

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

5^e Année. — Décembre 1906. — N^o 12.

*La Houille noire a fait l'Industrie moderne ;
la Houille blanche la transformera.*

Traction Electrique des Chemins de Fer Suisses

*Rapport de la Commission Suisse d'études
pour la traction électrique des Chemins de fer*
Par le Secrétaire général, Professeur WYSSLING

Tous les lecteurs de *La Houille Blanche* qui s'intéressent à la traction électrique des chemins de fer et tramways liront certainement avec plaisir le rapport suivant (*) dont l'importance théorique est manifeste, l'étude entreprise par les soins du gouvernement Suisse étant d'un intérêt absolument général.

Le programme adopté en mai 1904 pour les études de la Commission a, comme premier objet principal, la *détermination de l'énergie nécessaire* pour l'exploitation électrique des chemins de fer suisses. L'importance de l'électrification des chemins de fer de notre pays ne réside pas en réalité et avant tout dans l'utilisation de certains avantages, de nature purement technique, que l'on prête à la traction électrique, et qui, dans beaucoup d'endroits, ont déterminé l'introduction de ce mode de traction (comme par exemple la possibilité d'atteindre de plus grandes vitesses, la faculté d'augmenter le trafic, l'absence de fumée, etc.) ; la raison principale pour la Suisse est plutôt d'ordre économique, puisqu'elle est celle de l'utilisation des forces hydrauliques du pays au lieu de l'importation de charbons étrangers.

Les premières questions à résoudre sont par conséquent : Quelle est l'énergie nécessaire ? Celle-ci peut-elle se trouver dans le pays ? En présence des affirmations pessimistes énoncées ces années dernières sur la quantité d'énergie hydraulique disponible, cette question s'imposait non seulement aux personnes peu au courant de ce sujet, mais encore aux techniciens, qui ne pouvaient pas la résoudre *a priori*, toutes les forces hydrauliques n'étant pas propres à être utilisées pour la traction.

Pour l'évaluation de la quantité d'énergie nécessaire, il y a lieu de considérer que celle-ci dépend dans une certaine mesure du système électromécanique adopté. A un plus haut degré encore, l'énergie nécessaire dépend des nécessités purement techniques de l'exploitation.

On a pu cependant obtenir une idée d'ensemble suffisante de cette première question en rapportant la dépense d'énergie à celle qui est nécessaire aux roues motrices des trains, dépense qui n'est fonction que dans une faible mesure du système électromécanique adopté. Pour ce qui concerne le service d'exploitation, il sera probablement nécessaire, surtout pour la jonction avec les lignes étrangères, de conserver tout d'abord avec la traction électrique les habitudes actuelles de la traction à la vapeur, celle par exemple qui consiste à faire circuler des trains relativement lourds et peu nombreux, habitude qui devra probablement être conservée longtemps encore. Si l'on se base par conséquent sur les conditions d'exploitation actuelles, on obtiendra à coup sûr la quantité maximum d'énergie qui pourra être exigée par la traction électrique.

(*) D'après le *Bulletin technique de la Suisse Romande*,

La Commission partit de cette base et détermina les exigences auxquelles la traction électrique devait suffire au point de vue de l'exploitation technique des chemins de fer. Puis elle chargea une sous-commission composée d'électriciens et d'ingénieurs de nos grandes lignes, de l'étude complète de la question. A son tour, la sous-commission posa les principes à suivre dans ce travail et confia l'exécution des calculs et des études partielles à M. l'ingénieur L. Thormann, dont de temps à autre elle discuta les conclusions.

Le présent rapport suit dans ses grandes lignes le rapport détaillé de M. Thormann.

Nous allons exposer maintenant les données fondamentales de notre travail.

