

Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 13 (1887)
Heft: 4

Artikel: Principes généraux pour l'établissement d'un réseau de chemins de fer régionaux
Autor: Alesmonières, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-13723>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.04.2026

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

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 8 FOIS PAR AN

Sommaire : Principes généraux pour l'établissement d'un réseau de chemins de fer régionaux, par A. Alesmonières, ingénieur. — Bibliographie. Manuel sur l'inflammation des mines par l'électricité. — Concours d'esquisses. — Cinquantenaire de l'inauguration des chemins de fer français.

PRINCIPES GÉNÉRAUX POUR L'ÉTABLISSEMENT D'UN RÉSEAU DE CHEMINS DE FER RÉGIONAUX

par A. ALESMONIÈRES, ingénieur.

M. l'ingénieur Alesmonières, à Coppet, nous communique un rapport présenté par lui en août 1886 au Conseil général du département de la Haute-Savoie.

Il étudie dans ce travail dix lignes de tramways à locomotives, d'une longueur totale de 192 kilomètres. Ces tramways seraient construits sur l'accotement des routes et auraient une largeur de 0^m75.

Nous reproduisons ici la partie de ce rapport qui présente un intérêt général, c'est-à-dire la méthode suivie par l'auteur pour déterminer les régions où ces tramways sont possibles, au point de vue financier, et pour établir, autant que faire se peut, leur budget.

Marche suivie dans l'étude du réseau. — Tout d'abord, il y avait lieu de déterminer les *directions utiles*, c'est-à-dire l'ensemble des lignes répondant à un besoin réel de circulation.

Ensuite, nous avons recherché, parmi ces directions utiles, la *possibilité technique* des voies ferrées en raison des conditions d'établissement des pentes, des rampes, des courbes, des obstacles naturels, de façon à écarter celles qui ne pourraient se construire ou s'exploiter sans dépenses reconnues exagérées a priori.

Enfin, pour chaque ligne maintenue comme utile et matériellement possible, nous avons recherché la *possibilité financière*, c'est-à-dire les dépenses de construction, le revenu brut, les dépenses d'exploitation, l'utilité sociale, c'est-à-dire toutes les questions qui permettent de reconnaître si la ligne peut être concédée sans que les charges imposées au concessionnaire ou au public soient supérieures aux avantages à en retirer.

1^o Détermination des directions utiles.

Principes généraux. — Le département de la Haute-Savoie est amplement pourvu de voies ferrées. Ce ne sont plus que quelques vallées secondaires que les chemins de fer ont délaissées qu'il s'agit de desservir et de pourvoir de moyens de communications rapides et plus économiques que les routes de terre d'une région généralement montagnaise.

Parmi ces vallées, nous avons à rechercher celles qui, d'une

part, se trouvaient le plus au centre des mailles du réseau des chemins de fer d'intérêt général, et, de l'autre, celles qui, dans cette situation, présentaient la population la plus dense, l'indice de la population étant certainement en rapport avec la plus grande somme d'intérêts à desservir, dans une région où les produits agricoles prédominent de beaucoup sur les intérêts industriels.

Nous avons recherché les principaux courants de circulation déjà établis sur les routes, courants qu'il n'y a pas à déplacer, mais, au contraire, à faciliter et à diriger, comme affluents des voies ferrées d'intérêt général.

Ces deux termes, population et courants de circulation, sont solidaires et doivent se contrôler l'un par l'autre.

C'est ainsi que nous avons établi :

- 1^o Une carte des populations ;
- 2^o Une carte figurative des transports utiles.

Carte figurative des populations. — Pour dresser cette carte nous avons pris chaque commune comme centre d'un cercle dont la surface est proportionnelle au nombre d'habitants. Ce nombre est d'ailleurs inscrit dans le cercle qui est teinté en rose. L'échelle de ces cercles est de 100 millimètres carrés pour 2000 habitants ; le diamètre en est donné en millimètres par la formule $D = 0,252 P$, D étant le diamètre, P la population.

Il est facile ainsi de se rendre compte à première vue de la densité de la population par l'intensité de la coloration que produit le rapprochement ou l'écartement des disques. On voit que la densité locale, et, par suite, la plus grande somme d'intérêts desservis, n'est pas toujours sur le tracé même des voies ferrées existantes.

Indépendamment des directions utiles, cette carte figurative des populations sert aussi à déterminer le trafic probable des diverses lignes par les méthodes que nous exposerons plus loin.

Carte figurative des transports utiles. — Pour chacune des routes desservant les directions utiles, nous avons eu recours aux documents émanant de l'Administration des Ponts et Chaussées qui fait relever la circulation sur ces routes à périodes espacées de cinq années. La dernière opération a eu lieu en 1882.

Ces comptages, effectués sur chaque route en diverses stations et à différentes époques de l'année, font connaître pour chacune le nombre de chevaux ou colliers des voitures d'agriculture, de roulage, publiques ou particulières, vides ou chargées de marchandises, avec ou sans voyageurs, qui circulent

en moyenne par jour sur la section de route considérée. Des coefficients variables, suivant la région et résultant de l'expérience, permettent d'apprécier le tonnage en marchandises, et le nombre de voyageurs transportés.

C'est ainsi que sur certaines routes, à profil peu accentué ou dont le trafic spécial est presque entièrement à la descente (route nationale N° 202, entre Bioge et Thonon), on a admis par collier, pour le poids brut, véhicule et chargement compris, le coefficient de 2^r par collier, et pour le chargement utile 1^r60; pour d'autres, à profil horizontal et à trafic dans les deux sens (route nationale N° 5 entre Douvaine et Thonon), ces coefficients s'abaissent à 1^r20 et 0^r75.

Les coefficients relatifs au nombre des voyageurs transportés varient à raison de 0^r70 à 0^r50 par collier de voiture publique, et de 0^r50 à 0^r25 pour les voitures particulières. Nous en avons déduit le nombre de voyageurs en comptant pour cent kilogrammes le poids d'un voyageur avec ses bagages. De telle sorte que, suivant la route, un collier de voiture publique représente de 7 à 5 voyageurs, et un collier de voiture particulière de 5 à 2 voyageurs. Il n'a pas été tenu compte ni des voitures vides, ni des piétons qui ne donnent pas de transport utile, ni des voitures d'agriculture qui vont des champs à la maison et ne font, par conséquent, que des transports qui échapperaient à la voie ferrée.

