

CONSTRUCTION
DES
RÉSEAUX ÉLECTRIQUES
AÉRIENS
EN FILS DE BRONZE SILICIEUX

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES, TÉLÉPHONIQUES, TRANSPORT DE FORCE
LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

PAR

HENRY VIVAREZ

Ancien Élève de l'École Polytechnique et de l'École des Mines
Ingénieur attaché à la Direction de la Société Lazare Weiller et C^{ie}



DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

PARIS

LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES

J. MICHELET

25, Quai des Grands-Augustins (près le Pont Saint-Michel)

1885

PRÉFACE

Depuis que la première édition de ce travail a été publiée, l'établissement des réseaux aériens en bronze silicieux a fait de notables progrès.

La téléphonie les emploie aujourd'hui d'une façon à peu près absolue, et, à la suite des expériences que le Ministre des Postes et Télégraphes a faites pendant trois années consécutives, l'emploi des fils de bronze pour les lignes téléphoniques d'Etat est consacré par leur admission aux adjudications publiques.

D'autre part, en raison d'un phénomène constant, plusieurs alliages de bronze ont surgi et sont venus, à la suite des fils de bronze silicieux de M. Lazare Weiller, demander à la concurrence une part des bénéfices commerciaux qui résultent de leur exploitation.

Nous aurions mauvaise grâce à nous en étonner et à nous en plaindre.

C'est le sort commun de toutes les inventions vraiment utiles de susciter des imitateurs, et l'on pourrait en quelque sorte mesurer le degré de mérite d'une découverte au nombre de ceux qui cherchent à en partager le succès.

Mais il est de notre devoir d'insister sur la paternité de l'idée des réseaux aériens en bronze et de la revendiquer publiquement pour M. Lazare Weiller.

Cette idée féconde, puisqu'elle seule permettra le développement des grandes communications télégraphiques internationales, cette idée, dis-je, lui revient tout entière. Il l'a conçue et fait prévaloir au prix de plusieurs années d'études patientes et d'efforts ininterrompus.

Il est utile et nécessaire de le constater ici, au commencement d'un travail consacré à l'étude des réseaux aériens nouveaux tels qu'ils résultent de l'emploi des bronzes et cuivres de grande ténacité.



CONSTRUCTION
DES
RÉSEAUX ÉLECTRIQUES AÉRIENS
EN FILS DE BRONZE SILICIEUX

LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES, TÉLÉPHONIQUES — TRANSPORT DE FORCE
LUMIÈRE ÉLECTRIQUE



I

DE LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX
ET DE LEURS ALLIAGES

SI la construction des appareils télégraphiques et téléphoniques a été, depuis l'origine, marquée par des progrès ininterrompus, on ne peut en dire autant des lignes, surtout des lignes aériennes, qui en sont à peu près restées, tant au point de vue de la matière première qu'à celui de l'installation, au même état qu'il y a trente ans.

Jusqu'à ces derniers temps, pas un progrès sérieux n'avait été fait à cet égard, lorsque, au

moment de l'Exposition d'électricité de Paris, si féconde en résultats, un ingénieur français, M. Lazare Weiller, signala le parti qu'on peut tirer, pour la fabrication des lignes téléphoniques, du bronze phosphoreux, connu depuis plusieurs années comme un alliage de grande résistance mécanique.

Les premiers fils fabriqués y figurèrent, et leur application aux lignes aériennes eut lieu immédiatement.

Le nouveau métal se recommandait, en effet, de préférence au fer et à l'acier, par une conductibilité supérieure qui permettait de l'employer sous un diamètre plus faible avec une résistance à la rupture suffisante. Mais cette conductibilité, satisfaisante pour les lignes téléphoniques de longueur moyenne, était loin d'être assez grande pour les lignes téléphoniques de grande longueur et *a fortiori* pour les lignes télégraphiques.

C'est alors que, cherchant à se rendre compte du rôle joué par le phosphore dans la conductibilité du bronze, M. Lazare Weiller, basant ses recherches sur des travaux antérieurs de M. H. Sainte-Claire Deville, fut conduit à lui substituer un autre métalloïde : le *silicium*.

La fabrication du bronze silicieux a été pour M. Lazare Weiller le résultat d'études suivies sur la conductibilité des métaux et de leurs alliages.

Il a exposé devant la Société Internationale

des Electriciens le résumé de ses recherches à cet égard.

Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire les parties les plus intéressantes de cette conférence, qui forme en quelque sorte l'avant-propos nécessaire de ce travail (1).



DANS l'examen de tout problème d'électricité, et particulièrement dans l'étude de l'électricité dynamique et de ses applications générales, on se trouve, dès le début, amené à rechercher les conditions de sa canalisation.

Qu'il s'agisse de lumière, de force, de chaleur, de phénomènes chimiques ou mécaniques, en un mot d'une transformation quelconque de l'électricité, il est toujours indispensable de connaître la quantité d'électricité produite à l'origine et son rendement au point où elle est utilisée.

La nature du conducteur intervient donc comme un des éléments principaux du problème.

Dans la machine dynamo-électrique elle-même, qui n'est en somme qu'un conducteur ou une série de conducteurs soumis à l'induction magné-

(1) Recherches sur la conductibilité électrique des métaux et de leurs alliages. Rapports avec la conductibilité calorifique. Communication faite à la Société Internationale des Electriciens, dans sa séance du 7 mai 1884, par M. Lazare Weiller.

tique, l'intervention de la conductibilité joue aussi un rôle capital.

Il est donc extrêmement intéressant d'être fixé d'une façon certaine sur la manière dont se comportent les divers métaux et alliages au point de vue de la transmission de l'électricité.

Cette question mérite d'autant plus de fixer l'attention, que les divers physiciens qui l'ont traitée jusqu'ici n'ont pu arriver à des résultats concordants, soit par suite de l'impossibilité où ils se sont trouvés d'opérer sur des métaux absolument purs, soit parce que les méthodes et appareils de mesures électriques n'avaient pas, à l'époque de leurs recherches, le degré de perfection qu'ils avaient atteint aujourd'hui.

Au moment où M. Mathiessen faisait ses expériences (1863), il était extrêmement difficile de se procurer certains corps à l'état de pureté absolue.

Ce physicien signale la difficulté que l'on éprouvait à produire pratiquement 5 ou 10 kilos de corps chimiquement purs, tandis que, moins de vingt ans plus tard, on est arrivé, comme tout le monde le sait, à réaliser dans diverses usines une production journalière de plusieurs tonnes de dépôts électrolytiques de cuivre, d'or et d'argent, dans des conditions véritablement économiques.

Les procédés en usage dans ces usines et en particulier à Hambourg, dans les établissements

de la Norddeutsche-Affinerie, en Belgique et en Angleterre, permettent de traiter des minerais de cuivres argentifères contenant de petites quantités d'argent et des traces d'or qu'on n'avait pu extraire par d'autres méthodes et dont la présence n'est pas intervenue jusqu'à ce jour dans la valeur marchande du minerai.

Plusieurs essais analogues ont été entrepris en France, et il y a tout lieu d'espérer qu'avant longtemps cette industrie, qui n'est encore qu'à ses débuts, aura pris rang, chez nous, à côté des industries semblables qui prospèrent à l'étranger.

Pour arriver à un tel résultat, on peut être sûr de l'initiative et des efforts des industriels. Que l'État les défende, les soutienne et les encourage, et le succès désiré ne tardera pas à être obtenu.



