

cation du cristal. Le gaz, au lieu de s'échapper librement, vient buter sur une sorte de chapeau qui étale circulairement le jet en lui donnant la forme d'un cône renversé.

Enfin, nous devons signaler, à la suite des fours à gaz ci-dessus mentionnés, les appareils plus ou moins récents qui utilisent le pétrole comme combustible. Ce liquide, lorsque sa densité est de 0,85 environ, possède, en effet, un pouvoir calorifique très satisfaisant et, d'après M. Granger, on peut compter que 41 kilogrammes de combustible correspondent à environ 100 kilogrammes de houille de bonne qualité. Les résultats qui ont été obtenus par l'application de ce procédé ont toujours été très satisfaisants et les verres ainsi préparés, de très bonne qualité.

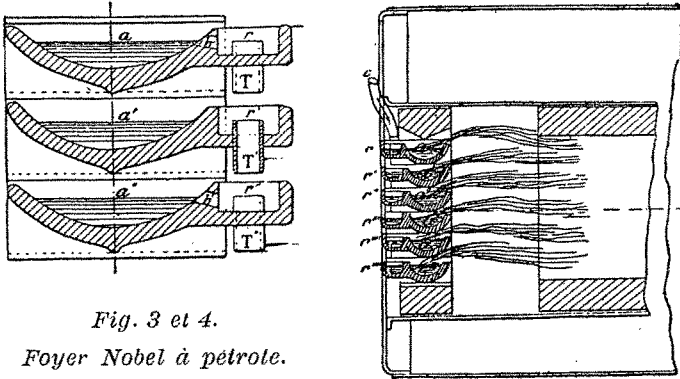


Fig. 3 et 4.

Foyer Nobel à pétrole.

Le foyer Nobel se compose de récipients superposés *r'*, en forme d'auges, fixés dans une ouverture de la paroi du four et renfermant le pétrole *a'*. Un espace assez grand existe entre ces capsules pour la circulation de l'air, et c'est cette série de vases qui est destinée au chauffage du four. Ce dispositif, qui est à la fois simple et pratique, permet de brûler environ 113 kilogrammes de pétrole par heure et par mètre carré de grille. Les fours Kroupsky et Malicheff, employés en Russie, diffèrent un peu de ce dernier par la manière dont s'effectue la combustion du pétrole et par le chauffage de l'appareil, mais le principe reste la même. D'après les renseignements qui nous ont été donnés à ce sujet, la dépense correspondant à la production de 4 000 kilogrammes de verre n'y serait que de 130 tonnes de résidus de pétrole.

(A suivre.)

Jean ESCARD, *Ingénieur Civil*,  
Ancien Elève du Laboratoire Central de la  
Société Internationale des Electriciens.

## ISOLATEURS A HAUTE TENSION (1)

Il y a quatorze ans seulement, la tension de 3 000 volts était considérée comme très élevée. Au commencement, on a employé, pour la haute tension, les isolateurs à cloche, déjà utilisés pour les lignes à basse tension. Comme matériaux, on employait le verre ou la porcelaine, ou les deux à la fois. Les résultats économiques des transports d'énergie à haute tension restèrent douteux jusqu'à ces dernières années. Chaque ingénieur s'occupa de la résolution de ces questions et d'innombrables formes de cloches, de couleurs différentes, avec tiges en bois ou en fer, avec dispositifs d'arrêt du fil, virent le jour. En 1890, des isolateurs en verre à double cloche de 76 mm de diamètre furent très employés et avec succès, en Amérique, pour la tension de 3 000 v. En Europe, on adopta l'isolateur à huile; cette forme devait être employée pour le transport à 10 000 v. de Pomona et San Bernardino en Californie, mais, bientôt, on s'aperçut de l'inutilité de l'huile. C'est alors qu'apparurent les triples cloches de verre ou de porcelaine. On avait employé, en Suisse, en 1895, une tension de 13 000 v. sur la ligne Hochfelden-Oerlikon et, en 1896, en Amérique, la tension de 16 000 v.; on était encouragé par la réussite des essais de

(1) Communication de M. A. Converse au Congrès international d'électricité de Saint-Louis.

Lauffen-Francfort à 3 000 v., en 1891. C'est en 1897 que l'on reconnut que la résistance à la tension disruptive doit résider à la surface vernie de l'isolateur, et non dans sa masse, ce qui conduisit à la forme de plusieurs cloches superposées.

En 1898, le transport d'énergie de Provo, dans l'Utah, à 40 000 v. était déjà en service. L'isolateur employé (fig. 1) portait trois anneaux à la partie supérieure, afin d'augmenter la résistance superficielle. En 1900, les Compagnies de Bay County et de la Standard Electric, employèrent la tension de 60 000 v. et les isolateurs dits en forme de champignon (fig. 2) avaient un diamètre de 305 mm. Une rigole circulaire, adaptée à la cloche plate, faisait déverser de part et d'autre l'eau de pluie sur la traverse portant l'isolateur, tandis que la tige tout entière était protégée par un

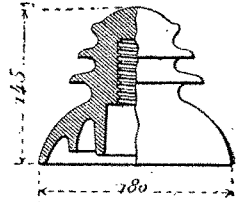


FIG. 1.  
Isolateur de Provo  
à 40 000 volts.

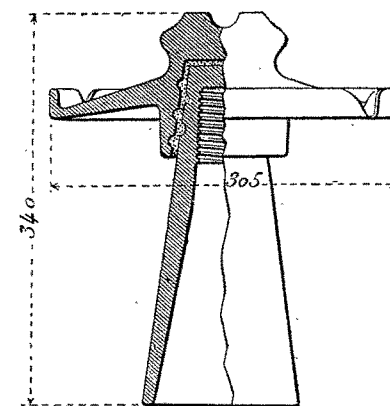


FIG. 2.  
Isolateur de la Bay County Co  
à 60 000 volts.

fourreau de verre. A l'origine, les deux parties étaient reliées au moyen de soufre, plus tard au moyen de ciment.

Beaucoup de types d'isolateurs se comportent très bien au commencement, puis, ensuite, des dérangements interviennent jusqu'à ce que l'on ait éliminé la partie défectueuse. Il y a, en effet, des installations où les isolateurs ne sont abîmés que par suite de circonstances extérieures, et pour lesquelles la question

d'isolateurs à 40 000 volts est parfaitement résolue.

La figure 3 représente un isolateur en deux parties de la Missouri River Power Co, à Montana, pour 55 000 volts employé depuis 1901, la partie inférieure protège la tige en bois.