Pour dresser la carte des transports nous avons tracé sur l'un des côtés de l'axe de la route une bande rose proportionnelle au nombre de tonnes utiles transportées; sur l'autre côté, une bande bleue représente le nombre de voyageurs circulant journellement en moyenne sur la section de route considérée.

Les longueurs de sections, les nombres des voyageurs et des tonnes, ainsi que les villes et localités principales du parcours sont également indiqués.

La largeur des bandes est de deux millimètres par cent unités de trafic, tonnes ou voyageurs.

L'indication des lignes de chemins de fer et des principales routes des vallées complète la carte et permet ainsi d'embrasser d'un coup d'œil le sens des courants commerciaux et de circulation à desservir, ainsi que leur importance. Elle permettra donc de déterminer les directions des principales lignes du réseau et d'évaluer ensuite les résultats probables de l'exploitation pour chacune d'elles, en partant de ce principe qu'elle représente non la circulation totale sur la route, mais seulement la partie utile de la circulation susceptible par sa nature d'être absorbée par une voie ferrée.

Tableau des directions utiles. — L'étude des cartes figuratives des populations et des transports utiles nous ayant permis de reconnaître les principaux courants commerciaux et les principales agglomérations d'habitants, nous avons pu arrêter la liste des directions suivant lesquelles il serait désirable d'établir des chemins de fer économiques et sur lesquelles devaient porter nos études ultérieures.

Nous avons été guidé aussi dans cette liste par les vœux des représentants des divers cantons.

2° Détermination des possibilités techniques.

Les conditions techniques sont de deux sortes: il faut rejeter les lignes dont l'établissement nécessiterait des travaux d'art coûteux et celles dont les inégalités de profil, les fortes rampes

grèveraient l'exploitation de dépenses hors de proportion avec le produit du trafic.

Nous avons donc examiné, au préalable, avec soin sur place, toutes directions utiles reconnues, et ensuite au moyen des documents qui nous ont été obligeamment communiqués par l'Administration des Ponts et Chaussées.

Nous sommes parti du principe d'écarter toute direction à laquelle la route correspondante ne pouvait pas se prêter en plan et en profil, au moins sur la majeure partie du parcours, et aussi celles qui, pour rejoindre les routes, nécessiteraient des travaux spéciaux trop considérables.

Nous n'avons pas admis qu'une traction sur routes par moteurs mécaniques soit suffisamment avantageuse dès qu'on est en présence de rampes atteignant 5 % sur une certaine longueur. Nous ne présentons pas dans ces extraits l'examen détaillé de chacune des directions, et les motifs qui nous ont amené à écarter certaines d'entre elles.

Nous ne voulons pas dire que toutes les lignes que nous avons retenues soient bonnes, c'est-à-dire suffisamment possibles au point de vue de l'exploitation, même avec une garantie d'intérêt assurée, mais nous avons voulu que, si d'autres considérations que celles purement financières militaient un jour en leur faveur, leur situation relative à ce point de vue fût bien appréciée.

3° Détermination des conditions financières des lignes d'un réseau.

Bien que les intérêts à desservir soient justifiés, que les conditions techniques soient possibles, pour qu'une ligne ferrée rende les services qu'on attend, il faut qu'elle puisse vivre, en un mot qu'elle soit en présence d'un trafic suffisant pour couvrir d'abord les frais d'exploitation et laisser ensuite aux capitaux engagés un intérêt suffisant.

L'examen de cette question assez complexe porte sur plusieurs éléments dont la détermination est des plus importantes: ce sont: *le produit brut de la ligne*, qui est en fonction du trafic et des tarifs à percevoir; *les dépenses d'exploitation* et *le capital de construction*.

Trafic probable. — De ces trois éléments, les deux derniers sont relativement faciles à déterminer, suivant le type de voie, le mode de traction adopté. Mais le produit brut d'une ligne d'intérêt local, surtout en dehors de tout caractère industriel ou urbain bien défini, peut donner lieu à des évaluations variant non seulement du simple au double, mais même au quintuple; on en a vu des exemples, établis de bonne foi par des esprits consciencieux.

C'est contre de tels écarts que nous avons voulu être pré-muni et nous exposons sommairement les méthodes que nous avons employées pour y arriver.

Evaluation du trafic par les renseignements directs. — Si l'on pouvait arriver à avoir d'une façon exacte le tonnage de chaque nature de produits, le nombre de voyageurs de chaque catégorie, circulant chaque jour d'un point du parcours à un autre point, on pourrait facilement admettre que la ligne ferrée substituée à la route absorberait tout le trafic de celle-ci; s'il y avait erreur, elle serait certainement compensée par l'accroissement de circulation amenée par le chemin de fer.