Pouvoir conducteur des métaux et de leurs alliages. — Travaux antérieurs

LES recherches relatives à la conductibilité électrique des corps ne remontent pas à un grand nombre d'années. C'est Priestley qui, le premier, a tenté de déterminer le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité statique. Sa méthode de comparaison n'avait rien de précis ; elle consistait à prendre deux fils de même lon-

gueur et de même diamètre et à les faire traverser par des décharges jusqu'à ce que l'un d'eux fût fondu. Celui-là était considéré comme étant le plus mauvais conducteur.

Davy appliqua la même méthode générale, avec les courants voltaïques, et arriva à établir ainsi la loi relative aux variations de la résistance électrique avec la section des fils et leur longueur.

M. E. Becquerel, qui a rappelé dans un mémoire les origines de ces recherches, donne le tableau des conductibilités relatives mesurées par son père, qui est le premier physicien auquel on doit des expériences véritablement sérieuses sur la question.

Ce tableau est le suivant :

Cuivre	100
Or	93.60
Argent	73.60
Zinc	28.50
Platiné	16.40
Fer.	15.80
Étain	15.50
Plomb	8.30
Mercure	3.45
Potassium	1.33

Depuis, M. Pouillet se livra aux mêmes mesures et établit le tableau ci-après, qui présente un intérêt spécial en ce qu'il met en évidence

l'influence des corps étrangers, de l'écrouissage et du recuit.

Palladium.	5791
{ Argent (963 de fin).	5152
{ Argent (900 de fin).	4753
{ Argent (857 de fin).	4221
{ Argent (747 de fin).	3882
{ Or pur.	3975
{ Or (951 de fin).	1338
{ Or (751 de fin).	714
{ Cuivre pur	3838
{ Cuivre recuit	3842
Platine	855
Laiton	{ 200
	{ à
	{ 900
Acier fondu.	{ 200
	{ à
	{ 500
	{ 700
Fer.	{ à
	{ 600
	{ 100
Mercure.	100

Un autre intérêt de ce tableau est le choix de l'unité à laquelle on rapporté les pouvoirs conducteurs. Pouillet a comparé les conductibilités à celle du mercure, qui est le métal qu'on obtient le plus facilement pur à cause de son état liquide et qui, en raison de cet état même, est soustrait à toutes les variations que la cuisson et l'écrouissage font subir à la conductibilité des autres métaux.

La même préoccupation a inspiré aux membres du Congrès de 1881 le choix du mercure pour l'établissement de l'Étalon de Résistance.

La deuxième réunion de ce Congrès a consacré définitivement cette adoption, en définissant l'*ohm* comme étant la résistance d'une colonne de mercure de 106 centimètres de long et d'un millimètre carré de section à la température de 0° centigrade.

Les recherches très importantes de M. E. Becquerel (1846) l'ont conduit à déterminer les conductibilités relatives des métaux à une température moyenne de 12°75.

Ces résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

	Pouvoirs conducteurs relatifs		Rapport de la conductibilité du métal recuit et écroui
	Ecrouis	Recuits	
Argent pur. (réduit du chlorure)	93.448	100	1.0701
Cuivre pur. (précipité électro-chimique, puis fondu)	89.084	91.439	1.0264
Or pur.	64.385	65.458	1.0166
Cadmium.	24.574		
Zinc.	24.164		
Etain.	13.656		
Palladium.	12.977		
Fer	12.124		
Plomb.	8.245		
Platine.	8.042		
Mercure (14°).	1.8017		

Enfin, postérieurement à ces travaux, M. Matthiessen a publié dans les *Proceedings of the Royal Society* et dans les *Comptes rendus de*

l'Association Britannique une série de nombres que nous reproduisons ci-après et qui ont été acceptés jusqu'à présent sans discussion pour les mesures pratiques.

MÉTAUX	Résistance en ohms d'un fil de 1 ^m de long et de 1 ^{m/m} de diamètre	Conductibilité relative	
Argent recuit.	0.01937	100	
— étiré	0.02103	92.1	
Cuivre recuit.	0.02057	94.1	
— étiré	0.02014	»	
Or recuit.	0.02650	73	
— étiré	0.02697	»	
Aluminium recuit.	0.03751	51.6	
Zinc comprimé	0.07244	26.7	
Platine recuit.	0.1166	16.6	
Fer recuit.	0.1251	15.5	
Mercure liquide.	1.2247	15.8	
Nickel recuit	0.1604	12	
Etain comprimé.	0.1701	11.4	
Plomb comprimé	0.2526	7.6	
Antimoine comprimé.	0.4571	4.2	
Bismuth comprimé.	1.689	1.1	
Alliages {	Platine 1 — Argent 1	0.3140	6.1
	(recuit ou tiré)		
	Maillechort	0.2695	7.2
(recuit ou tiré)			
Or 2 — Argent 1	0.1399	13.8	
(recuit ou tiré)			

L'examen de ces divers tableaux montre le peu d'accord que présentent les résultats, non seulement quant à la valeur exacte de la conductibilité relative des métaux, mais aussi quant à l'ordre

dans lequel ils sont rangés. C'est ainsi que l'argent ne vient qu'en troisième ligne dans le tableau de M. Becquerel père, alors qu'il doit occuper le premier rang; de même le Palladium, qui est le premier sur le tableau de M. Pouillet, est en réalité dans les derniers rangs.

Ces divergences suffisaient à justifier de nouvelles recherches, que motivaient d'ailleurs les progrès récents de la science et la précision qui devient de jour en jour plus nécessaire dans les applications industrielles de l'électricité.



Travaux de M. Lazare Weiller.

MOICI les résultats d'une série d'expériences faites par M. Lazare Weiller :

Une série de barrettes ont été préparées pour cette étude. Ces barrettes ont été fondues sous un diamètre de 13 millimètres environ. Elles ont été recoupées ensuite de façon à rendre apparent le grain de la cassure, et la partie détachée a été étirée en fils sur lesquels ont été faites les expériences.

Pour ceux de ces alliages qui ne se laissent ni

étirer ni laminer facilement, tels que certains siliciures ou phosphures, les mesures ont été prises directement sur les barrettes par la méthode de sir W. Thomson.

Dans l'expérience de mesure, les barrettes, encastrées à leurs deux bouts dans des prises de courants, reposent sur des couteaux en forme de V placés à une distance invariable l'un de l'autre.

Ces couteaux sont respectivement en communication avec deux résistances composées de deux parties dont l'une est le millième de l'autre. L'extrémité de l'une est reliée à la borne fixe d'un pont de Wheatstone à curseur; l'extrémité de l'autre au curseur lui-même.

Les deux points qui séparent les résistances dans le rapport de 1 à 1000 communiquent avec un galvanomètre différentiel. Enfin les extrémités du pont sont reliées aux prises de courant par un circuit qui comprend une pile de quatre éléments et une clef de contact.

La résistance cherchée est donc égale au millième de la résistance mesurée sur le fil du pont entre son extrémité et le curseur.