La Compagnie de Shawinigan Falls emploie, pour une tension de 50 000 volts, l'isolateur représenté sur la figure 4.

La figure 5 représente un isolateur en plusieurs parties employé récemment à Guanajuato (Mexique) pour 60 000 volts. Le diamètre est de 360 mm, et la tige en acier est creuse, les diverses parties sont reliées au moyen de ciment.

Quelques installations, à 50 000 et 60 000 volts, ont adopté la forme représentée figure 6, qui a également un diamètre de 360 mm et pèse 11,5 kg. Certaines Sociétés en ont même exagéré les dimensions.

Les isolateurs ont donc passé d'un diamètre de 76 mm à celui de 360 mm, et d'un poids de 0,5 kg à celui de 11,5 kg, et leur prix d'achat a passé de quelques centimes à quelques francs. Peut-être arrivera-t-on, pour 80 000 v., à 500 mm de diamètre et à un poids de 20 à 25 kg. La tendance à employer de très grandes portées avec des poteaux métalliques

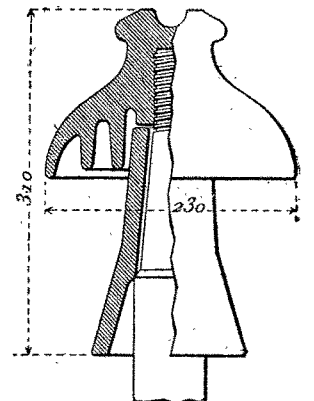


FIG. 3. — Isolateur de la  
Missouri River Power Co  
à 55 000 volts.

amène à employer des isolateurs très grands ayant une énorme résistance mécanique. Emploiera-t-on de nouveaux matériaux, ou l'industrie du verre ou de la porcelaine, relativement nouvelle, se perfectionnera-t-elle ?

Les conditions que doit remplir un isolateur à haute tension sont les suivantes :

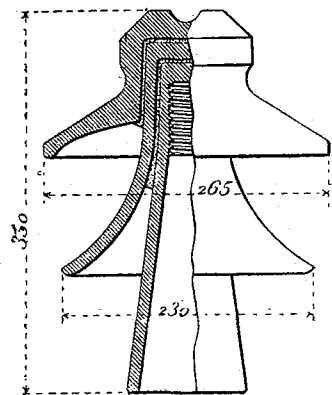


FIG. 4.  
Isolateur de Shawinigan Falls à 50 000 volts.

1° La matière employée doit avoir une grande résistance à la tension disruptive et doit être homogène et compacte ;

2° La résistance à la surface doit être suffisante pour empêcher une déperdition de courant ;

3° La distance du fil à la tige doit être assez grande, pour qu'aucun arc ne se forme, même dans le cas de surtension ;

4° On peut satisfaire aux conditions 2 et 3 par une forme appropriée. La forme ne doit pas conduire à une surface telle que l'humidité, des sels ou de

la poussière, etc., puissent y rester. Pour des conditions climatériques favorables, ce desideratum est facile à remplir, et les isolateurs peuvent avoir de faibles dimensions. En général, on doit employer dans les contrées froides de plus grands isolateurs que dans des contrées chaudes. Sur les côtes du Pacifique les vapeurs salines forcent à employer des isolateurs de formes simples, faciles à nettoyer ;

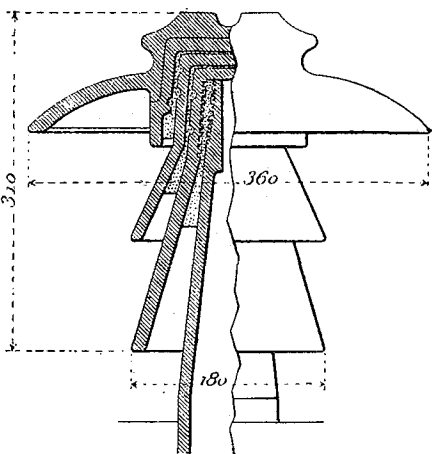


FIG. 5.  
Isolateur de Guanajuato (Mexique) à 60 000 volts.

5° La forme et la matière de l'isolateur ne doivent donner lieu qu'à la capacité électrostatique la plus faible possible ;

6° Les pertes de chaleur dues à la conductibilité et à l'hystérésis électrique doivent être insensibles ;

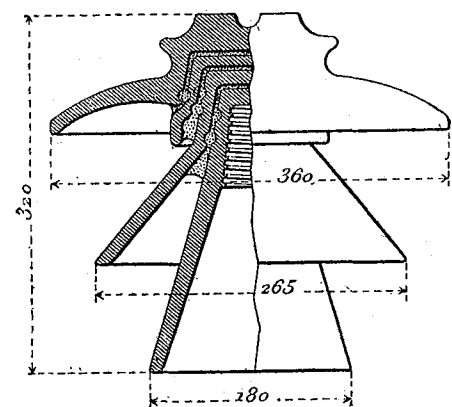


FIG. 6.  
Isolateur pour 60 000 volts.

7° La résistance mécanique doit dépendre des conditions d'installation.

Les isolateurs doivent être essayés de la manière suivante :

1° Les têtes des isolateurs renversés sont placées dans de l'eau acidulée, avec laquelle le trou qui doit recevoir la tige est rempli, de manière que l'on puisse appliquer la tension d'essai. Les

morceaux défectueux se cassent alors avec bruit. Les isolateurs composés de plusieurs parties doivent être

essayés deux fois, les diverses parties en premier lieu, puis l'ensemble ;

2° La mesure quantitative du courant de surface est difficile dans la pratique. Toute dérivation importante est signalée par un dégagement de chaleur et la formation d'un arc ;

3° On choisit un ou deux isolateurs essayés suivant les prescriptions 1 et 2, on y monte les tiges, et on les dispose comme s'ils étaient en service en tendant les fils ;

4° On imite autant que possible les conditions climatériques et, notamment, l'effet de la pluie sous un certain angle avec la verticale.

M. Converse propose l'emploi de l'isolateur représenté figure 7.

La partie supérieure A est vissée à la tige, les parties B et C sont identiques, et la partie D repose sur la traverse.

Dans les gorges e, f, g est disposé un mastic isolant. La hauteur totale est de 580 m/m et le diamètre de 265 m/m.

A l'essai il se forma des arcs entre les points indiqués, aux tensions suivantes :

Isolateur propre et sec : entre A et B, à 144 000 volts ; entre A, B et C, à 186 000 v. ; entre A, B, C et D, à 225 000 volts.