Mais, outre qu'il n'existe aucun contrôle de cette nature, les

CHEMINS DE FER ÉCONOMIQUES SUR ROUTES

VOIE DE 0^m75

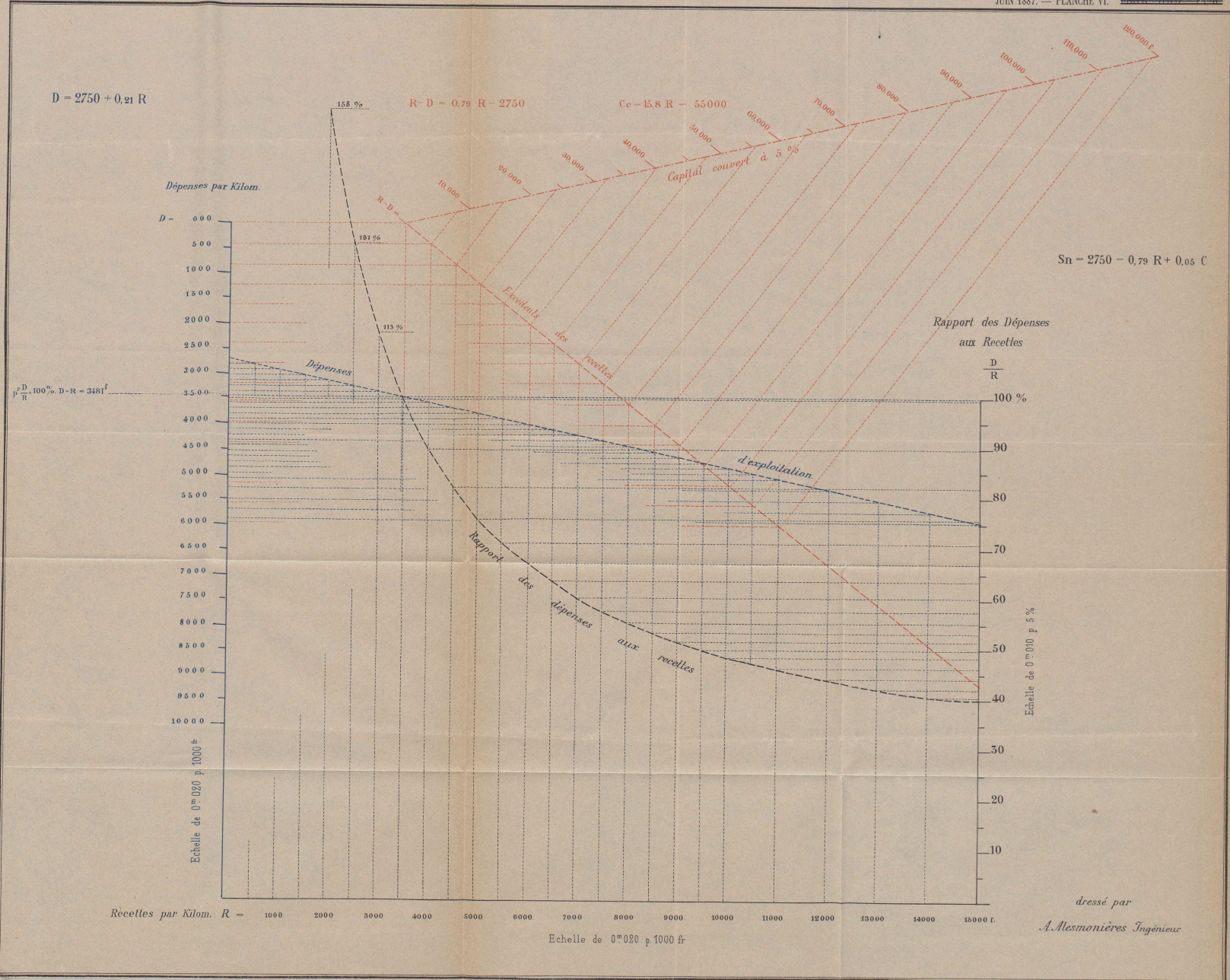
DIAGRAMME

des DÉPENSES d'exploitation en rapport

avec les RECETTES présumées et le CAPITAL de construction

Soc^{te} vaudoise des Ingénieurs et des Architectes

JUN 1887. — PLANCHE VI. ~~1887~~ 1887



Seite / page

leer / vide /
blank

renseignements donnés à cet égard, en général par les maires ou les personnes notables du pays, sont toujours très élastiques et conçus le plus souvent dans des sens bien différents. On peut bien être renseigné assez exactement sur le nombre de voitures publiques, de chevaux de particuliers, sur les produits et les tonnages de telle usine ou carrière, scieries, marbres, bois exportés, combustibles employés; mais, en l'absence d'octroi municipal, les produits agricoles, les denrées qui constituent la base même du trafic, échappent à l'analyse.

En outre telle appréciation est conçue en vue d'une augmentation calculée des produits, justifiée par le désir d'avoir une station, telle autre donnée avec négligence est absolument incomplète et sans usage.

Enfin, en admettant même que le temps et les moyens dont on dispose aient permis de réunir tout ces résultats sur le parcours, il paraît absolument impossible de s'en servir avec exactitude, attendu qu'on n'a aucune base pour apprécier nettement l'échange de circulation entre les divers points d'une même ligne; tout au plus peut-on l'évaluer entre ceux-ci et les deux extrémités et par parties seulement.

Nous n'avons donc pu, pour une étude d'ensemble aussi étendue que celle que nous présentons, employer cette méthode d'évaluation. Nous n'avons fait exception que pour deux lignes à produits et à courants de circulation bien définis d'une extrémité à l'autre. Ce sont celles d'Annecy à Thônes et de Thonon à Bioge. Elles sont dans des conditions tout à fait similaires: elles desservent les deux vastes régions forestières, agricoles et pastorales du département, et aboutissent toutes deux, après un faible parcours utilisé tout entier, à deux villes chefs-lieux, stations importantes de chemins de fer. Il n'y a pas lieu de s'étonner que les conditions financières, comme le démontre la suite de cette étude, en soient semblables.

Nous avons donc fait le relevé, pour ces deux lignes, des principaux produits d'exportation et d'importation et nous nous en sommes servi pour contrôler les résultats fournis par les autres méthodes.

Evaluation du trafic par les comptages. — L'exposé que nous avons fait de la carte et du tableau des transports utiles fait suffisamment comprendre le fonctionnement de la méthode d'évaluation du trafic par les comptages; néanmoins, quelque séduisante qu'elle paraisse par sa clarté et sa précision apparente, plusieurs causes contribuent à la vicier.

D'abord, les agents inférieurs, cantonniers ou autres, qui constatent les passages, sont loin d'être uniformes dans leurs appréciations, bien que les formules qu'ils ont à remplir soient nettes et précises; ensuite, dans chaque arrondissement, sur chaque route, le mode d'établissement des coefficients varie.

