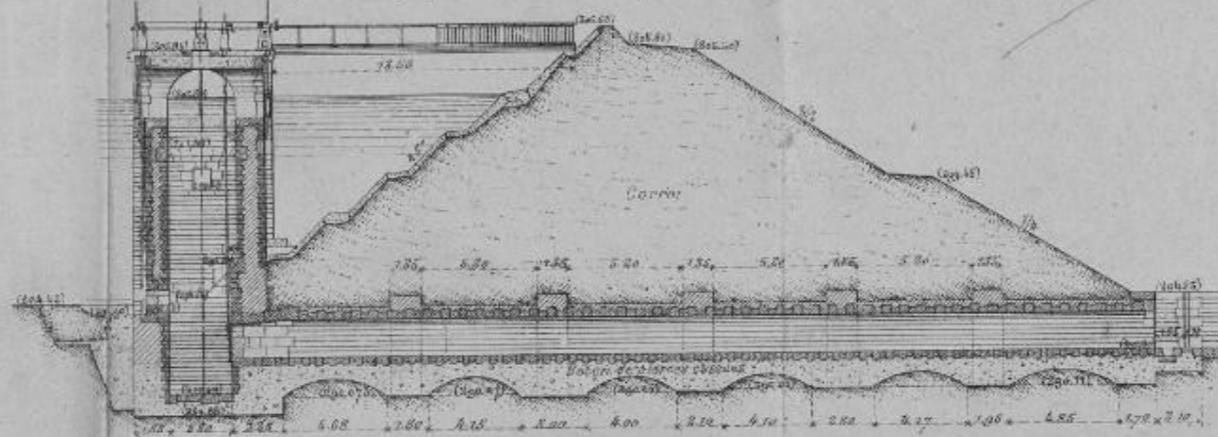
Fig. 2. — Installation des voies de terrassement de la digue.

- Emprunt à exploiter.
- Parties exploitées.



Nota. — Les lignes pointillées représentent des voies installées seulement après l'achèvement des emprunts de la Couchotte et de Sous-Fraiteux.

Fig. 3. — Coupe par l'axe de la tour et par l'axe d'un aqueduc de fuite.



Demi-plan des maçonneries.

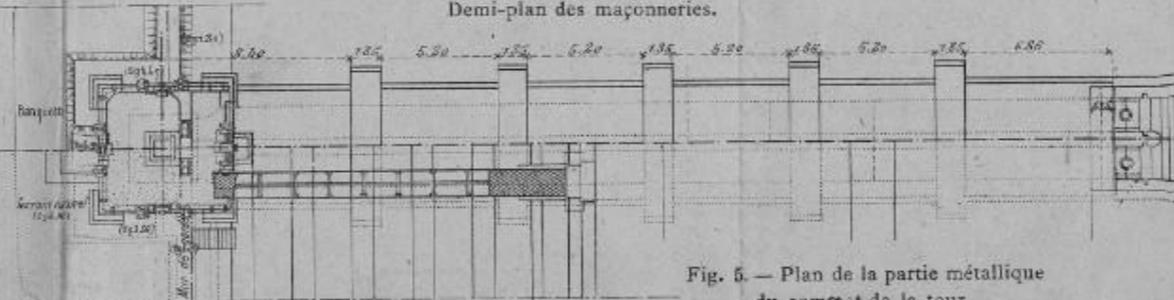


Fig. 4. — Demi-profil en travers de la route nationale 74 à la traversée du réservoir.

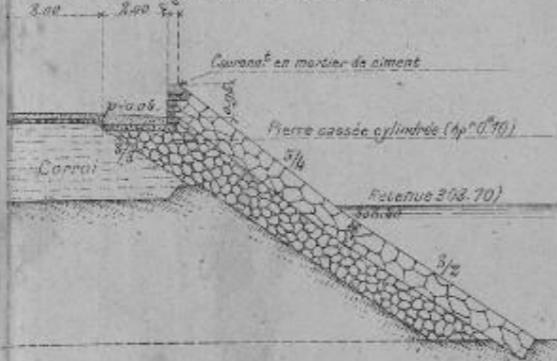


Fig. 5. — Plan de la partie métallique du sommet de la tour.

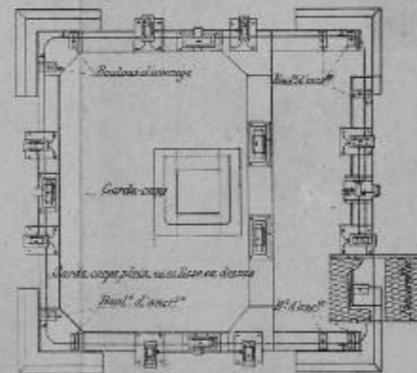


Fig. 6. — Elevation amont de la tour.