RÉSISTANCE AU ROULEMENT (COEFFICIENT DE TRACTION). — Cette résistance, dans laquelle nous comprenons l'ensemble des forces qui s'opposent au mouvement uniforme d'un train en palier, se compose :

a. Du frottement de roulement et parfois de glissement des roues sur les rails, y compris l'effort absorbé par le passage des surélévations que les rails peuvent offrir du fait de corps étrangers, de leur flexion propre, etc. ;

b. Du frottement des essieux dans leurs boîtes ;

c. Du frottement des bandages sur les rails dans les courbes ;

d. De la résistance de l'air sur les surfaces frontales des véhicules et du frottement de l'air en général contre ceux-ci.

Les trois premières quantités sont seules proportionnelles aux masses en mouvement. La résistance de l'air par contre ne peut être donnée que d'après des résultats d'expériences ; elle est en outre, comme on sait, dépendante de la composition du train.

Voici les expériences qui ont été prises en considération :

1^o Les essais faits en 1902-1903 près de Zossen, résumés par la formule

$$\lambda = 0,0052 V^2 F$$

en kilogrammes, V , étant exprimé en kilomètres à l'heure, et la surface frontale du train, F , en mètres carrés.

2^o Les essais de Davis sur la ligne Buffalo-Lockport (*Street Railway Journal*, 1902) qui ont donné

$$\lambda = 0,0076 V^2 F$$

le coefficient de frottement des essieux valant 3 kgs par tonne, et celui du frottement sur les rails 0,04 V environ.

3^o Les essais de Barbier sur le Chemin de fer du Nord (*Revue des Chemins de fer*, 1898), d'où il résulte qu'un train de 14 voitures à deux essieux, pesant 160 tonnes, subit une résistance totale au roulement de

$$1^{kg} G = 0,023 V = 0,00046 V^2$$

Il y a lieu de remarquer que, dans ces derniers essais, la résistance de l'air sur la surface frontale de la locomotive fut déterminée théoriquement d'après la formule

$$\lambda = 0,0077 V^2 F$$

Cette dernière valeur est trop élevée d'après les essais très précis de Zossen ; comme la formule de Barbier a été

établie en déduisant cette valeur de la résistance de l'air λ , de celle donnée directement par les essais, il s'ensuit que les résistances au roulement des essais de Barbier sont plus grandes que cet auteur ne l'indique. En corrigeant la courbe de Barbier (qui représente la résistance totale en palier et en alignement droit en fonction de la vitesse) conformément à la remarque qui précède, elle ne diffère plus beaucoup de celle que l'on peut déduire des expériences de Zossen pour une composition de trains analogue à celle indiquée par Barbier.

4° Une formule déjà ancienne, donnée par Clark, fournit des résultats analogues.

En résumé, la résistance totale au roulement en kilogrammes par tonne pour un train de 14 voitures à deux essieux du poids de 160 tonnes, est :

A la vitesse de :	D'après		
	Barbier (formule corrigée)	les essais de Zossen	Clark
	kg t	kg t	kg t
0... ..	1,5	1,2	2,3
50... ..	4,4	3,9	4,4
100... ..	11,0	14,0	10,2

D'autres compositions de trains donnent naturellement des résultats quelque peu différents ; c'est le cas en particulier pour des wagons à bogies, pour lesquels la résistance est sensiblement plus faible.

Il va sans dire que la détermination des résistances au roulement de chaque train en particulier ne pouvait pas être entreprise dans la présente étude. C'est pourquoi la courbe donnant la résistance en kilogrammes par tonne, obtenue par les essais de Barbier pour des trains de 14 voitures, et corrigée comme il est dit ci-dessus, fut prise comme base des recherches qui vont suivre. Les résultats obtenus sont évidemment plus élevés que la réalité, vu l'emploi toujours plus fréquent des voitures à bogies.