Enfin, si l'on admet que la ligne ferrée produira plus que la route, en se reportant à ce qu'était la circulation de telle ou telle route avant le chemin de fer qui lui est parallèle et dont le trafic est bien supérieur, on est amené à une évaluation trop considérable qui expose à de graves mécomptes; car on ne tient pas compte ainsi du fait du tonnage du transit du chemin de fer et de l'effet d'attraction réciproque des grands centres créé par les grandes lignes.

Si, au contraire, on considère que certaines évaluations préalables ont induit à un trafic bien supérieur à celui qu'a révélé le chemin de fer après quelques années d'exploitation, laissant

à la route parallèle une circulation très notable, et ne couvrant pas ainsi les frais auxquels il devait suffire, on est amené à ne pas tenir compte des faits réels pour de petites lignes, bien renfermées dans leurs coût et leurs destinées, et sur lesquelles les diminutions, pas plus que les augmentations, quoique probables, ne peuvent se traduire dans une grande proportion.

Ne voulant être ni optimiste, ni pessimiste, nous avons voulu éviter ces deux écueils en adoptant les bases suivantes:

Nous avons pris les chiffres indiqués à la carte et au tableau des transports utiles, dont toutes les non-valeurs, pour une voie ferrée, ont été éliminées et admis que celle-ci profiterait entièrement de la circulation de la route sur laquelle elle serait établie; l'augmentation indubitable qui se produira au bout d'un certain nombre d'années représentera, pour nous, une circulation égale à celle qui continuera d'utiliser la route, indépendamment des voitures d'agriculture, des piétons, des non-valeurs.

Nous avons admis cette base avec d'autant plus de confiance que nos lignes ne sont nulle part parallèles aux chemins de fer établis, puisqu'elles en sont, au contraire, des affluents, à voie de largeur différente, et qu'elles ne risqueront pas ainsi de voir une partie du trafic des routes absorbé par ceux-ci.

Les comptages étant établis, il a suffi de multiplier les chiffres trouvés par les longueurs de chaque section pour obtenir les voyageurs ou tonnes ramenés au parcours d'un kilomètre. Nous n'avons pas cherché, pour l'application de cette méthode, à utiliser le centre de gravité théorique du trafic, que nous avons déterminé, en ramenant tout le trafic à un parcours moyen unique, considérant ce procédé comme ne tenant nullement compte de la réalité de faits, alors que les courants de circulation sur une même ligne ne se font pas uniquement d'une extrémité à l'autre, mais aussi dans des sens divers inter-locaux, qu'il est presque impossible d'apprécier exactement.

Le nombre des unités kilométriques ainsi établi entre les diverses stations, il a suffi d'appliquer au total le chiffre des tarifs moyens par kilomètre pour obtenir la recette brute journalière de chaque ligne; de là, on a déduit la recette kilométrique annuelle.

Evaluation du trafic probable par la population. — L'examen de la carte figurative des populations nous a déjà servi à fixer les directions utiles. Mais elle fournit encore un élément important pour la détermination du trafic probable de chaque ligne.

En effet, les lois générales de la circulation obéissent à un ensemble de faits économiques et dérivent d'un principe constant, qui ont été l'objet de nombreuses vérifications.

C'est M. J. Michel, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui en a déterminé les formules pratiques, en partant de ce principe que deux populations égales dans des conditions de milieu analogues, donnent lieu, pour leurs besoins sociaux, à un trafic égal ou, en d'autres termes, le rapport du trafic d'une station à la population de cette station, est sensiblement constant pour des lignes établies dans une même région de la France ou des régions semblables, et dans des régions peu différentes du tracé.

Si donc nous considérons le trafic des stations des lignes construites et exploitées dans la région de l'Isère, qui avoisine la Savoie et celui des deux départements de la Savoie, ainsi que celui des lignes de la Suisse romande, nous devons avoir

une base sûre pour les lignes de la Haute-Savoie, c'est-à-dire que les premières nous fourniront une limite que nos évaluations ne devront, en aucun cas, dépasser.

En partant de ces principes, M. Michel a trouvé que la moyenne de trafic est, par habitant de stations et par an, pour la France entière de 13 voyageurs et 4,2 tonnes,

Pour les lignes de la Compagnie P.-L.-M.	12,2 »	4,4 »
Pour les lignes de la Suisse romande	10,3 »	3,2 »
Pour les lignes de l'Isère (ancien Dauphiné)	12,1 »	8,8 »

Il faut tenir compte que l'Isère a sur la Savoie une certaine supériorité industrielle; aussi nous avons trouvé pour les lignes exploitées des deux départements de la Savoie les coefficients 8,2 voyageurs et 2,9 tonnes.

Ainsi donc il nous suffirait de multiplier les populations de chacune des stations des lignes projetées par 8,2 et 2,9 pour avoir le nombre des voyageurs et de tonnes de marchandises à appliquer au parcours total.

Mais pour avoir le trafic vrai de la ligne, il faut tenir compte aussi du parcours effectué par le trafic que donne chaque station de l'une à l'autre, sinon pour toutes au moins pour les principales; c'est le trafic inter-local.

Quand les lignes sont courtes et à courant commercial bien déterminé entre les deux extrémités, telles que celles de Bioge à Thonon, de Thônes à Annecy, on peut bien appliquer au trafic fourni par les stations extrêmes la distance du parcours en négligeant celui des points intermédiaires; mais quand on se trouve en présence de lignes à courants multiples, si l'on appliquait la formule intégralement, on s'exposerait à de graves erreurs. Nous avons cherché à y échapper en indiquant à chaque station le sens de chaque courant et en fractionnant pour chacun d'eux le chiffre total de la population de la station (par exemple pour la ligne d'Annecy à Seyssel). Nous avons également admis dans nos chiffres, non seulement la population de la station, mais aussi la population groupée dans un rayon de trois kilomètres en moyenne de façon à tenir compte du mouvement inter-local et l'attraction réciproque que les centres de population exercent les uns sur les autres. Enfin, pour les populations des points extrêmes à plusieurs lignes (Annecy-Thonon), nous n'avons admis qu'une fraction proportionnelle, $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ de la population totale.