Isolateur sous l'action de la pluie à 45°, représentant une hauteur d'eau de 19 m/m en 5 minutes : entre A et B, à 118 000 v. ; entre A, B et C, à 157 000 v. ; entre A, B, C et D, à 198 000 volts.

Lors de ces essais, aucun mastic n'était placé dans les gorges ; et l'arc ne manifestait aucune tendance à sauter des diverses pièces vers la tige. La haute tension empêche la poussière d'adhérer au verre, ou à la porcelaine, et fait rapidement vaporiser l'eau de pluie. En général, la perte d'énergie est très faible.

Lors de la discussion de cette conférence, M. Scott dit que les dépenses pour les isolateurs sont très faibles par rapport aux autres dépenses. Elles s'élèvent, pour un grand transport américain, de 1 fr. 50 à 2 fr. 40 par kilowatt, de sorte que les intérêts représentent de 5 à 10 centimes, et même une dépense 10 fois plus élevée ne devrait pas entrer en ligne de compte avec les avantages de l'emploi de bons isolateurs.

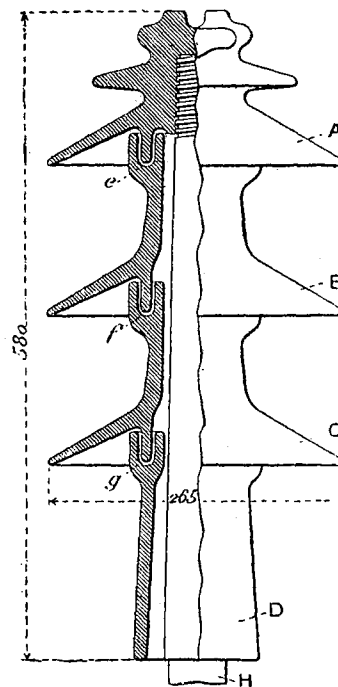


FIG. 7. — Isolateur proposé par M. Converse.

## Projet de transport à Paris de l'énergie du Rhône

Projet présenté par MM. Harlé, et dressé par MM. Blondel, Harlé et Mahl

Nous reproduisons ci-après le rapport textuel des auteurs de ce projet, qui s'impose à l'attention des hydrauliciens et des électriciens, que nous avons annoncé dans le numéro de novembre 1906, et dont nos lecteurs ont certainement déjà entendu parler, car il occupe autant les journaux quotidiens que la presse technique.

Nous n'avons que des éloges — si toutefois notre jeune âge nous permet d'en faire ! — à adresser aux auteurs de ce travail

aussi remarquable par sa conception que par les détails grandioses de son organisation. Nous souhaitons bien sincèrement sa mise en œuvre prochaine.

Cela ne nous empêchera pas toutefois de dire que l'audace de ce projet nous surprend quelque peu. Nous ne mettons certes point en doute l'économie de l'aménagement du Haut-Rhône, mais la formule de la transmission électrique de l'énergie à Paris, ne nous convainc pas. Nous avons maintenant sous les yeux l'exemple d'une transmission d'énergie à 180 kilomètres. C'est une œuvre remarquable. Mais nous n'étonnerons personne en disant qu'elle n'a pas été mise au point sans difficultés. Or, on sait que la difficulté croît pratiquement beaucoup plus vite que la longueur de la transmission et suivant une loi non encore connue. Aller maintenant à 450 kilomètres, nous paraît d'une belle hardiesse, et nous accordons notre confiance non point aux calculs nous démontrant l'économie de l'entreprise, mais bien aux hommes de haute valeur qui l'ont conçue, estimant qu'ils possèdent la science et les moyens d'action pour vaincre toutes difficultés prévues.

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES. — I. Si l'on jette un coup d'œil sur la carte de France, on n'aperçoit guère, dans un rayon de 500 km., comme pays à neiges éternelles que les Alpes de la Savoie et de la Haute-Savoie et le massif du Grésivaudan. Les auteurs du projet actuel ont d'abord songé à s'en servir. Mais les chutes qu'on rencontre dans ces régions sont déjà, en grande partie, utilisées ; les cours d'eau qui les alimentent ont un régime torrentiel assez peu favorable à l'établissement de grandes usines ; aucun groupe de chutes ne réalise une puissance suffisante pour alimenter, à lui seul, une distribution aussi importante que celle de la région parisienne, et il serait nécessaire de réunir un grand nombre d'usines analogues en série sur la ligne de transmission, ce qui élèverait les frais de transmission et compliquerait beaucoup l'exploitation. D'autre part, si l'on envisage, comme il convient, les intérêts généraux de la France, en vue d'un plan d'ensemble de l'utilisation des chutes d'eau, il est rationnel de réserver les ressources de notre massif des Alpes pour les grandes régions industrielles environnantes, de Lyon, du Rhône, de la Loire et de la Haute-Loire, qui manquent, sinon de chutes d'eau, du moins de neiges éternelles pour les entretenir.

Mais il existe, en dehors de ces régions de neiges éternelles, une source d'énergie puissante, qui profite des réserves d'eau et des neiges d'un pays voisin : c'est le cours même du Rhône, à son entrée sur le territoire français, aux environs de Bellegarde, point qui n'est situé qu'à 400 km. en ligne droite de la capitale et à 450 km. environ si l'on suit les voies publiques.

1. Le Rhône réunit deux conditions tout à fait exceptionnelles : l'importance du débit qui, à l'étiage, ne descend guère au-dessous de 130 mc par sec, et la pente rapide, qui, sur une longueur de quelques kilomètres (22 km., 5), comprise entre la frontière suisse et la passerelle du Gènessiat, située en aval de Bellegarde, dépasse 65 m. Une puissance brute d'au moins 11 000 chevaux, à l'étiage, se trouve donc disponible sur ce très faible parcours ; elle est presque deux fois plus grande pendant 30 jours de l'année et beaucoup plus élevée encore en temps de crues, puisque celles-ci peuvent atteindre jusqu'à 1.250 mc. par sec. Enfin, les circonstances locales se prêtent merveilleusement, comme on va le voir, à la régulation, et, dans une certaine mesure, à l'emmagasinement de cette puissance en vue de la rendre presque complètement utilisable, malgré les variations inévitables de la consommation suivant les saisons et suivant les heures du jour.