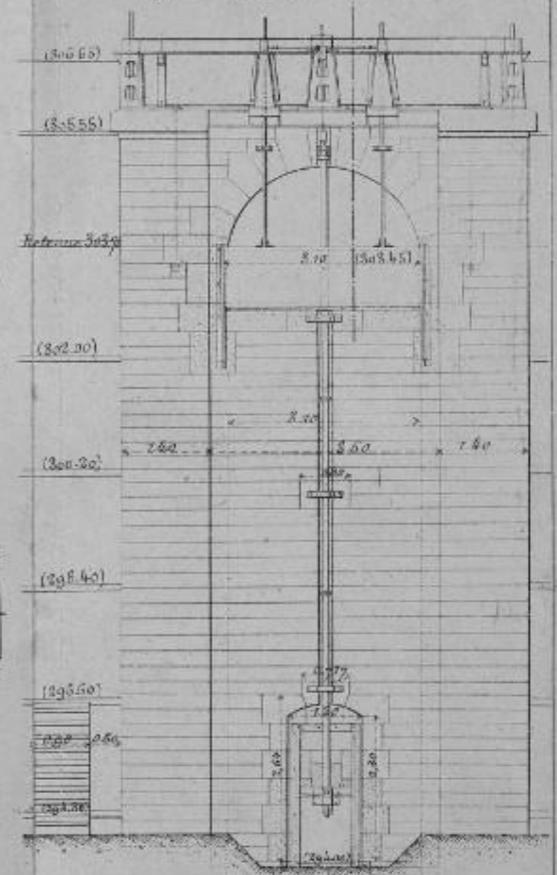
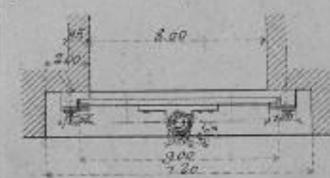


Fig. 7. — Vanne de prise d'eau inférieure.



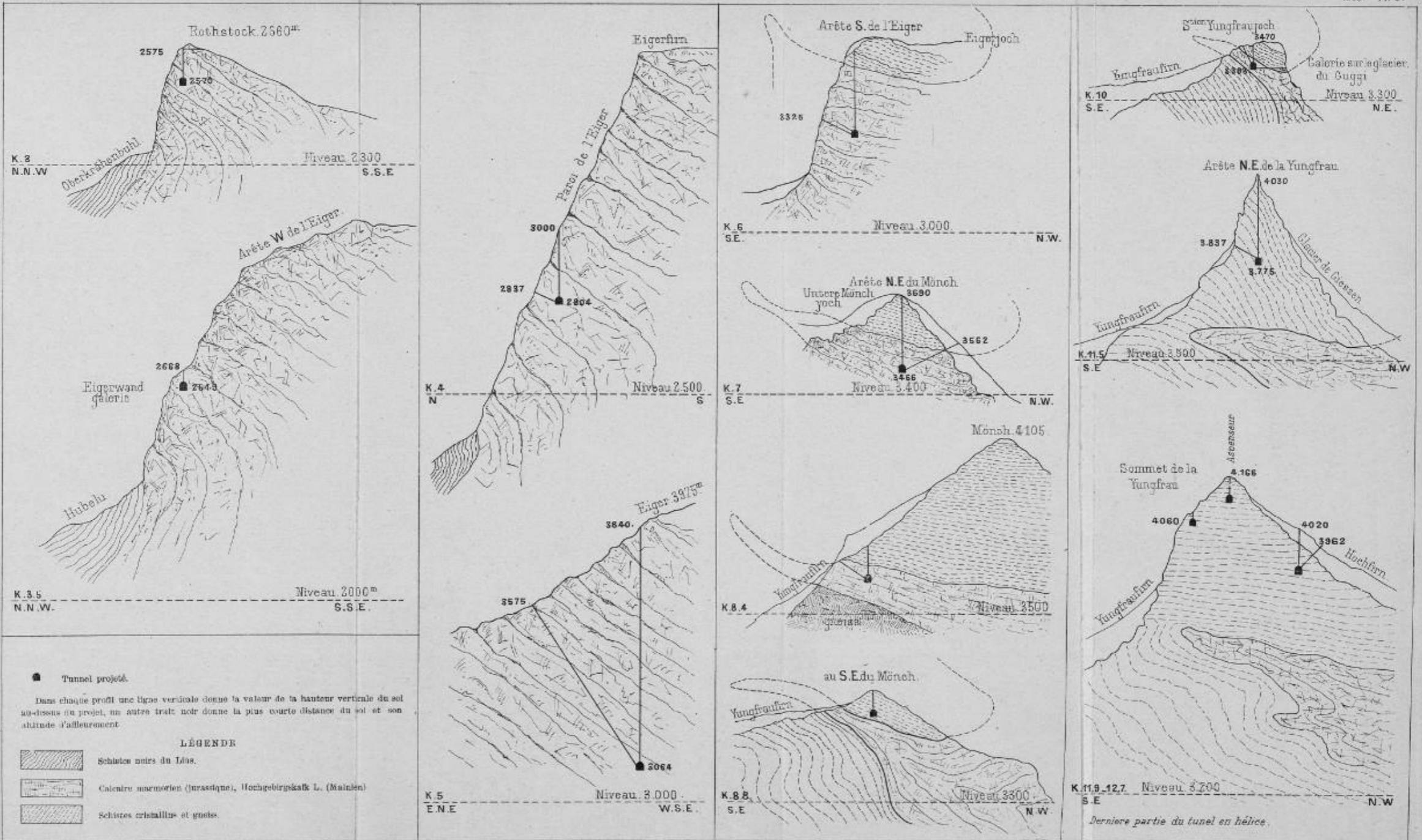


Fig. 1. — Elevation amont.