Les courants de circulation ainsi fixés et leur longueur établie pour chaque station, en multipliant par les distances les chiffres des populations admises, on a eu un chiffre total de populations-kilomètres, lequel, divisé par la population totale simple, a donné la longueur du parcours moyen théorique ou distance au centre de gravité des populations sur chaque ligne.

Cette distance a servi de base d'application de parcours pour la détermination du trafic.

En résumé, si nous appelons

p la population de chaque station,

v le nombre de voyageurs fournis par chaque habitant,

t le nombre des tonnes par marchandises,

g la distance moyenne en kilomètres de parcours pour chaque ligne (distance au centre de gravité),

le trafic sera donné par la formule

$$T = \sum p + g (v \times t),$$

en unités kilométriques. Il suffira d'appliquer les chiffres ou coefficients propres à chaque ligne, pour en déterminer le trafic probable.

Nous avons vu que dans la Savoie et la Haute-Savoie chaque habitant de station fournissait

v = 8 voyageurs et t = 3 tonnes de marchandises.

Nous n'avons pas appliqué ces chiffres intégralement, surtout en ce qui concerne les voyageurs, uniformément aux lignes du réseau étudié, en raison du trafic de transit dont il faut tenir compte et qui leur fera en grande partie défaut. Nous avons été amené à examiner en détail les conditions de chaque ligne et à admettre, pour chacune d'elles, des coefficients bien inférieurs en raison de leurs fonctions, savoir pour les lignes de

1° Annecy-Seyssel,	v = 4,	t = 2;
2° Frangy-Saint-Julien,	v = 2,	t = 1;
3° Annecy-Thônes,	v = 3,	t = 2;
7° Thonon-Douvaine,	v = 2,	t = 1,5;
8° Douvaine (Tougues)-Machilly,	v = 2,	t = 1;
9° Thonon-Evian (Petite Rive),	v = 5,	t = 0;
10° Thonon-Bioge,	v = 3,	t = 3.

Evaluation du produit brut. — Le trafic et le parcours moyen étant établis pour chaque ligne par l'une ou l'autre des méthodes, il suffit, pour connaître le produit brut, de multiplier le nombre de voyageurs et celui de tonnes de marchandises par les prix moyens de transport.

Les prix moyens de transport sur les chemins de fer français sont, pour toutes les classes et par kilomètres, de 0 fr. 0606 par voyageur et 0 fr. 0615 par tonne, c'est-à-dire sensiblement égaux. Ces prix sont bien inférieurs aux tarifs autorisés; nous avons cru devoir encore les abaisser, pour les voyageurs, dont nos lignes fourniront un contingent de 3^e classe plus grand, à 0 fr. 055; pour les marchandises, des raisons, que nous développerons lors de l'examen raisonné des tarifs, nous ont conduit au tarif moyen kilométrique de 0 fr. 10, qui présente encore une économie considérable sur le tarif actuel par voie de terre qui est de 0 fr. 25 au minimum par tonne et par kilomètre. Cette économie sera largement suffisante pour assurer la majeure partie du trafic à la voie ferrée. L'évaluation du produit brut de chaque ligne par kilomètre, sera donc donné, en tenant compte du retour, par la formule:

$$R = \sum p + g (0,055 v + 0,10 t) \times 2.$$

Frais d'exploitation. — Pour déterminer les frais d'exploitation d'un ensemble de lignes ferrées, on emploie généralement la méthode par comparaison.

On comprend aisément que, si l'on prend pour l'ensemble des lignes exploitées le rapport à la dépense de la recette kilométrique, on puisse appliquer ce rapport à la détermination d'une ligne à construire dans des conditions analogues.

On connaît ces chiffres pour les voies ferrées du premier et du second réseau des grandes lignes, pour les chemins de fer d'intérêt local; mais pour les tramways, encore peu nombreux, on n'a d'autres données que celles des tramways à vapeur des grandes villes, dont les fonctions et les résultats sont tout différents de ceux que vise la loi de 1880 qui sont destinés surtout à faciliter les relations agricoles et industrielles des régions actuellement en dehors des voies ferrées.

Pour les lignes du grand réseau général, l'étude complète a démontré que le rapport de la recette à la dépense s'élève à plus de 95 % quand les recettes ne s'élèvent qu'à 6000 fr. par kilomètre, en passant à 60 % pour une recette de 12 000 fr. et descendant à 40 % environ quand le trafic est supérieur à 60 000 fr. par kilomètre.

Cela démontre que pour ces lignes, lorsque la recette s'abaisse à moins de 6000 fr., il y a déficit sur les frais d'exploitation, ou, en d'autres termes, que les frais d'exploitation, quelle que soit la recette, fût-elle même nulle, ne peuvent descendre à moins de 6000 fr.

Pour les chemins de fer d'intérêt local la moyenne constatée est de 4950 fr. par kilomètre, pour 5480 fr. de recettes, ce qui donne un rapport de 90 %.

Il faut en effet remarquer que les frais d'exploitation se composent de deux éléments : une partie fixe, constante (entretien de la voie et du matériel, frais du personnel et d'administration), et une partie variable, celle des frais d'exploitation et de traction, qui augmente avec le trafic et s'abaisse en même temps que celui-ci. Mais quand même, ce second élément ne peut descendre au-dessous d'une certaine limite ; n'y eût-il ni voyageurs, ni marchandises, la circulation d'un certain nombre de trains est encore imposée. De même les frais de traction et d'exploitation ne s'accroissent pas dans la même proportion que le trafic : plus le trafic augmente, plus le rapport de la dépense d'exploitation à ce trafic diminue, tout en s'accroissant, par lui-même. Ainsi on peut doubler le nombre des wagons d'un train, doubler même le nombre de trains, sans que les dépenses d'exploitation soient doublées.

Partant de ces principes, à défaut de documents pouvant s'appliquer à notre réseau, nous avons établi avec soin et directement les frais d'exploitation de toute nature des lignes dont nous avons demandé la concession, puis nous avons, par analogie et pour chacune des autres, déterminé ces dépenses. Nous croyons ainsi que la méthode directe a dans ce cas un caractère de précision plus grand.