Une régulation, partielle mais cependant importante, est déjà réalisée par l'usine de la Coulouvrenière, qui, comme on sait, est située dans Genève et sert à l'alimentation de Genève en eau sous pression. Par le jeu des vannes de cette usine on peut faire varier le plan d'eau du lac de Genève de 0 m. 60, qui est l'amplitude de la variation annuelle ; comme la surface du lac atteint 600 kmq, c'est un emmagasinement de 360 000 000 mc. d'eau qui est ainsi réalisé (1). D'ailleurs, cette variation de hauteur, limitée aujourd'hui par la nécessité de ménager les berges et de laisser possible la navigation dans Genève (qui serait empêchée soit par une insuffisance de fond, soit par une élévation excessive du plan

d'eau sous le pont très surbaissé du Mont Blanc), pourra sans doute être augmentée moyennant quelques travaux ; des pourparlers sont, en effet, engagés entre les gouvernements français et suisse au sujet de cette réglementation, qui intéresse la navigation sur le Rhône au voisinage de Lyon et en aval.

L'usine de Chèvres, établie en aval de l'usine de la Coulouvrenière, contribue également à la régulation. Entre les deux usines, à l'extrémité occidentale de Genève, à l'endroit appelé la Jonction, le Rhône reçoit son important affluent, l'Arve, dont les eaux bourbeuses contrastent avec les eaux limpides qui s'écoulent du lac Léman. Ce torrent, qui n'a pas comme le Rhône un lac régulateur, a un régime très variable et son débit passe de 30 mc. par sec. pendant le gel, à plus de 1 200 mc. par sec. en temps de crues. Le barrage de Chèvres, établi à 7 km. en aval de la jonction, permet l'utilisation de toute l'eau sous une chute de 8 m. 50 à l'étiage et de 4 m. 30 pendant les crues. Comme les crues de l'Arve ne coïncident pas en général avec celles du Rhône, comme d'autre part l'usine de Chèvres a été installée pour suppléer à l'usine de la Coulouvrenière, on en profite pour arrêter le fonctionnement de celle-ci afin de ménager l'approvisionnement d'eau du lac, lorsque le débit de l'Arve suffit à l'alimentation de l'usine de Chèvres.

Enfin la régulation se trouvera, sans nul doute, encore accrue lorsque sera édifiée la nouvelle usine que Genève se propose d'établir en aval de celle de Chèvres, reconnue insuffisante, à la limite du territoire suisse.

2. Si l'on suit le cours du Rhône à partir de Chèvres, on constate qu'il s'étend, d'abord sur une région peu accidentée, appartenant en partie à la Suisse, en partie à la France, jusqu'au pont de Savoie, puis, jusqu'à Seyssel, dans les gorges extrêmement pittoresques et sauvages, quelquefois assez élargies pour que les terrains cultivés descendent presque jusqu'à ses rives, le plus souvent étranglées entre des falaises à pic et même en surplomb, atteignant parfois jusqu'à 100 m. de hauteur. Au fond de ces mêmes gorges, les roches, formées de calcaires de consistance très variable, ont été corrodées en certains endroits et forment ainsi des cavités latérales profondes et invisibles. Dans ce parcours la pente varie beaucoup ; en réalité, il n'y a pas de pente moyenne, mais une succession de chutes dont les principales sont celles du Grésin et de Malpertuis-Monthoux ; elle est maximum aux environs de Bellegarde, où elle atteint 2,5 cm. par m. et minimum vers Seyssel où elle s'abaisse à 1,5 mm. par m. Au total, entre la frontière suisse et Seyssel, la différence de cotes est de 68 m. à 70 m. suivant la hauteur des eaux.

Dans toute cette partie et jusqu'au bac de Pyrimont, le Rhône, tout en étant classé comme flottable, n'est pas navigable et ne peut rendre aucun service à la navigation, tandis qu'il poursuit la corrosion des rives et l'approfondissement de son lit d'une manière dangereuse pour les coteaux voisins comportant des routes, des chemins de fer, des cultures et des villages. Aussi l'auteur du projet conclut-il que le seul moyen d'utilisation de l'énergie des eaux du Rhône dans cette région est la transmission électrique de cette énergie.

3. A la vérité, l'idée d'utiliser les rapides du Rhône compris entre la frontière suisse et Pyrimont n'est pas nouvelle : elle a déjà fait l'objet de plusieurs projets partiels (voir en particulier le projet de M Garcia, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, avril 1901). Mais ceux-ci ne tiraient qu'un parti très incomplet de la puissance disponible ; chacun d'eux isolément constituerait une entreprise trop coûteuse pour le débouché industriel local qu'il pourrait prévoir, et de trop faibles puissances pour justifier une transmission à grande distance qui n'avait même pas été envisagée. D'ailleurs les utilisations locales font défaut. La région lyonnaise elle-même, sur laquelle on aurait pu compter, est maintenant amplement pourvue d'énergie transmise des chutes d'eau des Alpes ; l'Ain et d'autres cours d'eau de la même région présentent encore un excédent de puissance disponible considérable par rapport aux besoins que l'on pourrait prévoir pour cette partie de la France. D'ailleurs, après trente ans d'effort, la société de Bellegarde n'a pu, de la puissance de 10 000 chevaux qui lui était concédée, trouver le placement dans la région que pour moins de la moitié. Dès lors, il devient naturel d'envisager la transmission jusqu'à Paris de l'énergie captée au Haut-Rhône.

4. Toutefois ce moyen d'utiliser l'énergie du haut Rhône ne va pas sans quelques difficultés, si l'on veut que l'utilisation soit rationnelle. Comme on l'a dit plus haut, le Rhône et l'Arve réunis, sans compter le petit affluent de la Valserine, qui tombe plus bas, donnent à l'étiage 130 mc. par sec ; sous une chute de 65 m., on dispose donc d'une puissance brute continue de 80 000 chevaux

(1) Voir à ce sujet la conférence de M. CROLARD, au Congrès de la Houille Blanche en 1902, sur la Régularisation du débit des cours d'eau par les lacs et réservoirs artificiels. Tome I des Comptes-Rendus du Congrès.