Le calcul aurait été cependant trop imprécis si l'on avait adopté simplement la moyenne des résistances au roulement correspondant à la vitesse moyenne des express, des omnibus et des trains de marchandises, car les diverses valeurs de cette résistance contribuent à des taux différents à l'établissement de cette moyenne ; c'est pourquoi on a calculé pour une région assez étendue (1^{er} arrondissement des Chemins de fer fédéraux) le travail nécessaire pour le roulement de chacune des trois catégories de trains, en admettant pour ces trains des vitesses d'environ 5 km à l'heure plus faibles que les vitesses maxima autorisées. Le travail total de roulement fut ensuite réduit à la tonne-kilomètre : il en résulta une valeur moyenne de la résistance de 4,3 kg par tonne. Les express ont des valeurs qui varient entre 5,0 et 6,8 (exceptionnellement 4,5), les trains omnibus entre 4,5 et 5 (exceptionnellement 3) ; les trains de marchandises et les trains facultatifs entre 3 et 3,2.

Pour la résistance dans les courbes, on prit comme base la formule universellement adoptée donnée par Kœckl (*Organ*, 1881) :

$$W_c = \frac{650}{R - 55} \quad \text{kg par tonne}$$

R représente le rayon de la courbe en mètres. Il résulte d'une enquête que l'on peut adopter un rayon moyen de 1500 m. environ pour les chemins de fer fédéraux et de 970 m. pour le Gotthard, ce qui donnerait des résistances en courbe de 0,5 et 0,7 kg par tonne.

En adoptant la dernière de ces valeurs, la résistance totale moyenne atteint 4,3 + 0,7, soit 5 kg par tonne.

Sur la proposition des ingénieurs des chemins de fer, pour augmenter encore la sécurité de cette évaluation, le calcul a été fait avec 6 kg par tonne, afin de tenir compte de circonstances plus défavorables que celles des essais.

Comme, dans la première étude, on s'est toujours basé sur les données les moins favorables, il est permis d'affir-

mer que les résultats obtenus représentent très largement l'énergie nécessaire pour les lignes à voie normale, et que les besoins réels seront en tout cas plutôt inférieurs.

Pour les chemins de fer à voie étroite, on a adopté une résistance totale au roulement de 10 kgs par tonne, valeur qui est sans doute aussi trop élevée.

Si nous nous sommes étendu sur la façon dont ont été calculées les résistances au roulement, c'est dans l'intention de montrer par cet exemple particulier que les calculs n'ont pas été faits d'une façon superficielle, mais que, au contraire, ils ont été exécutés aussi exactement que possible et cela souvent à grand-peine.

TRAVAIL DE DÉMARRAGE. TRAVAIL DE FREINAGE. — Théoriquement, le travail fourni à un train au démarrage pour l'amener à sa vitesse maximum peut de nouveau être utilisé pour vaincre le frottement de roulement en supprimant la force motrice bien avant le prochain arrêt. La pesanteur peut aussi servir à fournir le travail de démarrage quand ce dernier se produit sur une pente.

La pratique montre que ce n'est que lorsque l'arrêt doit se faire sur des rampes d'environ 20 pour 1000 et plus, que l'on peut laisser le train s'arrêter et le chemin parcouru pendant le ralentissement soient trop grands ; de même, ce n'est que sur des pentes de même inclinaison que l'on peut utiliser pratiquement la pesanteur pour le démarrage aux vitesses usuelles (jusqu'à 100 km : h). C'est pourquoi le calcul de l'énergie nécessaire au démarrage de tous les trains prévus à l'horaire doit être fourni entièrement par le courant électrique, sans aucune déduction pour les démarrages en pente ou les arrêts en rampe.

Les valeurs ainsi calculées ont été augmentées encore de 30 pour 100 pour les omnibus et les trains de marchandises et de 110 pour 100 pour les express, afin de tenir compte de l'énergie nécessaire aux variations de vitesse pendant le trajet et aux démarrages imprévus près des signaux ou sur les tronçons en réparation. Ces adjonctions comprennent, en outre, l'énergie nécessaire à l'accélération des masses tournantes du train, énergie qui ne représente d'ailleurs que quelques pour 100 du travail nécessaire au démarrage.