Nous avons établi que les recettes brutes étant évaluées $R = 6250$ fr. par km.
les dépenses d'exploitation seraient $D = 4050$ »

Le rapport des dépenses aux recettes est donc $\frac{R}{D} = 0,65$.

Nous avons recherché quel était l'élément constant dans ces dépenses d'exploitation.

Notre exploitation est basée sur un parcours total de 600 kilomètres-trains par jour, et nous avons déduit du chiffre total de dépenses un coût total de train-kilomètre de 1 fr. 15 cent.

Or quel que soit le résultat des recettes, il n'est pas possible de prévoir sur les lignes projetées moins de trois trains par jour ; sans cela elles n'auraient aucune raison d'être prévues, comme cela résulte du tableau des transports utiles.

Trois trains-kilomètre dans chaque sens à 1 fr. 15 cent. par jour représente une dépense annuelle de 2737 fr. par kilomètre, soit 2750 fr.

Ce chiffre représente donc, dans ce cas, la limite inférieure des dépenses d'exploitation, au-dessous de laquelle elles ne peuvent descendre, les recettes fussent-elles nulles.

Cela ne veut pas dire que toute recette au-dessus de ce chif-

fre constituerait un bénéfice, attendu que, en cas de recettes, les dépenses augmentent jusqu'au chiffre où ces deux quantités, dépenses et recettes s'équilibrent, qui est 3480 fr. comme nous le verrons.

Cette limite $l = 2750$ fr., la différence $D-l$ ($4050 - 2750$ fr.) soit $E = 1300$, constitue l'*excédent des recettes* à attribuer au fait même du trafic prévu applicable à la rémunération du capital.

En examinant ce trafic en fonction des recettes, pour chacune des autres lignes, et y faisant intervenir cet élément constant, limite des frais, l , il nous sera donc possible de déterminer les dépenses d'exploitation à prévoir en y ajoutant un élément variable suivant l'importance des recettes.

Ces quantités seront liées entre elles par la formule

$$R(r-x) = 2750$$

en remplaçant R et r par leurs valeurs, nous avons

$$6250(0,65-x) = 2750, \text{ soit } x = 0,21.$$

Tel est le coefficient à appliquer dans la formule générale que nous cherchons pour les autres lignes et qui s'énonce ainsi ¹ :

$$R(r-0,21) = 2750$$

et qui nous permettra de déterminer, la recette R étant connue, le rapport variable r de la dépense à la recette pour chacune d'elles, et par suite la dépense même :

$$D = 2750 + 0,21 R$$

Nous avons déterminé ce rapport et ce chiffre de dépenses pour chacune des lignes étudiées, que nous indiquerons à l'occasion de l'examen spécial que nous en ferons.

Nous avons cru devoir traduire tous ces éléments de calculs sous forme d'un *diagramme* ou tableau à trois entrées (pl. 6), permettant d'apprécier d'une façon rapide le *rapport des dépenses aux recettes*, pour les voies ferrées construites dans les conditions de celles étudiées, lorsque les *recettes kilométriques* varient entre 0 et 15 000 fr. et les *dépenses d'exploitation* entre 2750 et 10 000 fr.

Nous avons porté sur une ligne droite, à distances égales de 0^m020 représentant 1000 fr., les *Recettes* ;

Sur une ligne verticale, à gauche, les distances égales aux premières, représentent 1000 fr., pour les *Dépenses* ;

¹ La constante limite des frais d'exploitation s'applique à des lignes dont les déclivités ramenées à une moyenne de parcours sont de 0^m02 p. m. telles que les lignes considérées.

Cette limite, pour des rampes moyennes de 0^m03, donnerait

$$D = 2780 + 0,215 R$$

Et pour des rampes moyennes de 0^m04 à 0^m05

$$D = 2825 + 0,220 R$$

Nous ajouterons que M. Vivenot, le savant ingénieur qui a établi les tableaux de fonctionnement de la loi du 11 juin 1880, dans le rapport au Sénat, a admis, pour les tramways, la limite de 3000 fr., chiffre bien voisin du nôtre. C'est ce chiffre de 3000 fr. qu'il faudrait admettre dans l'évaluation des lignes à la voie de 1 m. projetées.

Le coût de 1 fr. 15 du train-kilomètre que nous avons déterminé, est sensiblement le même que celui des tramways à vapeur sur routes, entre Liestal et Waldenburg, Mulhouse à Ensisheim, ensemble 60 km., voies de 0^m75 et 1 m.

Ce coût s'élève à 1 fr. 85 pour les chemins de fer à voie étroite en dehors des routes, jusqu'à 2 fr. 50 dans les conditions d'exploitation les plus économiques.

Sur une ligne verticale, à droite, la suite des rapports $r \%$ valeurs de $\frac{D}{R}$ des dépenses aux recettes.

En calculant par la formule ci-dessus toutes les valeurs de r et les indiquant par un point *au-dessus des valeurs* de R , nous avons obtenu une courbe, hyperbole équilatère, qui montre que le rapport est de 100 %, lorsque la recette est de 3500 fr. par kilomètre ; de 67 % lorsqu'elle est de 6000 fr. et qu'il s'abaisse à 50 % lorsque la recette est comprise entre 9 et 10 000 fr., il descendrait à 40 % pour une recette de 14 000 fr. en tendant indéfiniment vers la limite de 21 %.

D'un autre côté ce rapport dépasserait 100 %, en s'élevant à l'infini, pour des recettes inférieures à 3480 fr. par kilomètre.

Ce chiffre de 3480 fr. des recettes étant celui auquel le rapport est de 100 %, est en même temps celui des dépenses. Nous avons donc reporté, par une ligne horizontale à gauche, ce point sur la colonne des dépenses, dont il a servi à déterminer l'échelle au-dessus et au-dessous.

En joignant le point 2750 au point neutre 100 % du rapport r , sur la courbe, nous avons obtenu une ligne qui, prolongée, sert à donner le *chiffre des dépenses* elles-mêmes.