pendant 24 heures et d'une puissance électrique correspondante de 60 000 kilowatts. Or, d'une part, le projet ne prévoit que l'utilisation de 110 mc. par sec. à l'étiage : d'autre part, la consommation d'énergie de la région parisienne, extrêmement variable, exige une dépense moyenne de 100 000 chevaux et une installation minimum de 150 000 chevaux électriques pour un fonctionnement de 1 250 heures par an et par kilowatt installé vers Bellegarde. La puissance du Rhône serait donc insuffisante pour satisfaire aux besoins de la consommation si les dispositions particulièrement favorables des lieux ne permettaient l'emmagasinement des eaux pendant une partie de la journée. Cet emmagasinement sera réalisé en élevant à Grésin un grand barrage de 33 m. environ de hauteur, permettant d'accumuler les eaux dans les gorges et dans la petite plaine de Collogny qui les précède à l'amont. Cette réserve, qui permettra d'emmagasiner à l'amont l'équivalent d'un débit de 50 mc. par sec. pendant 10 heures, soit 2 000 000 mc., permettra de fournir à l'usine hydroélectrique située à l'aval, au lieu dit Monthoux, pour un débit d'étiage de 110 mc. par sec, des débits variables, voisins de 110 mc. par sec, pendant 9 heures, de 200 mc. par sec, pendant 5 heures et de 75 mc. par sec environ pendant 10 heures, pour suivre les variations correspondantes de la puissance consommée à Paris. En donnant au besoin une surcharge de 10 pour 100 aux machines au moment de la pointe, et avec une hauteur de chute alors maximum de 63 m., on pourra obtenir une puissance maximum brute de 138 000 tonnelets et de 138 000 chevaux effectifs aux arbres moteurs des turbines.

5. La variation du débit de l'usine affectera nécessairement le régime du Rhône jusqu'à une distance difficile à apprécier, mais dans une mesure qui s'atténuera facilement et assez rapidement jusqu'à Lyon. Comme dans cette section la navigation ne commence que lorsque le débit du Rhône atteint 150 mc. par sec, les variations introduites par l'usine deviendront relativement très faibles et sans importance pratique sensible. Néanmoins, les auteurs du projet se sont préoccupés d'éliminer toute difficulté pouvant provenir de ces variations en faisant appel au lac du Bourget comme à un réservoir égalisateur du débit à l'aval.

Le lac, qui a une surface d'environ 45 kmq., reçoit divers cours d'eau dont le débit total est d'environ 13 mc. par sec. Il se déverse dans le Rhône par le canal de Savières, long de 4 km., dont la pente est très faible ; de sorte que, lorsque le Rhône est haut, il se déverse dans le lac en renversant le sens de l'écoulement dans le canal, et il peut même pénétrer dans le lac directement par la plaine et par les marais avoisinants. Il en résulte que les mouvements du lac dépendent principalement des variations du Rhône et accompagnent celles-ci ; il est haut en même temps que le Rhône pendant les mois d'été et au moment des crues de printemps et d'automne ; il baisse à l'automne et reste bas pendant l'hiver. L'amplitude des variations, variable suivant les années, est toujours d'au moins 2 mètres.

L'eau qui retourne au Rhône à l'automne, lorsque celui-ci baisse, est sans utilité pour la navigation, parce que le Rhône est encore très haut ; en la retenant dans le lac, on constituera un approvisionnement, qu'on pourra restituer au fleuve pendant l'hiver au moment de l'étiage, pour corriger et pour atténuer les variations introduites à l'amont dans son régime ; en fournissant au Rhône un débit supplémentaire de 45 mc. par sec, pendant les 10 heures de chaque journée où le débit de l'usine est moindre de 80 mc. par sec, on rétablira ainsi, pendant toute la durée des mois d'hiver, au moins le minimum de 110 mc. par sec. Pour obtenir ce résultat pendant 45 jours de l'année, il suffit d'emmagasiner 67 500 000 mc., ce qui exige seulement une tranche d'eau de 1 m. 50 ; on la retiendra en exécutant un barrage à deux pertuis de 10 m., fermés par des vannes Stoney, avec écluse accolée, à l'entrée du canal de Savières ; celui-ci sera, en outre, élargi jusqu'à 25 m. et approfondi jusqu'à 2 m. à l'étiage, pour en obtenir la pente nécessaire pour fournir le débit voulu.

Le service de la navigation ne pourra donc ressentir aucune gêne du régime variable de l'usine de Monthoux ; celle-ci ne fera du reste que reproduire dans une certaine mesure les variations de régime déjà introduites par l'usine de Chèvres, en raison des fluctuations de la consommation d'énergie à Genève qui sont de même ordre qu'à Paris.

L'administration pourrait même compléter le projet d'une manière très avantageuse pour la navigation, en jetant, chaque jour de la période des basses eaux, dans le lac les 120 mc. par sec débités pendant 5 heures par l'usine en sus du volume normal et les restituant ensuite à raison de 45 mc. par sec pendant 10 heures au moyen des ouvrages prévus plus haut qui seraient convenablement agrandis et surélevés.

II. DESCRIPTION GÉNÉRALE. — 1. — *Captation du Rhône.* — Le barrage sera établi en dessous du village de Grésin (Ain), où la topographie des lieux permet d'obtenir assez facilement une retenue de 34 m. Reposant sur la jaquette naturelle formée par le seuil rocheux de Grésin, il comportera 4 pertuis fermés par des vannes Stoney de 10 m. de largeur et 7 m. de hauteur, parfaitement équilibrées, manœuvrées par moteurs électriques et permettant un large débouché aux crues même subites. Un pertuis spécial, moins élevé et muni au besoin de trois vannages superposés, permettra l'évacuation des corps flottants en temps ordinaire, tout en fournissant l'ouverture supplémentaire nécessaire au passage des grandes crues. Une échelle à poissons sera également installée. Ce barrage sera exécuté après avoir détourné l'eau du Rhône au moyen d'une dérivation provisoire par tunnel.

L'encaissement profond du fleuve dans la retenue considérée et l'absence de tout usage industriel des eaux, sauf à Bellegarde (dont l'usine hydraulique sera rachetée) permettent d'intercepter sans inconvénients tout le débit de l'étiage à Grésin pour le restituer au fleuve à Monthoux. Les sources et affluents du Rhône dans cette région et l'eau passant sur le déversoir et par l'échelle à poissons, suffiront à maintenir au lit son caractère actuel.

Pour éviter toute cause d'arrêt, tous les ouvrages d'amènée de l'eau jusqu'à l'usine de Monthoux sont prévus en doubles ; l'adduction, depuis le barrage jusqu'à la chambre de mise en charge, aura lieu par deux tunnels parallèles ayant chacun 45 mq. de section et 4 500 m. de longueur.