Les conductibilités relatives, par rapport à l'argent et au cuivre pur, sont inscrites dans la liste ci-après :

1. Argent pur	100
2. Cuivre pur	100
3. Cuivre pur suraffiné et cristallisé.	99.9
4. Bronze silicieux télégraphique.	98
5. Alliage cuivre et argent à 50 %	86.65
6. Or pur.	78
7. Siliciure de cuivre à 12 % de silicium.	54.7
8. Siliciure de cuivre à 12 % de silicium.	75
9. Aluminium pur	54.2
10. Étain sodé à 12 % de sodium	46.9
11. Bronze silicieux téléphonique.	35
12. Cuivre plombifère à 10 % de plomb	30
13. Zinc pur	29.9
14. Bronze phosphoreux téléphonique	29
15. Laiton silicieux à 24 % de zinc.	26.49
16. Laiton à 35 % de zinc	21.5
17. Phosphure d'étain	17.7
18. Alliage or et argent à 58 %	16.12
19. Fer de Suède.	16
20. Étain pur de Banca	15.45
21. Cuivre antimonieux	12.7
22. Bronze d'aluminium à 10 %	12.6
23. Acier Siemens.	12
24. Platine pur	10.6
25. Cuivre nickelleux à 10 % de nickel.	10.6
26. Amalgame de cadmium à 15 % de cadmium.	10.2
27. Bronze mercuriel Dronier.	10.14
28. Cuivre arsenical à 10 % d'arsenic.	9.1
29. Plomb pur	8.88
30. Bronze à 20 % d'étain.	8.4
31. Nickel pur	7.89
32. Bronze phosphoreux à 10 % d'étain	6.5

33. Phosphure de cuivre à 9 % de phosphore	4.9
34. Antimoine	3.88



Avant de nous arrêter sur les particularités spéciales à chaque série de corps, ajoutons que dans les résultats consignés dans notre tableau, nous avons inscrit, non pas la résistance en ohms se rapportant à un fil de diamètre déterminé, mais la conductibilité relative proportionnellement à celle du corps choisi pour étalon.

Dans l'espèce, cette conductibilité relative est rapportée à celle d'un fil d'argent pur de 1 millimètre de diamètre, qui, à 0° centigrade, possède une résistance de 19^{ohms}37 par kilomètre.



Observations sur la conductibilité de quelques métaux et alliages.

Argent.

L'ARGENT est, avec le cuivre chimiquement pur, le meilleur conducteur de l'électricité, et c'est à ce titre, ainsi qu'en raison de la facilité avec laquelle on peut l'obtenir à un grand

état de pureté, qu'il doit d'avoir été choisi comme l'étalon auquel on rapporte la conductibilité des autres corps. Il s'oxyde difficilement, et son oxyde n'est pas isolant comme celui du cuivre. Il y a dans cette dernière particularité une cause d'erreur de moins qui rend plus certaines les mesures faites sur ce corps.

Or.

L'OR a une conductibilité de 78 %. L'alliage d'argent et d'or donne lieu à une observation remarquable. Lorsqu'on allie de faibles proportions d'or à de l'argent fin, la conductibilité électrique de l'alliage tombe immédiatement à un taux très bas. — 2 % d'or suffisent pour la réduire de 100 à 60. Elle décroît ensuite, quoique avec moins de rapidité, pour descendre à un minimum que nous avons trouvé égal à 16,12 % pour parties égales des deux métaux. De sorte que si l'on représente par une courbe la variation de conductibilité de l'alliage avec les proportions relatives des métaux composants, cette courbe affecte la forme d'une parabole, dont l'axe serait perpendiculaire à l'axe des x , qui descendrait de l'ordonnée 100 pour l'argent pur à l'ordonnée 16,12 pour l'alliage de quantités égales d'or et d'argent et remonterait à 78 pour l'or pur.

C'est là un phénomène singulier et jusqu'ici inexplicable, qui semble indiquer qu'il se produit

une sorte d'interférence analogue à celle des rayons lumineux de vibrations différentes, qui s'éteignent partiellement en se superposant.

Ceci n'est pas une explication, mais une simple analogie. Remarquons d'ailleurs qu'il n'est pas exact, comme on l'a dit quelquefois, que dans un alliage de deux corps la conductibilité électrique soit toujours inférieure à celle du corps le plus mauvais conducteur.

Il est simplement démontré que la réunion de deux corps modifie profondément leurs conductibilités individuelles, ce qui doit conduire, certainement, dans un temps donné, à des résultats théoriques satisfaisants.

Platine. — Aluminium.

SI nous continuons l'examen de la série des corps, nous voyons que le *platine* a une conductibilité de 10,6 %. — L'*aluminium*, qui, au point de vue de la densité, tranche avec les corps précédents, a une conductibilité relativement peu élevée, 54,2 %. Il la rachète en partie par son poids spécifique très faible. Mais c'est à tort qu'on a vu récemment dans sa légèreté une qualité qui permettrait un jour de l'employer comme fil de lignes aériennes. On a oublié de mettre en parallèle de sa légèreté sa résistance à la rupture, très médiocre, qui descend à 16 kilos par millimètre carré lorsque le métal est écroui, et à 6 ou 7 kilos seulement lorsqu'il a été recuit.

Fer, Acier, Plomb, Zinc, Étain.

CES métaux ont de faibles conductibilités, et nous n'insisterons pas sur les résultats qu'ils nous ont donnés. Il suffit de les mettre en regard de ceux qui ont été trouvés antérieurement.

Conductibilité du cuivre.

NOUS devons, au contraire, nous arrêter plus longtemps sur le *cuivre* et ses alliages, qui sont à tous égards les conducteurs types de l'électricité.

Le *cuivre* possède, en effet, lorsqu'il est pur et bien débarrassé de ses oxydes, une conductibilité égale à celle de l'argent. Il est d'un prix assez bas pour qu'il soit accessible aux emplois industriels; il est malléable, et certains de ses alliages présentent des qualités exceptionnelles de ténacité.

Il est curieux de rappeler combien a varié la conductibilité du cuivre avec les perfectionnements apportés à sa fabrication. Dans une conférence récente sur les *conducteurs électriques*, M. Preece a rappelé quelle était la conductibilité des divers câbles sous-marins successivement posés. Le tableau qu'il donne et que nous rappe-

lons ici montre les progrès qui ont été obtenus :

Câbles	Années	Conductibilités
Douvres-Calais	1851	42 %
Port Patrick et Donaghadée.	1852	46
Câble transatlantique.	1856	50
Mer Rouge.	1857	75
Malte et Alexandrie.	1861	87
Golfe persique.	1863	89.14
Câbles transatlantiques.	1865	96
Mer d'Irlande.	1883	97.90
Cuivre pur		100

La même progression croissante s'est produite dans les fils de cuivre fournis à l'Administration Française des Télégraphes, qui, après avoir exigé, il y a plusieurs années, une conductibilité pour ainsi dire indéterminée, a été conduite petit à petit à inscrire dans les cahiers des charges de ses adjudications des chiffres comparables aux plus élevés du tableau que je viens d'indiquer.



Cuivres de diverses provenances. — Influence de l'oxydule de cuivre et des corps étrangers.

CETTE variation de la conductibilité du cuivre tient à deux causes principales : la présence des corps étrangers d'abord, ensuite la présence de quantités variables d'oxydule de cuivre.

MM. Mathiessen et Holzmann (1) ont fait à cet égard des expériences intéressantes dont nous consignons ci-après les résultats.

Voici d'abord un tableau des pouvoirs conducteurs de cuivres de diverses provenances expérimentés à l'état de fils recuits :

	Pouvoir conducteur	Température
1° Espagnol de Rio-Tinto, avec 2 % arsenic, traces de plomb, de cuivre, de nickel, d'oxy- dure.	14.24	14°.8
2° Russe de Demidoff, avec traces d'arsenic, de fer, de nickel, d'oxydure	59.34	12°.7
3° Tough Cake de fabrication non spécifiée, avec traces de plomb, de fer, de nickel, d'an- timoine, d'oxydure.	71.03	17°.3
4° Best selected de fabrication non spécifiée. Il contenait des traces de fer, de nickel, d'an- timoine, d'oxydure.	81.35	14°.2
5° Australien de Burra-Burra, tra- ces de fer et d'oxydure seu- lement.	88.86	14°.0
6° Américain. Lac Supérieur. — Traces de fer et d'oxydure et 0,03 % d'argent.	92.57	15°.0

(1) On the effect of the presence of metals and metalloids, etc. —
26 avril 1860.
On the Electric conducting power of copper and its alloys. —
28 février 1861.
(Proceedings of the Royal Society).