Les poids de trains qui ont servi aux calculs ont été déterminés de la manière suivante :

Pour les Chemins de fer fédéraux, le Bureau de l'exploitation a fourni les tableaux de charge de tous les trains ; parmi ceux-ci, on a choisi les tableaux relatifs au mois d'août 1903 pour les trains express et omnibus, et ceux du mois d'octobre 1903 pour les trains de marchandises ; en effet, les trains les plus lourds de la première catégorie marchent ordinairement en août, tandis que les trains de marchandises sont les plus chargés en octobre (il arrive cependant qu'en août ces derniers ne sont guère plus légers).

En juxtaposant des deux valeurs maxima, on a la valeur la plus élevée possible du trafic de 1903. Les charges de train réellement observées furent déterminées pour chaque tronçon des quatre arrondissements des Chemins de fer fédéraux et cela de la façon suivante : pour chaque numéro de train, on fit la moyenne de toutes les charges de chacun des trains de ce numéro, puis la moyenne des charges de tous les numéros de trains donna celle de la catégorie correspondante (express, omnibus et marchandises) sur chaque tronçon.

On procéda de la même façon pour les charges maxima de chaque numéro et l'on tira enfin de tous les numéros d'une catégorie la charge maxima moyenne de la catégorie et du tronçon correspondant.

On ajouta encore, à ces charges de trains, les poids des locomotives. Pour cela on admit un coefficient d'adhérence de 1/7 au minimum et l'on détermina pour la rampe maximum du tronçon correspondant le poids nécessaire à ajouter. Ce poids correspond assez exactement à celui des locomotives actuelles (sans tender ni approvisionnements).

Dans la traction par locomotives électriques, ce poids représenterait celui de ces locomotives elles-mêmes, auquel cas les poids totaux des trains resteraient les mêmes. Dans la traction par automotrices, le poids supplémentaire de l'équipement électrique peut différer un peu du poids des locomotives d'une façon notable par cette différence. Les poids de trains ainsi obtenus furent arrondis, par excès.

On admit, en outre, que ces poids sont les mêmes dans les deux sens de marche ; si cette supposition n'est pas tout à fait exacte, les différences qui en résultent disparaissent en raison de l'influence prépondérante que la résistance au roulement a sur les chemins de fer fédéraux.

Pour le Gothard, les charges moyennes et maximum ont été indiquées par la Direction de cette ligne ; on en a déduit les poids des locomotives, puis ajouté les poids d'adhérence nécessaires, déterminés comme ci-dessus. Ici encore il a été admis dans le calcul que les charges dans les deux sens de marche étaient les mêmes.

Le trafic des autres chemins de fer suisses à traction à vapeur (à voie normale et à voie étroite) ne s'élève qu'à environ 8 pour 100 de celui des chemins de fer fédéraux et du Gothard réunis ; c'est pourquoi on s'est contenté de méthodes exigeant moins de temps et moins de calculs : il a suffi de comparer la statistique fédérale des chemins de fer pour 1902 avec les charges réelles des chemins de fer fédéraux et du Gothard pour reconnaître que les poids moyens indiqués par la statistique doivent être augmentés de 30 à 40 pour 100 pour obtenir les poids d'août et d'octobre. Cette addition de 30 à 40 pour 100 fut faite au poids moyen indiqué par la statistique, afin d'obtenir les poids de trains pour les mois les plus chargés.

(Ici, le rapport de la commission contient un tableau donnant les poids des trains sur les diverses lignes suisses : comme ce tableau n'intéresse que la Suisse, nous ne le donnerons pas, on le trouvera du reste dans le *Bulletin technique de la Suisse Romande*).

Les poids des trains d'hiver sont beaucoup plus faibles sur toutes les lignes des chemins de fer fédéraux. Ils varient entre 70 et 85 pour 100 de ceux des mois les plus chargés (août pour les express, octobre pour les trains de marchandises).

HORAIRE. — C'est l'horaire d'été 1904 pour les jours ouvrables (y compris les trains périodiques) qui fut pris comme base des calculs, et cela comme étant la période la plus chargée qui fût connue au début des études.