2. *Usine.* — L'usine génératrice, située à Monthoux (commune de Saint-Germain-sur-Rhône, Haute-Savoie) sera établie en souterrain dans le flanc même de la montagne calcaire qui surplombe les gorges du Rhône et prendra jour sur le fleuve par des baies creusées dans le rocher, comme les gares souterraines du chemin de fer de la Jungfrau. Les turbines seront prévues pour utiliser 243 mc. par sec à certaines heures de la journée ; la part qui pourra être réservée à des industries locales, notamment à Bellegarde, de l'énergie laissée disponible par la transmission sur Paris, sera produite, soit par des machines spéciales à l'usine même, soit empruntée au moyen d'appareils transformateurs convenables à la ligne principale (\*).

3. *Transmission.* — L'ensemble des dynamos de l'usine, qui seraient probablement au nombre de 48 (donnant chacune 1 000 ampères sous 2 500 volts), sera divisé en deux parties égales de 24, réunies par groupes de 3 au moyen d'accouplements Raffard ; chaque groupe sera actionné par une turbine de 10 000 chevaux. En mettant le point central des machines à la terre, c'est-à-dire au potentiel zéro, on voit que la tension augmente progressivement de ce point à raison de 2 500 volts au passage de chaque machine ; les deux potentiels extrêmes obtenus à la sortie des machines sont donc respectivement + 60 000 et - 60 000 volts. On pourra, en poussant légèrement la vitesse, obtenir jusqu'à 130 000 volts comme différence de potentiel entre lignes au départ aux heures de surcharge.

Les deux lignes électriques seront en boucle ; une ligne d'aller et une ligne de retour seront établies par deux itinéraires différents, d'environ 150 km. de longueur chacune et empruntant sur presque tout leur parcours les voies publiques existantes. La perte en ligne consentie sera inférieure à 10 pour 100 de la pleine charge produite par l'usine.

Les supports seront constitués par des pylones métalliques espacés au minimum de 40 à 50 mètres.

4. *Usines réceptrices de distribution dans Paris.* — Les deux lignes conduiront le courant à Paris en suivant les rives de la Seine ; on installera probablement une ligne sur chacune d'elles pour ne pas les encombrer et pour faciliter l'entrée de la canalisation à travers les communes suburbaines jusqu'au voisinage immédiat de la capitale où l'usine réceptrice sera édifiée (Charenton ou Ivry). La façon dont se fera la distribution dépendra dans une large mesure des décisions qui seront prises par la Ville de Paris pour le régime futur de l'électricité.

Toutefois, il serait économique de n'utiliser à l'usine réceptrice de Charenton ou Ivry, qu'une fraction de la puissance transmise, pour la distribuer sous forme de courants biphasés dans les quartiers excentriques et la banlieue et d'installer une seconde usine réceptrice dans Paris même pour produire du courant continu alimentant la région centrale. Si la moitié de la puissance est utili-

(\*) Cette disposition d'usine génératrice établie en souterrain dans le flanc de la montagne elle-même n'est pas nouvelle. Elle a déjà été employée pour l'usine de Snoqualmie Falls. Voir *La Houille Blanche*, juin 1906.

sée à Charenton, la tension à la sortie de cette usine ne sera plus que de 60 000 volts entre fils, soit 30 000 volts entre fil et terre ; or, on construit aujourd'hui des câbles supportant cette tension.

III. AVANTAGES DU PROJET. — Dans cette partie du Mémoire, M. Harlé insiste sur ce que l'énergie électrique, ainsi transmise, pourra être vendue meilleur marché que celle produite dans des usines à vapeur. Il montre ensuite que cet abaissement du prix de vente présente de nombreux avantages économiques, sociaux et hygiéniques. Comme ces avantages n'ont rien de technique et qu'on a pu en trouver l'exposé dans les journaux quotidiens, nous ne ferons que signaler cette partie du Mémoire.

IV. EXPOSÉ FINANCIER SOMMAIRE. — 1. *Dépenses d'installation.* — Les dépenses d'installation ont été calculées pour l'emploi possible de 220 mc. par sec, pouvant produire une puissance brute de 184 000 chevaux, une puissance sur les arbres des turbines de 138 000 chevaux (rendement des turbines 0.75) et une puissance électrique de 95 000 kilowatts (avec rendement de 0.935) ; cette puissance pouvant être momentanément amenée à 114 000 kilowatts en surcharge. Le montant total des dépenses, y compris celles concernant l'usine réceptrice, atteint 60 000 000 fr. En voici le détail :

A. Installations hydrauliques et génératrices :

1° Barrage de prise d'eau, ouvrages de prise, travaux de fond, etc.....	fr.	4 000 000
2° Tunnels de 4 500 m. avec chemise en béton armé..		8 000 000
3° Usine génératrice.....		2 500 000
4° Matériel mécanique et électrique des usines : 150 000 chevaux de turbines à 12 fr. et 140 000 kilowatts installés de dynamos-série à 30 fr.....		6 000 000
5° Travaux de rectification du lit du Rhône.....		500 000
Total.....		21 000 000 fr.

B. Lignes électriques :

1° Supports métalliques placés à 50 m. à 300 fr. pièce.	5 400 000
2° Imprévus pour grands franchissements.....	600 000
3° 6 fils de 150 mmq. de section, d'un poids total de 7 290 000 kg. à 2 fr. le kilogramme.....	14 500 000
Total.....	20 500 000 fr.

C. Usine réceptrice à Paris :

1° Dynamos réceptrices : 95 000 kilowatts à 30 fr.....	2 850 000
2° Alternateurs : 80 000 kilowatts à 25 fr.....	2 000 000
3° Bâtiments et terrains.....	1 500 000
4° Raccordement au réseau de distribution primaire..	1 750 000
Total.....	8 100 000 fr.

D. Divers :

1° Etablissement éventuel du barrage régulateur à Puyriont.....	1 000 000
2° Imprévus (10 pour 100 environ).....	4 900 000
3° Intérêts à 4 pour 100 du capital pendant deux ans.	4 500 000
Total.....	10 400 000 fr.

Total général..... 60 000 000

La puissance effective amenée à Paris, transformation comprise, étant de 70 000 kilowatts, le prix du kilowatt effectif est donc de 857 fr.

(Ces chiffres supposent l'installation exécutée complètement ; si l'on réalisait une première période où la puissance captée serait moitié moindre, les dépenses pourraient être réduites à 40 000 000 francs, mais M. Harlé estime que cette solution ne serait pas avantageuse).