Le second tableau ci-après est relatif à des cuivres alliés à des traces de divers corps :

Cuivre avec		Conductibilité		
{	2.50 %	Phosphore . . .	7.24	17°.5
	0.95 %	id.	23.24	22°.1
	0.13	id.	67.67	20°
{	5.40	Arsenic	6.18	16°.8
	2.80	id.	13.14	19°.1
	traces	id.	57.80	19°.7
{	3.20	Zinc	56.98	10°.3
	1.60	id.	76.35	15°.8
	traces	id.	85.05	10°.3
{	1.06	Fer.	26.95	13°.1
	0.48	id.	34.56	11°.2
{	4.90	Etain	19.47	14°.4
	2.52	id.	32.64	17°.1
	1.33	id.	48.52	16°.8
{	2.45	Argent	79.38	19°.7
	1.22	id.	86.91	20°.7
{	3.50	Or	65.36	18°.7
	0.31	Antimoine . . . }	64.5	12°
	0.29	Plomb }		

Ces résultats sont à rapprocher de ceux qui ont été obtenus par M. Lazare Weiller dans les expériences qui ont été citées plus haut.

Enfin, d'après le même travail, nous allons donner un exemple de l'influence de l'oxydure :

Fils étirés à froid	Mode de préparation	Pouvoir conducteur	Température au moment de l'observation
Cuivre pur.	Oxyde réduit par l'hydrogène . . .	93.00	18°.6
—	Cuivre galvanique non fondu . . .	93.46	20°.2

Fils étirés à froid	Mode de préparation	Pouvoir conducteur	Température au moment de l'observation
—	Cuivre du commerce non fondu	93.02	18°.4
—	Le précédent après fusion dans l'hydrogène	92.76	19°.3
—	Le précédent avec courant d'hydrogène à travers le métal en fusion.	92.99	17°.5

On a reconnu que le pouvoir conducteur augmentait de 2.5 % environ en faisant recuire les fils.

Cuivre contenant de l'oxydure dont la proportion n'a pu être déterminée avec exactitude	73.32	19°.5
---	-------	-------

Cuivre galvanique extrait d'un lingot dense, fondu sous le charbon et coulé dans le gaz. .	93.3	12°.8
--	------	-------

Cuivre d'un lingot poreux du même cuivre que le précédent, mais versé dans un moule dans les conditions ordinaires. . . .	94.8	13°
---	------	-----

Cuivre galvanique cimenté avec du charbon et contenant du silicium et des traces de phosphore et de fer.	62.8	13°
--	------	-----

Nous pouvons ajouter, comme commentaire à ces derniers résultats, qu'en France on prépare aujourd'hui d'une manière courante des fils de cuivres purs, obtenus par des procédés spéciaux qui permettent l'élimination complète de l'oxydure. Ces cuivres atteignent ainsi la conductibilité de l'argent.

Ils ont été mesurés tout récemment encore au contrôle de l'administration des télégraphes, et ils ont donné jusqu'à 102 % de conductibilité par rapport à l'étalon en usage, dont l'impureté se trouve ainsi démontrée.



Il serait superflu de rappeler par suite de quelles circonstances M. Lazare Weiller a été amené à étudier les alliages de cuivre et de silicium préparés pour la première fois dans son laboratoire par M. Henri Sainte-Claire Deville et à les appliquer industriellement aux usages de la téléphonie.

Les cuivres et bronzes préparés dans ces conditions sont aujourd'hui utilisés, dans de très larges proportions, dans la télégraphie et la téléphonie aériennes. Leurs qualités électriques et mécaniques permettent de croire que le temps est passé où les fils de fer et d'acier avaient le monopole des transmissions aériennes.

Il est certain, comme le faisait remarquer tout récemment encore l'éminent Electricien en chef du Post-Office de Londres « *que les lignes*
« *aériennes d'aujourd'hui ne doivent plus pos-*
« *séder uniquement une grande tension de rupture.*
« *A une époque où les appareils à transmissions*

*« rapides occupent toutes les grandes artères
« télégraphiques, les lignes doivent être formées
« de très bons conducteurs, les surfaces des fils
« doivent être assez réduites pour donner le moins
« de prise possible aux phénomènes d'induction ;
« ils doivent pouvoir offrir peu de prise aux vents
« et à la neige et être pratiquement indestruc-
« tibles. »*

M. Preece n'hésite pas à conclure, dans son mémoire, que les fils de fer et d'acier ont fini leur temps et qu'ils sont appelés à être entièrement supplantés par les fils de cuivre et de ses alliages. Ceux-ci remplissent non seulement toutes les conditions exigées par les circonstances actuelles, mais encore ne reviennent, une fois posés et à longueurs égales, pas plus cher que les lignes d'autrefois.



II

DES FILS DE BRONZE SILICIEUX

L'INDUSTRIE dispose d'un petit nombre de corps pouvant servir à la canalisation de l'électricité.

Si on les range dans l'ordre de leurs conductibilités décroissantes, ce sont :

L'Argent ;
Le Cuivre ;
L'Or ;
Le Zinc ;
Le Platine ;
Le Fer ;
L'Étain ;
Le Plomb.

Au point de vue pratique, il faut éliminer de cette liste : *l'Argent, l'Or et le Platine*, à cause de leur prix élevé ; *le Zinc, l'Étain et le Plomb*, à cause de leur peu de ténacité.

On reste donc en présence du *Cuivre*, dont la conductibilité diffère peu de celle de *l'Argent* lorsqu'il est à son maximum de pureté, et du *Fer*, qui rachète en partie sa faible conductibilité par son bas prix et sa grande résistance mécanique.

Le cuivre est le canalisateur ordinaire de l'électricité. Mais toutes les fois qu'il s'agit d'établir des lignes aériennes, son emploi est condamné en raison de sa facile extensibilité et de sa faible résistance à la rupture.

Aux débuts de la télégraphie électrique, une ligne aérienne en fil de cuivre fut établie entre Paris et Rouen. On constata bientôt que sous la seule influence de son propre poids le fil s'était allongé d'une fraction considérable de sa longueur initiale, ce qui correspondait à une double diminution de sa conductibilité, car l'allongement se produit naturellement aux dépens de la section. En outre, la flèche que prenait le fil le rendait accessible aux passants, dont la malveillance ou la cupidité pouvaient se donner facilement carrière. C'est ainsi que, faute d'une résistance mécanique suffisante, on dut revenir à l'emploi du fer et de l'acier, qui ont servi exclusivement jusqu'à ces dernières années à l'établissement du réseau aérien.



Les premiers essais de M. Lazare Weiller eurent pour objectif le tréfilage du bronze phosphoreux, dont il est un des premiers, sinon le premier vulgarisateur.

Le bronze phosphoreux est, on le sait, un

alliage de grande résistance mécanique. Avec certaines précautions, on arrive à le tréfiler et à le transformer en fils d'une ténacité comparable à celle des fils d'acier, avec une conductibilité électrique sensiblement plus grande.