Afin de tenir compte de l'accroissement du trafic dû aux marchandises, on ajouta les trains de marchandises facultatifs qui circulerent réellement en octobre 1903, et cela d'après les Tableaux de charge des chemins de fer fédéraux et les communications de l'Administration du Gothard. Comme, sur cette dernière ligne, le nombre des trains se dirigeant vers le Sud s'est trouvé plus grand que celui des trains marchant en sens inverse, chacun des sens en marche a été traité séparément.

En outre, les calculs ont aussi été faits pour un *Jour d'hiver* et cela d'après l'horaire d'hiver 1903-1904 ; pour les chemins de fer fédéraux on choisit les trains réellement expédiés en 1904 ; pour le Gothard et quelques autres lignes, on se borna à une réduction proportionnelle des charges des trains d'été.

Ces bases établies, on peut procéder au calcul de l'énergie nécessaire. Il y a lieu de considérer :

A. L'énergie nécessaire pour le trafic pendant un temps donné, désignée par le nom d'énergie totale ou effective (ou même d'une façon incorrecte par puissance totale ou puissance annuelle).

B. La puissance nécessaire au trafic à un certain moment, désignée parfois sous le nom de puissance instantanée (ou d'une façon incorrecte par force momentanée).

La connaissance de l'énergie est nécessaire pour la détermination de la quantité totale d'eau annuelle et pour celle

de la puissance moyenne des usines génératrices ; il est, en outre, nécessaire de connaître les valeurs maxima de la puissance, afin de déterminer les dimensions des installations pour la production du courant et celles des lignes d'alimentation (du canal d'aménée de l'eau jusqu'au fil de ligne), ainsi que pour la détermination de la capacité nécessaire aux appareils d'accumulation électrique ou hydraulique.

CALCUL DE L'ÉNERGIE NÉCESSAIRE. — Le travail nécessaire par tonne de poids brut, pour gravir les rampes et vaincre la résistance au roulement se calcule de la façon suivante :

Si le travail dépensé pour l'ascension des rampes pouvait être récupéré au retour, à la descente, on aurait comme travail nécessaire à un voyage d'aller et retour $2\rho l$, en appelant l la longueur de la ligne en mètres et ρ la résistance totale au roulement, en kilogrammes par tonne.

Il y a lieu de remarquer qu'en pratique, dans tous les cas où la pente en pour 100 est plus grande que la résistance au roulement exprimée en kilogrammes par tonne, la force superflue est détruite par le freinage, se perd par conséquent, et doit être remplacée lorsque le train se meut en sens inverse.

Si l'on désigne par l_1 la longueur des tronçons sur lesquels ce cas se produit et par h_1 la somme des différences de niveau en montées et en descentes pour ces mêmes tronçons, ces deux quantités étant exprimées en mètres, cette énergie perdue se monte à $1000 h_1 - \rho l_1$ en kilogrammètres.

Il y aura donc à dépenser pour l'ascension des rampes et la résistance au roulement un travail de

$$A_{\rho+h} = 2\rho l + 1000 h_1 - \rho l_1 \quad (\text{en kilogrammètres})$$

pour un trajet d'aller et retour.

C'est d'après cette formule que ce travail a été calculé par tonne transportée, en se basant sur les longueurs l , l_1 et h_1 , données par les profils en long. Dans tous les cas où l'aller et le retour de trains isolés devaient être calculés séparément, une formule analogue a été employée. L'énergie rendue libre pendant les descentes (qui est ordinairement détruite par le freinage, mais qui, par des dispositions spéciales, pourrait être récupérée), dont l'importance est toute spéciale pour la traction électrique, est exprimée par la formule

$$A_r = 1000 h_1 - \rho l_1 \quad (\text{en kilogrammètres par tonne})$$

Elle a été déterminée dans chaque cas particulier.

Quant au travail d'accélération qui s'ajoute au travail de déplacement du train, nous renvoyons à ce qui a été dit plus haut.