Il suffit de suivre l'ordonnée ou ligne verticale partant d'une recette donnée, 9000 fr. par exemple, à la rencontre de la ligne des dépenses, et de ce point, se reporter horizontalement à gauche en suivant une abscisse jusqu'à l'échelle des dépenses, pour trouver le chiffre de celles-ci, soit 4640 fr. dans le cas considéré, chiffre exact à celui que fournit le calcul direct.

Nous n'avons pas besoin d'ajouter que ce diagramme résulte de longs et minutieux calculs dans le détail desquels nous n'entrerons pas, espérant en avoir bien fait saisir les principes et l'usage pratique. On voit aisément que dans les limites de 3500 à 9000 fr. de recettes, pour les lignes considérées, le rapport des dépenses aux recettes varie d'une façon normale, mais qu'au-dessous et au delà la diminution et l'accroissement s'éloignent du centre de courbure indéfiniment. Or ces limites de recettes embrassent toutes celles prévues pour le réseau de la Haute-Savoie, et toutes celles intermédiaires que la discussion et l'examen amènerait à y substituer pour chaque ligne.

On peut donc faire de ce diagramme un utile et sûr emploi, même à un point de vue général et pour une ligne située dans une région quelconque.

Il suffira de déterminer, ce qu'il est toujours possible de faire assez exactement, la limite des frais d'exploitation au moyen du coût du train-kilomètre.

Dépenses de construction. — Nous avons déterminé directement, pour les lignes d'Annemasse à Samoëns et à Bonneville, les dépenses de construction évaluées par kilomètre à 33 000 fr.¹

Nous avons cru devoir, pour plus de précision, suivre la même méthode d'évaluation directe pour chacune des lignes du réseau étudiées, bien qu'il nous eût été possible d'arriver au même but par comparaison et par l'emploi de formules générales.

Mais dans le cas de tramways sur routes, l'élément presque unique de dépenses est constitué par la voie ferrée, ses accessoires et le matériel roulant ; ce sont des articles de dépenses faciles à estimer sans mécomptes. Il en serait autrement si l'on

¹ Il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'un tramway établi sur routes, à la voie de 0^m75.

avait à apprécier le coût des terrains, des terrassements, de travaux d'art et bâtiments que nécessitent les chemins de fer ordinaires.

Cette partie de notre tâche a donc été relativement facile. Nous avons arrêté le type de la voie et de ses accessoires, pour le trafic et la traction projetée, en tenant compte des conditions de déclivité de chaque ligne. Nous avons évalué les poids exacts des matériaux et pour base de prix les cours commerciaux actuels qui sont très bas, mais que nous avons eu soin de majorer de 10 à 15 % en prévision de hausse possible.

Enfin pour chaque ligne, et d'après ses profils, nous avons prévu une certaine somme pour des terrassements secondaires, déviations partielles de routes ou élargissements, ouvrages d'art, de consolidation et terrains pour certains emplacements de stations. Le matériel roulant a été estimé en fonction du trafic et aussi de la longueur de parcours, en nous basant sur celui évalué directement pour les lignes moyennes d'Annemasse, Samoëns, Bonneville.

Nous estimons donc que, vu la nature à peu près fixe des dépenses de construction dans le cas de tramways sur routes, celles que nous avons déterminées pour chaque ligne sont suffisamment exactes pour servir de base d'appréciation.

Détermination du capital couvert par les recettes. — Les trois éléments constitutifs de chaque ligne étant ainsi déterminés, il a été possible d'en tirer les conséquences pratiques sur leur utilité et le rang relatif à leur assigner dans les prévisions de construction.

Tout d'abord nous avons mis en regard pour chaque ligne :

R, la recette kilométrique prévue.

D, la dépense variable des frais d'exploitation.

R—D. ou E, l'excédent des recettes sur les dépenses.

C, le capital de construction.

Nous avons admis qu'on doit rémunérer le capital par un intérêt de 5 %, c'est-à-dire qu'on doit avoir

$$R-D \text{ ou } E = 0,05 C.$$

Si l'on a $E > 0,05 C$, la ligne sera évidemment rémunératrice, si $E < 0,05 C$, il y aura une insuffisance de revenu qui devra être comblée par une subvention ou garantie d'intérêt.

Mais il faut remarquer qu'il ne suffit pas, pour la rémunération du capital, que R soit $> D$, il faut encore que l'excédent E soit supérieur à la limite à laquelle le rapport des dépenses à la recette est équilibrée, et égal à 5 % du capital.

La dépense étant $D = 2750 + 0,21 R$, pour que le capital soit rémunéré, il faut que l'excédent E ou

$$R-D \text{ soit } = R - (2750 + 0,21 R) = 0,05 C.$$

$$\text{soit } 0,79 R - 2750 = 0,05 C.$$

$$\text{d'où } C = 15,8 R - 55 000.$$

Afin de rendre sensible l'examen des possibilités financières des diverses lignes, sur le tableau graphique ou diagramme des dépenses et des recettes, nous avons indiqué par une ligne bleue passant par le point d'équilibre des recettes et des dépenses 3408 fr., les valeurs de E ou $R-D$, et par une ligne rouge, les valeurs de C ou capital correspondant couvert à 5 %.

D'un point quelconque de ces lignes, en suivant une abscisse et une ordonnée, on trouve aisément les recettes ou les dépenses correspondantes et vice versa, de celles-ci le capital couvert.

Ce tableau permet donc l'examen de toutes les lignes dont

un des éléments est admis. En y rapportant les données de l'une des lignes étudiées, on voit tout de suite dans quelles conditions elle fonctionnera.

Détermination de la garantie d'intérêt ou subvention. Limite. Utilité sociale. Intérêt social. — Cette garantie d'intérêt, prévue par la loi de 1880, n'est pas purement et simplement celle de l'intérêt à 5 % du capital engagé. Il faut aussi la condition que la recette brute ne soit pas élevée du fait de la garantie à plus de 6500 fr. par kilomètre, chiffre fixé pour les tramways à voie étroite.