Malheureusement, l'homogénéité est difficile à obtenir; la présence des traces de phosphore se révèle avec la fâcheuse influence de ce métalloïde sur la solidité du métal, qu'il rend aigre et cassant; enfin la conductibilité n'est pas suffisamment améliorée, en sorte que si les fils de bronze phosphoreux ont été un premier succès dans la recherche d'un bon transmetteur d'électricité, le succès était loin d'être complet.

Il ne l'est devenu que lorsque M. Lazare Weiller, poursuivant ses recherches, est parvenu à préparer et à tréfiler l'alliage qu'il a désigné sous le nom de « bronze silicieux ».

Nous avons vu plus haut quelle influence considérable la présence de l'oxydure de cuivre exerce sur la conductibilité de ce métal.

Dans la préparation des cuivres purs, on n'a donc fait que la moitié de la besogne lorsqu'on a chassé les corps étrangers. Il reste encore à débarrasser le métal de son propre oxyde.

Lorsqu'il n'en renferme plus aucune trace, il atteint la conductibilité de l'argent. Il fallait donc trouver un procédé industriel pour cette élimination.

Le phosphore était naturellement indiqué en raison de son affinité pour l'oxygène. Il réduit l'oxyde, passe dans les crasses et ne reste dans le métal qu'à l'état de traces.

Seulement, ces traces rendent le métal aigre, et, de plus, si le phosphore reste en excès, soit à l'état libre, soit à l'état de phosphure, on a remplacé l'oxyde, mauvais conducteur, par des substances qui le sont également.

Le silicium, au contraire, tout en produisant la même désoxydation, ne diminue pas la conductibilité dans la même proportion s'il reste en excès. Il ne modifie pas la rigidité de l'alliage, et il est même permis de croire que des traces de silicium exercent sur le cuivre une action analogue à celle qu'elles exercent sur le fer, en augmentant sa résistance mécanique.

On constate que le cuivre traité par ce procédé est plus dense et qu'il rompt sous une charge supérieure à celle des cuivres purs de préparation différente.

Le cuivre ainsi préparé atteint un degré de conductibilité électrique supérieur à tout autre cuivre.


Il a été fréquemment comparé à l'étalon, réputé pur, qui, à la température de 0° et sous le diamètre de 1 millimètre présente une résistance électrique de 20^{ohms} 57 par kilomètre, et la conductibilité

du cuivre ainsi préparé a été reconnue supérieure à celle de l'étalon actuel.

Il est facile de passer du *cuivre silicieux* au *bronze silicieux*, qui a sur le cuivre l'avantage d'une résistance mécanique beaucoup plus considérable avec une conductibilité peu inférieure. On procède pour sa fabrication suivant la méthode indiquée par M. Sainte-Claire Deville pour la préparation des siliciures de cuivre, en faisant agir sur le mélange de cuivre et de fluosilicate de potasse, non pas du sodium métallique, mais un alliage de sodium et d'étain, que M. Lazare Weiller a appelé *Etain sodé*.



Types de fils de bronze silicieux.

N peut graduer à volonté la conductibilité et la résistance métallique, qui varient en sens inverse, et obtenir une série de types répondant à diverses exigences industrielles. Les types auxquels on s'est arrêté pratiquement sont au nombre de quatre.

En voici la nomenclature : les deux premiers appartiennent à la catégorie des fils à haute conductibilité ; ils sont désignés sous le nom de *fils télégraphiques*, en raison de leur destination ordinaire.

Les deux autres se distinguent, au contraire, par une grande résistance à la rupture; ils sont classés comme *fils téléphoniques* .

1° *Fils télégraphiques*

- | | | |
|---|---|---|
| A | { | (a) Conductibilité : 97 à 99 %. |
| | | (b) Résistance mécanique : 45 kil. par millimètre carré. |
| B | { | (a) Conductibilité : 80 % minimum. |
| | | (b) Résistance mécanique : 55 à 58 kil. par millimètre carré. |

2° *Fils téléphoniques*

- | | | |
|-------|---|---|
| A (1) | { | (a) Conductibilité : 43 %. |
| | | (b) Résistance mécanique : 80 à 84 kil. par millimètre carré. |
| B | { | (a) Conductibilité : 20 %. |
| | | (b) Résistance mécanique : 110 à 115 kil. par millimètre carré. |

Ces divers fils ont un allongement de moins de 1 % sous leur charge de rupture.

Les éléments de ces différents fils sont indiqués sur la figure 1 où les points indiquant les propriétés de chaque fil ont été réunis de façon à

(1) Ce type, qui est de création toute récente, remplace avec avantage celui jusqu'alors employé, qui possédait 32 % de conductibilité et 75 kilos de résistance mécanique. Si ce type a pu rendre de grands services à la téléphonie, à plus forte raison le type nouveau sera-t-il avantageux, puisqu'il possède à la fois plus de conductibilité et plus de résistance à la rupture.

former une courbe continue. La courbe pointillée est celle qui figurait dans la première édition de ce

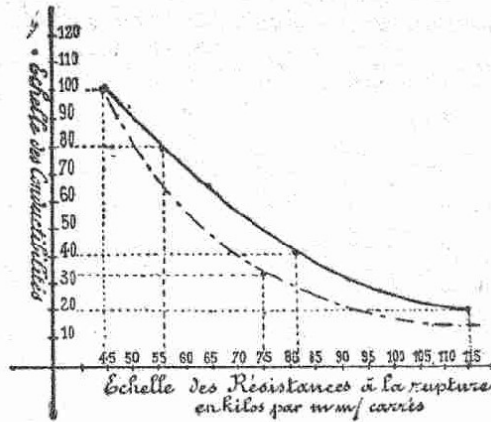


FIG. I.

travail. Leur comparaison donne la caractéristique des progrès qui ont été accomplis depuis trois ans dans les procédés de fabrication de M. Weiller.



Eléments des divers fils de bronze silicieux.

LES tableaux ci-après contiennent les éléments, poids, résistances électrique et mécanique, relatifs aux divers types de fils de bronze.

Ils sont rapportés aux diamètres le plus fréquemment en usage.

FILS DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉGRAPHIQUES

Pour les Lignes internationales à grande distance

DIAMÈTRE en millimètres	SECTION correspon- dante	POIDS au kilom. en kilos (D = 8,91)	RÉSISTANCE à la rupture en kilog.		RÉSIS- TANCE électrique maxima à 0° en ohms.	CONDUCTIBILITÉ relative.
			par millim. carré	totale moyenne.		
1	0.7854	7.00		35.34	21.28	Par rapport au fil de cuivre pur, dont la résistance à 0° est de 20 ^{ohms} 57 pour 1 ^{mm} de diam. et 1 kil. de long. — 97 % environ
1.1	0.9502	8.47		42.76	17.58	
1.2	1.1309	10.08		50.90	14.77	
1.3	1.3273	11.82		55.73	12.59	
1.4	1.5393	13.72		69.27	10.85	
1.5	1.7671	15.75		79.52	6.45	
1.6	2.0105	17.92		90.47	8.31	
1.7	2.2698	20.23		102.14	7.37	
1.8	2.5446	22.68		114.51	6.56	
1.9	2.8362	25.27		127.58	5.89	
2.0	3.1415	28.00		141.37	5.31	
2.1	3.4636	40.87		155.86	4.82	
2.2	3.8013	33.88		171.05	4.39	
2.3	4.1547	37.03		186.97	4.02	
2.4	4.5238	40.32		203.57	3.69	
2.5	4.9087	43.75		220.90	3.40	
2.6	5.3093	47.32		238.92	3.14	
2.7	5.7255	51.03		257.64	2.91	
2.8	6.1575	54.88		277.09	2.71	
2.9	6.6052	58.87		297.23	2.53	
3.0	7.0685	63.00		318.08	2.36	
3 25	8.2958	73.94		373.31	2.01	
3 50	9.6211	85.75		432.95	1.73	
3 75	11.0446	90.44		497.00	1.51	
4	12.5664	112.00		565.48	1.32	

44 à 46 kilos par millimètre carré
Moyenne : 45.