Les manœuvres dans les gares exigent en outre un travail supplémentaire qui a été calculé pour toutes les gares où stationnent des locomotives de manœuvre. (Les manœuvres dans les gares qui n'ont pas de locomotives spéciales pour ce service sont de si peu d'importance qu'elles peuvent être négligées en tenant compte des différentes approximations par excès que nous avons faites).

Le nombre des locomotives de manœuvre et leur nombre d'heures de service journalier sont connus ; en se basant sur le fait d'expérience qu'une heure de manœuvre représente environ 60 km, exigeant environ 10 kg de charbon, on détermina la dépense totale de combustible de ces machines ; en admettant, en outre, une consommation de 2 kg de charbon pour chaque cheval-heure fourni, on put finalement calculer le nombre total de chevaux-heures exigés par ce service. Comme en somme ce service ne représente qu'une faible partie de l'énergie totale mise en jeu, ce procédé approximatif est amplement suffisant.

Le chauffage et l'éclairage des trains, qui ne rentrent qu'en partie dans l'énergie à fournir par les locomotives actuelles, devront, au contraire, être complètement fournis par le courant dans le cas de la traction électrique. Pour la

calcul de la dépense, on s'est basé sur le nombre des places de voyageurs. Ce nombre a pu être déterminé avec une approximation suffisante d'après le nombre et le poids des véhicules, en admettant d'une part avec la statistique des chemins de fer que la tare des wagons s'élève à un quart de tonne par place de voyageur et, d'autre part, en se basant sur le fait d'expérience que le nombre des places est exprimé par la moitié du poids du tram ; chaque tonne de tram peut donc être comptée pour deux places de voyageurs. C'est naturellement les poids des *trains d'hiver* qui ont servi de base au calcul.

Pour le *chauffage* on peut admettre une puissance dépensée de 0,156 kilowatt par place, d'après les expériences faites sur le chemin de fer électrique de Fribourg à Morat, sur lequel 7,5 kilowatts suffisent pour des wagons de 48 places. En admettant que le temps de marche des appareils de chauffage dure 7 heures par jour, ce qui est la moitié du temps total de travail d'un wagon, on déduit que, pour chaque place, il est nécessaire de fournir, par jour, une énergie de

$$\frac{0,156 \times 7}{0,736} = 1,48 \text{ cheval-heure,}$$

soit en chiffres ronds 1,5 cheval-heure.

Pour l'*éclairage*, on s'est basé sur une intensité de 2 bougies par place, et ce qui représente pour les lampes ordinaires une puissance de 7 watts ; comme, en outre, les Chemins de fer fédéraux accusent un rendement moyen de 0,3 pour cet éclairage, il s'ensuit que chaque place exige une puissance de

$$\frac{0,007}{0,3 \times 0,736} = 0,031 \text{ cheval-heure,}$$

ce qui représente pour un éclairage de 8 heures par jour, un travail de

$$0,031 \times 8 = 0,25 \text{ cheval-heure environ}$$

Les *résultats de tous les calculs d'énergie* sont consignés dans une suite de tableaux, qui indiquent pour chacun des tronçons d'une même ligne, différents comme nature d'exploitation, la longueur du parcours, le poids moyen des trains et le nombre des trains de chaque catégorie, les tonnes transportées, le travail à dépenses par tonne et par course, le travail éventuellement disponible en pente, le nombre des démarrages et le travail total de roulement qui en résulte par tonne-kilomètre. Pour donner une idée de la minutie de ce travail, disons que la ligne Genève-Berne a été partagée en tronçons comme suit : Genève-Morges, Morges-Lausanne, Lausanne-Palézieux, Palézieux-Romont, Romont-Fribourg, Fribourg-Berne.

Il en résulte pour l'*énergie nécessaire en un jour d'été, pour l'ensemble des chemins de fer suisses à vapeur, l'énergie étant mesurée à la jante des roues motrices*, les nombres suivants : pour la traction conformément à l'horaire environ 1 150 000 chevaux-heure (les Chemins de fer fédéraux et les lignes exploitées par eux forment les 2/3 de ce nombre, les Chemins de fer fédéraux et le Gotthard ensemble les 90 pour 100 de ce nombre) ; il y a lieu d'ajouter pour les manœuvres dans les gares environ 50 000 chevaux-heures, ce qui porte l'énergie nécessaire à 1 200 000 chevaux-heures.