C'est ainsi qu'une ligne faisant 6000 fr. de recettes par kilomètre et qui aurait, pour couvrir l'intérêt à 5 % de son capital une insuffisance de 1000 fr., ne pourrait recevoir en totalité plus de 500 fr. par kilomètre. L'insuffisance serait à la charge des concessionnaires, et ceci afin d'obliger les concessionnaires, auteurs des projets, à renfermer les dépenses de construction dans de justes limites; et aussi pour que les lignes qui, tout en présentant un trafic suffisant, se trouveraient dans des conditions exceptionnellement difficiles et onéreuses, ne soient pas entreprises. L'utilité sociale, dans ce cas, ne serait pas suffisante; les sacrifices à faire dépasseraient le service rendu.

On appelle *utilité sociale* la raison d'être d'une ligne: elle est proportionnelle à son trafic.

Mais l'*intérêt social* d'une ligne n'est pas forcément proportionnel à l'utilité. Il lui est supérieur quand les sacrifices financiers, sous forme de subvention ou garantie, que s'impose le public, sont inférieurs aux services rendus.

Les *services rendus* par une ligne, indépendamment des nombreux avantages de relations qu'elle procure, consistent surtout dans l'*économie réalisée* sur les transports.

Or, si nous admettons que les transports sur route, avec les chevaux, coûtent 20 à 25 cent. par tonne et par kilomètre (chiffres bien souvent dépassés, surtout en pays de montagne), le prix de transport par voies ferrées étant fixé à 10 cent., on voit que l'économie réalisée par le public sera au moins égale à autant, c'est-à-dire à la recette brute de la ligne. Il en est de même pour les voyageurs qui ont à payer de 10 à 25 cent. en voitures publiques et même jusqu'à 50 cent par voiture particulière, au lieu de 5 1/2 cent. par la voie ferrée.

Mais, encore, en comptant l'*intérêt social égal au produit brut* on reste au-dessous de la vérité.

En effet, on se contente de se baser sur le trafic actuel de la route. Or, il est incontestable que tel ou tel produit lourd ou encombrant, restant sur place, sortira de la région dès que les frais de transport seront diminués de moitié.

Pour les voyageurs, on fait chaque jour, en chemin de fer, par suite de la facilité et de l'économie des déplacements, des voyages d'affaires, dont l'importance ne justifierait pas l'emploi de voitures publiques ou particulières.

Par suite l'intérêt social devrait être évalué au double du trafic brut. Mais pour déterminer la valeur relative ou le classement des diverses lignes étudiées, nous nous contenterons de l'envisager comme égal au trafic, ainsi que l'admet d'ailleurs M. J. Michel,

$$\text{soit : } I = R.$$

L'intérêt à attribuer au capital étant $i = 0,05$ C, l'utilité

$$\text{sociale sera } U = \frac{I}{i} = \frac{R}{0,05} = 20 R$$

Ainsi l'utilité sociale d'une ligne, telle que nous l'avons définie, est donc égale à 20 fois le produit brut par kilomètre.

En résumé, si l'on appelle

1° la recette kilométrique R, on aura

2° la dépense d'exploitation $D = 2750 + 0,21 R$

3° le produit net devra être $P = 0,79 R - 2750 = 0,05 C$

4° le capital couvert sera $Cc = 15,8 R - 55 000$

La garantie ou subvention-limite étant indiquée, on peut se demander quand cette garantie sera appelée à fonctionner et deviendra nécessaire; soit Sn cette garantie.

Elle sera nécessaire quand les dépenses d'exploitation, augmentées de l'intérêt à 5 % du capital, seront supérieures aux recettes,

$$\text{ou quand } R < D + 0,05 C$$

$$\text{ou } C > 11,8 R.$$

La subvention nécessaire sera égale à la différence entre le capital de construction et le capital couvert par les recettes Cc.

Soit $S_n = C - Cc = C - (15,8 R - 55 000)$

D'où (subv. kilométrique) $S_n = (C + 55 000 - 15,8 R) 0,05$ par kil.

Ou encore $S_n = 2750 - 0,79 R + 0,05 C.$

D'après ces données il sera facile de déterminer le coefficient de classement K des diverses lignes, en faisant ressortir celles qui présentent le plus d'avantages avec les moindres dépenses, c'est-à-dire le rapport de l'utilité sociale U à la subvention ou garantie d'intérêt Sn. C'est ce que nous établissons après l'examen des conditions de chaque ligne étudiée,

$$K = \frac{U}{S_n}$$

Ce coefficient de classement joint naturellement à d'autres considérations qui peuvent primer, sert à déterminer l'ordre de priorité dans lequel doivent être construites les diverses lignes d'un réseau.

BIBLIOGRAPHIE

MANUEL SUR L'INFLAMMATION DES MINES PAR L'ÉLECTRICITÉ, rédigé par V. Burnier, colonel et Et. Guillemain, lieutenant-colonel du génie.

L'allumage à l'électricité est certainement appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans toutes les exploitations minières et dans les applications à l'art de la guerre, au fur et à mesure que les connaissances générales de l'électricité se répandent parmi les ingénieurs et les officiers. Les progrès réalisés dans la construction des appareils électriques de toutes sortes tendent à faciliter l'étude de cette science spéciale, mais il manquait jusqu'à présent un traité pratique permettant aux moins initiés de se mettre rapidement au courant de ces questions intéressantes.

Les travaux absolument nouveaux de MM. Burnier et Guillemain, exposés avec clarté dans un ordre méthodique, jettent un grand jour sur l'étude si complexe de l'inflammation des mines et contribueront, nous n'en doutons pas, à augmenter l'emploi de l'électricité dans ce domaine.

L'ouvrage que nous cherchons à faire connaître se compose de deux parties bien distinctes: la première consacrée aux notions théoriques, la seconde traitant du service en campagne.

La théorie est ici d'une importance capitale, car elle dépend à la fois de la physique, de la chimie et de la mécanique.

Première partie. — Notions théoriques.

MM. Burnier et Guillemain, après avoir indiqué les définitions générales des courants électriques, et ce qu'on entend par élec-