FILS DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉGRAPHIQUES

*Pour Lignes d'Etat, particulièrement recommandés
sur les parcours à grandes portées*

DIAMÈTRE en millimètres	SECTION correspon- dante	POIDS au kilom. en kilos (D = 8,91)	RÉSISTANCE à la rupture en kilog.		RÉSIS- TANCE électrique maxima à 0° en ohms.	CONDUCTIBILITÉ relative.
			par millim. carré	totale moyenne.		
I	0.7854	7.00		44.37	25.27	Par rapport au fil de cuivre pur, dont la résistance à 0° est de 20 ohms 57 pour 1 ^{mm} de diam. et 1 kil. de long. — 80 % au minimum
I.1	0.9502	8.47		53.68	21.24	
I.2	1.1309	10.08		63.89	17.87	
I.3	1.3273	11.83		74.48	15.20	
I.4	1.5393	13.72		86.97	13.11	
I.5	1.7671	15.75		99.84	11.42	
I.6	2.0105	17.92		113.09	10.04	
I.7	2.2698	20.23		128.24	8.09	
I.8	2.5446	22.68		143.77	7.93	
I.9	2.8352	25.27		160.19	7.00	
2.0	3.1415	28.00		177.50	6.42	
2.1	3.4636	30.87		195.70	5.82	
2.2	3.8013	33.88		214.77	5.33	
2.3	4.1547	37.03		234.74	4.29	
2.4	4.5238	40.32		225.60	4.46	
2.5	4.9087	43.75		277.34	4.11	
2.6	5.3093	47.32		299.97	3.80	
2.7	5.7255	51.03		323.50	3.52	
2.8	6.1575	54.88		347.90	3.28	
2.9	6.6052	58.87		373.19	3.05	
3.0	7.0685	63.00		399.37	2.85	
3.25	8.2958	73.94		468.71	2.43	
3.50	9.6211	85.75		543.69	2.09	
3.75	11.0446	98.44		624.02	1.83	
4	12.5664	112.00		710.00	1.54	

55 à 58 kilos par millimètre carré.
Moyenne : 56,50

FILS DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉPHONIQUES

Qualité courante

DIAMÈTRE en millimètres	SECTION correspon- dante	POIDS au kilom. en kilos (D=8,91)	RÉSISTANCE à la rupture en kilog.		RÉSIS- TANCE électrique maxima à 0° en ohms.	CONDUCTIBILITÉ relative.
			par millim. carré	totale moyenne.		
0.8	0.5026	4.48	70 à 80 kilos par millimètre carré. Moyenne : 75 kilos.	37.69	101.5	Par rapport au fil de cuivre pur, dont la résistance électrique à 0° est de 20 ohms 57 pour 1 ^{mm} de diam. et 1 kil. de long : 32 % environ
0.9	0.6362	5.67		47.70	80.2	
1.0	0.7854	7.00		58.90	65.0	
1.1	0.9502	8.47		71.26	53.7	
1.2	1.1309	10.08		84.81	45.1	
1.3	1.3273	11.83		99.53	38.4	
1.4	1.5393	13.72		115.45	33.1	
1.5	1.7571	15.75		132.53	28.8	
1.6	2.0105	17.92		150.78	25.4	
1.7	2.2698	20.23		160.53	22.4	
1.8	2.5446	22.68		190.84	20.0	
1.9	2.8352	25.27		212.64	18.0	
2.0	3.1415	28.00	235.61	16.2		

FIL DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉPHONIQUE

Qualité extra (type nouveau)

DIAMÈTRE en millimètres	SECTION correspon- dante	POIDS au kilom. en kilos (D = 8,91)	RÉSISTANCE à la rupture en kilog.		RÉSIS- TANCE électrique maxima à 0° en ohms.	CONDUCTIBILITÉ relative.
			par millim. carré	totale moyenne.		
0.8	0.5028	4.48	80 à 84 kilos par millimètre carré. Moyenne : 82 %.	41.46	73.40	Par rapport au fil de cuivre pur, dont la résistance élec- trique à 0° est de 20 ohms 57 pour 1 ^{mm} de diamètre et 1 kilomètre de long : 43 % environ.
0.9	0.6362	5.67		52.48	60.46	
1.0	0.7854	7.00		64.79	48.98	
1.1	0.9502	8.47		78.39	40.47	
1.2	1.1309	10.08		93.29	34.01	
1.3	1.3273	11.83		109.50	28.98	
1.4	1.5393	13.72		126.99	24.98	
1.5	1.7671	15.75		144.78	21.77	
1.6	2.0105	17.92		165.87	19.13	
1.7	2.2698	20.23		187.26	16.94	
1.8	2.5446	22.68		217.93	15.11	
1.9	2.8352	25.27	233.90	13.56		
2.0	3.1415	28.00	259.17	12.24		

Ces fils ne possèdent pas seulement une haute conductibilité et une grande tension de rupture, ils sont très malléables et se prêtent parfaitement à l'enroulement et au déroulement.

FIL DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉPHONIQUE

Spécial pour les très grandes portées, traversée de ponts, de cours d'eau, etc.

DIAMÈTRE en millimètres	SECTION correspon- dante	POIDS au kilom. en kilos (D = 8,91)	RÉSISTANCE à la rupture en kilog.		RÉSIS- TANCE électrique maxima à 0° en ohms.	CONDUCTIBILITÉ relative.
			par millim. carré	totale moyenne.		
0.8	0.5028	4.48	110 à 115 kilos par millimètre carré. Moyenne : 112 50.	56.54	153.00	Par rapport au fil de cuivre pur, dont la résistance élec- trique à 0° est de 20 ^{ohms} 57 pour 1 ^{mm} de diamètre et 1 kilomètre de long : 20 % environ.
0.9	0.6362	5.67		71.57	120 90	
1.0	0.7854	7.00		88.20	97.95	
1.1	0.9502	8.47		106.90	80.95	
1.2	1.1309	10.08		127.22	68.02	
1.3	1.3273	11.83		149.32	57.95	
1.4	1.5393	13.72		173.17	49.97	
1.5	1.7671	15.75		198.90	43.53	
1.6	2.0105	17.92		226.18	38 26	
1.7	2.2698	20.23		255.35	33.89	
1.8	2.5446	22.68		286.26	30.23	
1.9	2.8352	25.27		318.96	27.13	
2.0	3.1415	28.00	353.42	24.48		

La tension de rupture considérable de ces fils les recommande avantageusement dans l'emploi des câbles de mines, lignes de sondage, etc.

Comparaison avec les fils de cuivre,
de fer et d'acier.

A COTÉ de ces tableaux il est intéressant de réunir les indications analogues relatives aux types de fils antérieurement employés : cuivre, fer et acier. Nous les rapportons au fil de 1^{mm}.