2. *Dépenses d'exploitation.* — Les dépenses d'exploitation sont évaluées comme il suit :

A. Dépenses dépendant de la production :

1° 3 éclusiers au barrage.....	fr.	4 500
2° 1 ingénieur et 2 chefs électriciens.....		12 000
3° 12 électriciens à l'usine génératrice.....		24 000
4° 30 garde-lignes.....		36 000
5° 1 ingénieur pour lignes.....		5 000
6° 4 surveillants.....		6 000
7° 10 électriciens à l'usine réceptrice.....		23 500
8° 1 ingénieur et 2 chefs électriciens.....		15 000
9° 5 employés de bureaux.....		12 000
10° 1 ingénieur en chef.....		15 000
11° Frais d'administration, de chemins de fer, impôts, etc.....		400 000

12° Grosses réparations, fournitures d'usines et imprévus.....	100 000
Total.....	653 000 fr.

B. Dépenses fixes :

1° Indemnité kilométrique de passage de la ligne et prime de surveillance aux particuliers et aux communes traversées.....	112 500
2° Réserves à valoir pour travaux courants hydrauliques, réparations de lignes et divers.....	100 000
3° Intérêt et amortissement à 6 pour 100 en 50 ans de la partie du capital relative aux ouvrages hydrauliques et bâtiments en maçonnerie, soit de 15 000 000 fr. environ.....	900 000
4° Intérêt et amortissement en 50 ans sur les lignes, soit de 6 pour 100 sur 20 500 000 fr.....	1 230 000
5° Intérêt et amortissement en 20 ans pour les organes mécaniques et électriques, soit de 9,8 pour 100 sur 12 500 000 fr.....	1 225 000
6° Frais supplémentaires d'entretien des supports et isolateurs.....	100 000
7° Intérêt et amortissement en 50 ans des sommes portées pour rachats, indemnités, intérêts, soit de 6 pour 100 sur 1 200 000 fr.....	720 000
Total.....	4 387 500 fr.

Total général..... 5 040 000

3. *Prix de revient du kilowatt-heure.* — En arrondissant à 4 500 000 fr. les dépenses fixes et à 1 000 000 fr. les dépenses dépendant de la production et répartissant ces frais sur une moyenne de 200 000 kilowatt-heures, le prix de revient du kilowatt-heure en fonction du nombre de kilowatts-heures vendus est, en francs,

$$p = \frac{4 500 000}{n} + \frac{1 000 000}{200 000 000} = 0,005 + \frac{4 500 000}{n}$$

en fonction du nombre  $n$  d'heures d'utilisation de la puissance installée à Paris (70 000 kilowatts), ce prix est

$$p = 0,005 + \frac{4 500 000}{70 000 n} = 0,005 + \frac{64,3}{n}$$

Pour comparer ce prix avec celui qui résulte de l'emploi d'usines à vapeur, M. Harlé admet que dans celles-ci les dépenses de production sont seulement de 0 fr. 045 par kilowatt-heure et les frais d'établissement de 500 fr. par kilowatt. La formule du prix de revient du kilowatt-heure est alors, d'après les évaluations les plus optimistes :

$$p' = 0,045 + \frac{63}{n}$$

On voit que la partie mobile, c'est-à-dire le dernier terme de la formule, est sensiblement la même dans les deux cas, mais que le terme fixe est de 0 fr. 04 plus élevé pour l'usine à vapeur que pour l'usine hydraulique. Quel que soit le nombre d'heures de fonctionnement au delà de celui prévu (2800 heures), l'installation hydraulique pourra donc fournir le kilowatt-heure à environ 0 fr. 04 moins cher que l'installation à vapeur. Si l'on fait le calcul de  $p$  et de  $p'$  pour diverses durées de fonctionnement annuel, on trouve :

$n$	$p'$	$p$
1000.....	10,8	7
2100.....	7,65	3,75
3000.....	6,6	2,65
6000.....	5,55	1,58

En outre, des avantages nouveaux se manifesteront à l'expiration de la concession. L'exploitation hydraulique, ayant amorti son capital, n'aura rien à assurer que les frais d'entretien et de capital, réduits, par suite d'une grande production, à moins de 0 fr. 03 par kilowatt-heure, et une dépense perpétuelle pour les renouvellements qui ne peut excéder 1 000 000 fr., soit 14 fr. 30 par kilowatt installé ; on a donc alors

$$p = 0,003 + \frac{14,30}{n}$$

Au contraire, avec une usine à vapeur, il n'y a aucune économie appréciable à espérer, le matériel étant d'un renouvellement continu et les charges d'exploitation probablement accrues sensiblement.

L'utilisation de 6000 heures indiquée précédemment ne paraît d'ailleurs guère réalisable qu'avec une usine hydraulique, parce que celle-ci, établie pour le maximum de puissance à l'étiage, pourra être utilisée à pleine charge pendant tout le reste de l'année sans surcroît de dépenses. Or, il est loin d'en être de même pour les usines à vapeur dans lesquelles une pareille marche continue, sortant des conditions usuelles d'après lesquelles les prévisions de dépenses d'entretien et de personnel ont été faites, entraînerait certainement une augmentation de ces dépenses.

LES BESOINS D'ENERGIE DE LA REGION PARISIENNE

Par E. HARLÉ.

En annexe au projet d'utilisation des forces motrices du Rhône pour l'alimentation en énergie électrique de la région parisienne, M. Harlé donne un aperçu des besoins d'énergie de cette région.

Voici le détail de ces besoins exprimés en kilowatts-heures :

	kilow.-h.
1° Métropolitain (après complet achèvement).....	100.10 <sup>6</sup>
2° Secteurs (d'après prévisions de M. Lauriol).....	60
3° Force motrice dans Paris.....	200
4° Force motrice dans le département de la Seine....	100
5° et 6° Tramways, omnibus et accumulateurs.....	100
7° Chemins de fer de grandes lignes.....	125
Total .....	685.10 <sup>6</sup>

soit en chiffres ronds 700.000.000 kilowatts-heures.

Ces chiffres sont nécessairement approximatifs. M. Harlé les considère plutôt comme des minimums en se basant sur les considérations suivantes :

1° Le chiffre relatif à la consommation du Métropolitain est basé sur des indications figurant dans un travail de M. Saint-Martin (août 1903) sur les usines génératrices électriques futures à Paris.

2° Les Secteurs produisent actuellement 30.10<sup>6</sup> kilowatts-heures, et l'on sait que, depuis quelques années ils ne cherchent pas à augmenter leur production ; le chiffre de 60.10<sup>6</sup> kilowatts-heures paraît donc devoir être atteint à bref délai.