En été, le chauffage est nul, l'éclairage insignifiant.

Enonçons ici quelques considérations suggérées par ces résultats :

En admettant un système d'exploitation qui ne permette aucune récupération d'énergie dans les descentes, nous avons donc à fournir chaque jour 1 200 000 chevaux-heures aux jantes des roues motrices. Quant au travail à fournir journellement par les *stations centrales*, il dépend du système adopté et de son rendement. Ce système ne peut pas encore être déterminé pour le moment, mais l'on peut pré-

voir cependant qu'il doit être possible, même avec le système le moins avantageux, d'obtenir un rendement total moyen de 45 pour 100 entre le travail utilisable aux jantes de l'énergie fournie par les turbines des stations primaires. Calculons avec 40 pour 100 seulement. Il nous semble que ce rendement tient largement compte des pertes qui se produisent dans le système à courant alternatif à triple transformation (élévation de la tension dans la station centrale, abaissement de la tension aux fils du trolley et nouvel abaissement dans la voiture motrice), ou dans le système triphasé avec transformation en continu et batteries d'accumulateurs. Les *turbines* devront donc fournir journellement 3 000 000 de chevaux-heures.

En négligeant, pour le moment, les réserves hydrauliques à constituer pendant les différentes saisons de l'année, et en considérant la dépense de l'été comme la plus forte de celles qui peuvent se produire, ces 3 000 000 de chevaux-heures exigeraient *une puissance continue de 125 000 chevaux pendant 24 heures par jour*.

Ils semble que les forces hydrauliques actuellement disponibles en Suisse dépassent ces 125 000 chevaux. L'un des plus récents projets étudiés serait capable à lui seul de fournir le 1/5 de cette puissance. Mais il ne faut pas oublier que les forces hydrauliques ne sont pas réparties dans notre pays de façon à être toutes à proximité des lieux d'utilisation et qu'en outre, toutes les forces hydrauliques ne conviennent pas à la traction électrique ; en outre, les chutes proches de la frontière ne semblent pas propres à être utilisées pour le service des chemins de fer. Il n'est pas superflu de chercher les moyens de réduire la puissance nécessaire. En particulier l'étude de la question de la *récupération de l'énergie* dans les descentes s'impose.

(A suivre.)

La Distribution de l'Énergie Électrique dans la Ville de Grenoble

(Suite)

Conférence faite le 28 mai 1906, devant la *Société pour le développement de l'Enseignement technique près l'Université de Grenoble*, par M. F. JENNY, Ingénieur, chef du service électrique de la ville de Grenoble.

SECTEUR MUNICIPAL

La distribution générale de l'Énergie Électrique sur tout le territoire de la commune de Grenoble est donc réalisée par des courants alternatifs triphasés à 3 fils et 50 périodes.

Des *feeders* souterrains à 5 000 volts distribuent le courant dans les différents postes où il est transformé à 125 volts.

De là, le courant à basse tension est divisé en 2 parties distinctes ; l'éclairage particulier, et l'éclairage public. Le double réseau est souterrain dans le centre de la ville et dans les avenues où il était impossible de réaliser différemment le transport ; il est aérien dans la périphérie et dans la banlieue, partout où ce mode d'installation a pu être adopté.

Toutefois, dans la banlieue, pour des raisons que nous indiquerons tout à l'heure, le réseau d'éclairage public n'est pas complètement distinct du réseau particulier ; il est constitué par un simple fil d'allumage et d'extinction.

Réseau primaire. Feeders. — Les 7 panneaux de *feeders* dont il a été question précédemment, commandent chacun un câble à 5 000 volts alimentant séparément un quartier de la ville. Les 3 premiers distribuent l'énergie électrique au centre et à l'est, c'est-à-dire dans la partie de