DÉSIGNATION DES FILS	RÉSISTANCE à la rupture au millimètre carré	RÉSISTANCE kilomét. en ohms à 0°	CONDUCTIBILITÉ relative
Cuivre pur.....	Kilos 28 —	Ohms 20 57	100
Bronze silicieux :			
Télégraphique n° 1.....	45 —	21 28	97
— n° 2.....	56.5	25 70	80
Bronze silicieux :			
Téléphonique n° 1.....	75 —	65 —	32
— n° 2.....	82 —	48 98	43
— n° 3.....	112.5	97 95	20
Bronze phosphoreux télé- léphonique.....	72 —	78 —	26
Fer galvanisé de Suède.	36 —	135 2	16
Acier galvanisé Bessemer	40 —	156 --	13
Acier Siemens Martin..	42 —	166 8	12

Il résulte de ces comparaisons qu'on peut remplacer :

1° — Les fils *télégraphiques* des grandes lignes en fil de fer galvanisé de 5^{mm} de diamètre pesant 155 k^{os} et ayant 5^{ohms}40 de résistance électrique par kilomètre par un fil de bronze silicieux télégraphique n° 1 de 2^{mm} de diamètre pesant 28 k^{os} et ayant 5^{ohms}31 de résistance électrique par kilomètre ;

2° — Les fils téléphoniques ordinaires en acier de 2^{mm} de diamètre pesant 25 k^{os} et ayant une résistance électrique d'au moins 40^{ohms} par kilomètre par le fil de bronze silicieux téléphonique de 1^{mm}10 de diamètre pesant 8 k^{os}45 et ayant une résistance électrique de 40^{ohms} par kilomètre.

Le fil de bronze silicieux télégraphique n° 2 pourra être employé sous un diamètre à peu près égal à l'autre, et sa grande résistance mécanique permettra d'augmenter sensiblement les portées, et, par suite, de diminuer le nombre des supports.

Le fil de bronze silicieux téléphonique n° 3 conviendra pour les parties des réseaux aériens qui comporteront des portées exceptionnelles.



Pose des lignes.

DE ces comparaisons, un premier fait se dégage : les lignes en bronze silicieux ont un poids plusieurs fois moindre que les lignes en fer et en acier.

N'est-il pas évident que cette diminution correspond à une plus grande facilité de pose et à une économie sensible dans le nombre et les dimensions des supports?

On sait que dans la pratique les fils d'acier et de fer sont enroulés en couronnes d'une vingtaine de kilos. Ces couronnes sont expédiées soit par chemin de fer, soit par voiture, et il arrive un moment où l'ouvrier chargé de la pose doit prendre la couronne et la porter à dos jusqu'à pied d'œuvre.

Il faut ensuite qu'il la soulève, la porte à l'échelle et la déroule dans une position plus ou moins commode. S'il s'agit de lignes téléphoniques, c'est dans des escaliers étroits et sur les toits que les hommes sont obligés de porter des poids encombrants et dangereux.

Et je ne fais allusion ici qu'au service dans les villes et dans les contrées civilisées, sillonnées par des chemins de fer et de bonnes routes.

Combien devient plus difficile et plus coûteuse la pose des fils dans les pays neufs où le télégraphe précède quelquefois la route!

On voit, par ces quelques réflexions, combien le poids du fil a une importance considérable dans l'établissement d'une ligne. Toute diminution dans ce poids constituera donc un progrès considérable, et ce progrès ne consistera pas seulement dans la diminution du poids même des fils. Le fil étant plus léger, les isolateurs seront plus petits, les poteaux pourront avoir des dimensions

plus faibles et être plus espacés. Le nombre de ceux qu'on doit renforcer pour résister aux tractions latérales dans les courbes sera également diminué : économie de prix d'achat et de transport à pied d'œuvre. En Cochinchine et au Tonkin, par exemple, les poteaux sont ordinairement faits de hauts bambous un peu frêles pour supporter le poids des gros fils ; l'emploi des fils légers se ferait donc immédiatement sur place avec les poteaux qui leur conviennent.

Une autre conséquence de l'emploi des fils fins est la facilité avec laquelle on peut les obtenir en bouts de grande longueur, ce qui diminue le nombre des soudures et augmente par conséquent la sécurité de la transmission.



Autres avantages.

HEN outre, la possibilité de réduire le diamètre des fils de lignes diminue les chances d'accidents résultant de l'action du vent et de la neige.

Nous avons à cet égard des renseignements pratiques d'une certitude complète.

En ce qui concerne le vent, nous pouvons signaler la manière dont les fils de bronze silicieux se sont comportés à Trieste pendant les tempêtes produites par les vents « Bora ». Lorsque ce vent souffle, il se produit toujours de violentes perturbations sur les lignes télégraphi-

ques ordinaires : des poteaux sont renversés, des fils brisés, etc. Rien de semblable ne s'est produit avec les fils minces de bronze silicieux. La même chose a été constatée à Reims, sur le réseau téléphonique de l'État, après de fortes bourrasques. Un fil qui a une portée de 250 à 300 mètres a parfaitement résisté à un vent très violent qui soufflait perpendiculairement à sa direction.

La résistance à la neige est non moins démontrée. Elle a fait l'objet des préoccupations de diverses administrations télégraphiques et téléphoniques, qui se sont livrées à cet égard à des expériences probantes.

C'est ainsi que sur la voie des chemins de fer de Chodau-Neudek, appartenant à la *Oesterreiche Local Eisenbahn Gesellschaft*, l'ingénieur des télégraphes a eu personnellement l'occasion d'observer les fils par un temps de forte neige humide suivie de gelée, entre Neurohlau et Neudek, sur un point où la ligne s'étend sur un terrain montagneux, à une altitude de 420 à 560 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Les fils avaient été chargés de neige et présentaient une flèche plus considérable que d'habitude.

Sur quelques points, on fit tomber des fils, au moyen d'un léger choc; la neige qui y adhérerait et les fils reprirent aussitôt leur tension première et la flèche normale. D'autre part, on laissa reposer la neige sur la plus grande partie de la ligne, et on observa les fils jusqu'à sa chute naturelle.

Le jour suivant, après que les fils eurent été chargés de neige pendant dix-huit à vingt heures, il y eut un changement de temps qui amena la chute de la neige ; aussitôt, sur toute la ligne, les fils revinrent à leur tension première et à la flèche normale.

La résistance aux effets du froid a été également constatée sur les lignes de bronze silicieux installées en Hongrie, en Ecosse, en Suède et Norwège, etc.

L'emploi du fil de bronze silicieux permet encore de supprimer ou de réduire, sur les réseaux téléphoniques, les sourdines, qui sont indispensables pour amortir les vibrations qui se transmettent dans les fils d'acier et rendent souvent la transmission de la parole si difficile.

L'induction si pernicieuse qui s'exerce de fil à fil, puisque cette induction est, à conductibilité égale, proportionnelle à la surface extérieure du fil, se trouve également diminuée.



Inoxydabilité des fils de bronze.

LA légèreté des lignes n'est pas la seule qualité qui recommande l'emploi des fils de bronze silicieux.

Ils présentent certains avantages accessoires sur lesquels il est nécessaire de fixer l'attention.

Tout le monde connaît la résistance que le

bronze oppose à la corrosion par les agents atmosphériques. Alors que des armes de bronze très anciennes ont pu parvenir jusqu'à nous, les armes de fer ont, pour la plupart, disparu sous la rouille.

C'est que le fer s'oxyde rapidement et que, malgré la galvanisation destinée à le protéger, la rouille s'y produit, se propage peu à peu jusqu'au centre du métal et finit par le mettre complètement hors d'usage.

Le bronze, au contraire, ne se rouille pas, il se recouvre d'une patine superficielle qui, par la propriété de l'oxyde de cuivre d'être isolant pour l'électricité, protège les fils contre toute déperdition extérieure.