3° et 4°. D'après la statistique officielle du Ministère du Commerce, la puissance des machines à vapeur dans Paris était, en 1899, de 80 366 chevaux, non compris les stations centrales d'électricité et les usines génératrices pour tramways. D'autre part, la statistique de l'Industrie minière pour 1902 indique pour le département de la Seine une puissance de 196 000 chevaux, non compris les chemins de fer et tramways, les automobiles et les bateaux.

Si l'on admet pour Paris 100 000 chevaux en chiffres ronds. 10 heures d'utilisation pendant 300 jours et 2/3 pour le facteur de puissance, on arrive à une consommation de 180.10<sup>6</sup> kilowatts-heures ; en y ajoutant 20 x 10<sup>6</sup> kilowatts-heures pour les moteurs à gaz et les moteurs à air comprimé, on arrive aux 200.10<sup>6</sup> kilowatts-heures indiqués dans le Tableau ci-dessus.

Pour la banlieue, la consommation d'énergie serait double.

M. Harlé prévoit au contraire un chiffre moitié moindre, sans doute parce que, dans le chiffre indiqué par l'Industrie minière, se trouvent comprises quelques importantes usines génératrices d'électricité.

Pour montrer que ces chiffres sont plutôt des minimums, M. Harlé fait observer que les 180.10<sup>6</sup> kilowatts-heures admis pour la consommation de Paris n'exigent guère que 250 000 tonnes de combustible. Or, d'après les statistiques, la consommation de combustible en 1902, dans le département de la Seine, a été de 3 720 000 tonnes de charbon ou de coke, non compris les 1 200 000 tonnes de charbon fournies aux usines à gaz. Le combustible utilisé pour la force motrice ne serait donc, d'après les chiffres admis, que de 1/15 environ de la consommation totale du département, ce qui semble plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

5° et 6° D'après les évaluations de M. Saint-Martin, la consommation d'énergie des tramways parisiens, après la réorganisation qui s'imposera prochainement, ne saurait être inférieure à 50.10<sup>6</sup> kilowatts-heures. Ce chiffre correspond à un développement de 400 kilom. environ, un parcours annuel de 40.10<sup>6</sup> kilomètres et une consommation d'un peu plus de 1 kilowatt-heure par kilomètre parcouru.

M. Harlé admet un même chiffre pour les petites voitures publiques ou privées qui, selon lui, auront intérêt à adopter la traction par accumulateurs d'après les prix auxquels l'énergie électrique pourra être livrée pour cette utilisation. Or, il y a actuellement au moins 15 000 de ces voitures. En en supposant seulement 7500 faisant une moyenne de 10 courses de 4 kilom., le parcours journalier serait de 300 000 kilom. La dépense d'énergie étant, tout compris, d'environ 0,5 kilowatt-heure par kilomètre, la consommation serait de 150 000 kilowatts-heures, soit par an environ 50.10<sup>6</sup> kilowatts-heures.

7° Les compagnies de chemins de fer ont toutes, sur une partie relativement courte de leurs lignes, moins de 50 kilom. aux abords de Paris, une circulation extrêmement intense. M. Harlé estime que dès lors la traction électrique ne tardera pas à s'imposer sur ces lignes, ainsi que sur les petites lignes telles que la Ceinture, Vincennes, Sceaux, etc. Sur ces diverses lignes, on doit envisager la circulation quotidienne de 240 trains de voyageurs d'un parcours moyen de 25 kilom. En outre, il y circule annuellement 100 000 000 de tonnes de marchandises en petite vitesse, comportant un poids mort de 58 pour 100. Pour assurer ces transports, M. Harlé a calculé qu'il fallait 340 000 kilowatts-heures par jour, soit 125.10<sup>6</sup> kilowatt-heures par an.

RAILS A TÊTE AMOVIBLE

Les rails ne s'usent guère qu'à la partie supérieure, aussi a-t-on imaginé divers types comportant une tête amovible, de manière à n'enlever que la partie détériorée, sans avoir à déplacer la partie inférieure restée intacte. La réparation d'une voie de tramway est alors beaucoup plus simple qu'avec les rails ordinaires. On n'a pas besoin de bouleverser la chaussée, ce qui permet d'avancer assez vite, et de réduire au strict minimum la gêne qui en résulte pour la circulation. On économise, en outre, le double transport, à l'aller et au retour, de l'âme et du patin du rail.

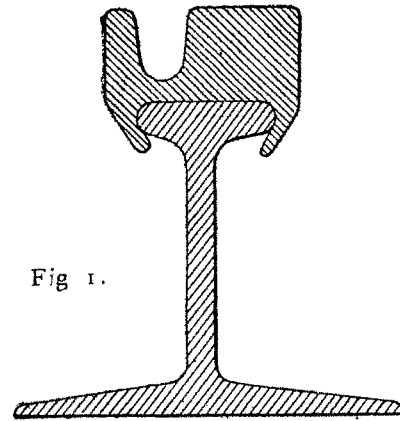


Fig. 1.

La figure 1 montre en coupe un rail à tête amovible, imaginé par M. Rhodes de Leeds, et qui est connu sous le nom de rail « Romapac ». La tête est posée sur le rail inférieur, puis fixée sur celui-ci au moyen de griffes qui sont rabattues à chaud, contre les bords inférieurs du champignon, au moyen d'une machine spéciale.

Lorsque la tête du rail est usée, la machine opère une entaille profonde sur les griffes, qui sont ensuite cassées ; on enlève alors la tête, et on la remplace par une autre.

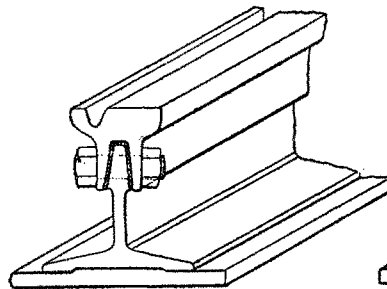


Fig. 2.

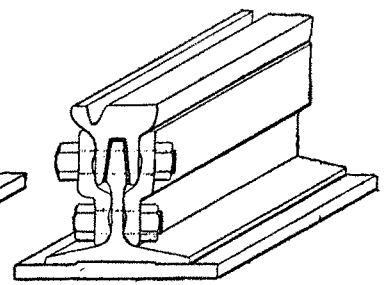


Fig. 3.

D'après l'Engineering Review, des essais, faits par les Sheffield Testing Works, ont montré qu'il faut produire un effort tangentiel de 2 000 tonnes pour faire glisser, de un demi millimètre, la partie mobile sur la partie fixe d'une voie composée de 2 rails de 18 mètres de longueur. Si l'on tient compte du