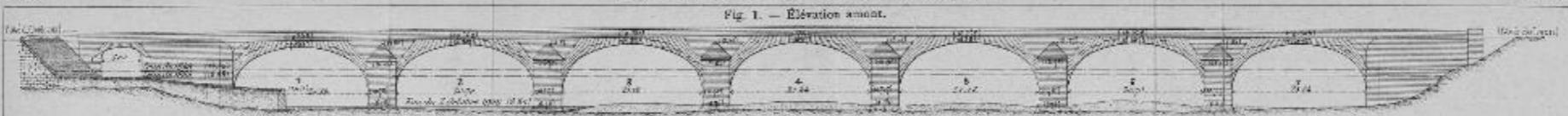


Fig. 2. — Développement de la dalle montrant les fissures.



Fig. 3. — Elevation aval.



Fig. 4. — Diagrammes des déplacements.

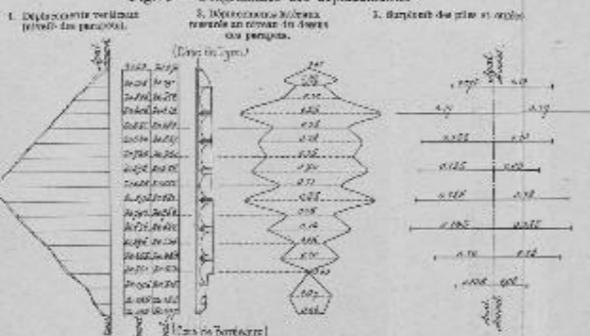


Fig. 5. — État actuel.

Demi-coupe sur l'axe d'une voûte. Demi-coupe sur les reins d'une voûte.

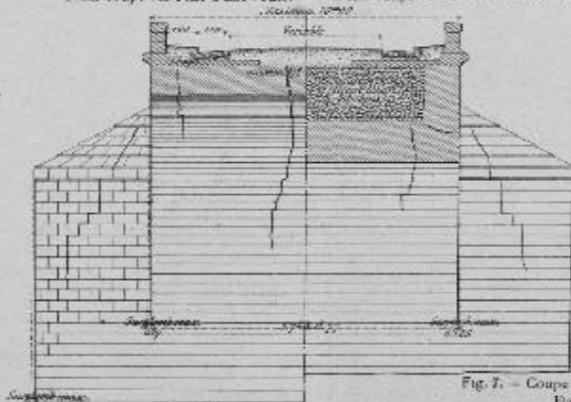


Fig. 6. — Coupe en travers montrant le dispositif d'une gargouille.

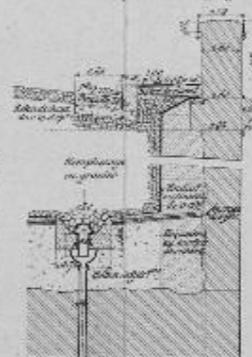


Fig. 7. — Détail des cliques en ciment armé et en asphalté.

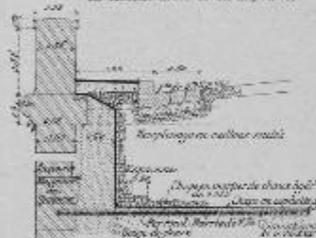


Fig. 8. — Coupe longitudinale de deux demi-voûtes.

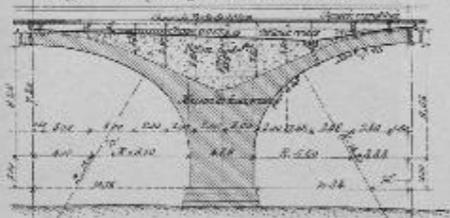


Fig. 9. — Coupe en travers à l'emplacement d'une gargouille. État actuel. État projeté.

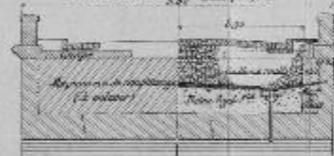


Fig. 10. — Coupe en travers sur la culée. État actuel. État projeté.

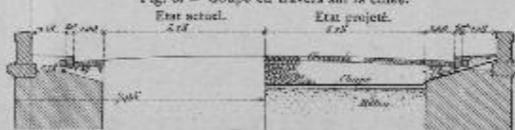


Fig. 11. — Dispositif en plan du treillis dans le ciment armé.