Cet avantage de l'inoxidabilité donne une nouvelle supériorité aux fils de bronze silicieux sur les fils de fer et d'acier, supériorité surtout précieuse pour les lignes établies au bord de la mer, dans les gares, près des usines, et, généralement, partout où l'air, chargé d'émanations diverses, met rapidement les fils hors d'usage.

Les fils de bronze se conservent donc, et si, après un long usage, ils sont tordus ou coupés, ils gardent toujours la valeur intrinsèque du métal.



Il n'est donc pas surprenant qu'après avoir énuméré les propriétés diverses des lignes en bronze silicieux, on puisse ajouter qu'elles présentent une grande économie dans leur établisse-

ment et leur entretien. Les prix du fil de fer et du fil de bronze silicieux sont à coup sûr très différents. Mais ces prix sont à peu près en raison de la conductibilité, de sorte que l'unité de conductibilité coûte sensiblement le même prix par les deux systèmes. L'économie est alors constituée par les transports, le nombre des supports des poteaux, la durée des lignes, etc.



Opinion de M. Preece.

JE suis heureux de pouvoir abriter les opinions que je viens de formuler derrière une autorité incontestable en matière de télégraphie.

Dans une conférence qu'il a faite le 4 décembre 1883 à la Société des Ingénieurs civils de Londres, sur les conducteurs électriques, M. Preece s'exprimait en ces termes :

« Les propriétés de grande résistance mécanique du bronze phosphoreux sont bien connues, et il y a déjà cinq ans que ce métal est employé pour les fils télégraphiques. Le Post-Office en a établi plusieurs lignes, entre autres celle qui reliait le phare de Mumble au promontoire de Swansea. Le but de cet essai était de voir si le nouveau fil possédait une résistance à la rupture suffisante et s'il ne serait pas

« corrodé par les émanations de l'eau salée. Cette
« ligne, installée en 1879, n'avait subi en 1883
« aucune modification apparente.

« Mais le bronze phosphoreux, quoique très
« employé, possède une haute résistance élec-
« trique. En outre, le fil de ce métal n'a pas des
« dimensions régulières : il est cassant, se plie et
« se noue difficilement. Un nouvel alliage, le
« bronze silicieux, a été imaginé récemment pour
« remédier à ces défauts, et il a remplacé le
« bronze phosphoreux pour la télégraphie. »

Ici M. Preece donne les chiffres relatifs à la conductibilité et à la résistance des fils de bronze silicieux, et il poursuit son étude par les considérations suivantes, qui s'appliquent surtout à un sujet très débattu en Angleterre et en Amérique : l'établissement des lignes souterraines :

« La légèreté du bronze silicieux, sa résistance
« mécanique, sa haute conductibilité, son inoxy-
« dabilité le rendent éminemment propre à la
« télégraphie. Si les lignes aériennes étaient
« faites avec ce fil et placées avec ordre sur des
« supports élégants, ce serait la fin de cette
« croisade déraisonnable entreprise, dans certains
« endroits, pour obtenir leur suppression.

« Construites judicieusement et sous un con-
« trôle sérieux, les lignes aériennes sont plus
« avantageuses que les lignes souterraines. Elles
« résistent mieux qu'on ne pense au vent et à la

« neige, ne sont pas soumises aux perturbations
« atmosphériques, peuvent être rendues silen-
« cieuses, et permettent aux poteaux existants de
« supporter un bien plus grand nombre de fils.

« Avec le bronze silicieux, les municipalités et
« les autorités locales ne pourraient plus exiger
« leur destruction et imposer aux administrateurs
« des dépenses inutiles et même nuisibles au
« point de vue du travail à produire. »



Il nous reste à indiquer quelles sont les varia-
tions de conductibilité des fils de bronze silicieux
avec la température et à donner les renseigne-
ments pratiques relatifs aux flèches des lignes.



Variations de la conductibilité avec la température.

DANS les limites ordinaires de température,
la conductibilité des métaux présente des
variations qui sont indiquées par l'équation
générale :

$$k = a - bt + ct^2 + \dots$$

Dans laquelle k est le coefficient de conduc-
tivité, t la température, a , b , c des constantes

positives ; b est un nombre très petit et c est inférieur au centième de b . Cette formule résulte d'expériences faites par M. Mathiessen et consignées dans le *Philosophical Transactions* de la Société Royale de Londres.

On voit que si on représente l'équation ci-dessus par une courbe dans laquelle l'échelle des conductibilités est prise pour axe des ordonnées, et l'échelle des températures pour axe des abscisses, la courbe sera une parabole à axe vertical, dont le point le plus bas sera donné par l'égalité :

$$\frac{dk}{dt} = -b + 2ct = 0$$


ou $t = \frac{b}{2c}$ et $k = a - \frac{b^2}{4c}$

Dans les conditions spéciales du problème, on voit que la température qui correspond au minimum de k est assez élevée ; la conductibilité *minima* est assez voisine de la conductibilité à 0° .

Pour le bronze silicieux et le cuivre, on prend comme coefficient moyen $k = 0,0039$. On applique la formule approximative $R_t = R_0 (1 + 0,0039t)$ pour passer de la résistance R_0 à 0° à la résistance R_t à t° .



Flèches.

 N sait que tout fil suspendu librement entre deux supports prend la forme de la courbe connue sous le nom de *chaînette*.

Rapportée à deux axes coordonnés dont l'un est la tangente au point le plus bas et l'autre la normale au point de contact, cette courbe a pour équation

$$y = \frac{m}{2} \left(e^{\frac{x}{m}} + e^{-\frac{x}{m}} \right) - m$$

dans laquelle m est le quotient de la tension (T) du fil par le poids (p) de l'unité de longueur du fil.

Sous cette forme, l'équation ne se prête pas commodément au calcul des flèches. Mais si l'on remplace les deux termes $e^{\frac{x}{m}}$, $e^{-\frac{x}{m}}$ par leur développement en séries convergentes :

$$e^{\frac{x}{m}} = 1 + \frac{x}{m} + \frac{1}{1.2} \cdot \frac{x^2}{m^2} + \frac{1}{1.2.3} \cdot \frac{x^3}{m^3} + \dots$$

$$e^{-\frac{x}{m}} = 1 - \frac{x}{m} + \frac{1}{1.2} \cdot \frac{x^2}{m^2} - \frac{1}{1.2.3} \cdot \frac{x^3}{m^3} + \dots$$

on aura, en négligeant les termes de degré supérieur au second, et avec une approximation suffisante :

$$y = \frac{x^2}{2m}$$

ce qui revient à remplacer la *chainette* par une *parabole*.

La flèche f s'obtiendra en remplaçant dans cette équation x par $\frac{l}{2}$ et m par $\frac{T}{p}$.

$$f = \frac{l^2 p}{8 T}$$

Si s est la section du fil; d sa densité; t la tension par millimètre carré, on a

$$p = s. d. \quad T = st. 1000.$$

ou

$$f = \frac{1}{1000} \frac{l^2 d}{8 t}$$

Enfin si l'on remarque que la tension t est ordinairement une fraction déterminée de la charge de rupture, on a, en désignant par α le coefficient de sécurité et par Q la charge de rupture :

$$f = \frac{1}{1000} \frac{l^2 d}{8 \alpha Q}$$

En pratique, on prend α égal à $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{5}$.

On voit que, pour deux lignes constituées avec des fils de métaux différents, le rapport des

portées à flèche et à coefficient de sécurité égaux est donné par l'expression :

$$\frac{l}{l'} = \sqrt{\frac{Qd'}{Q'd}}$$

Prenons une ligne télégraphique en fil de fer; dans ce cas $Q = 36$; $d = 7,8$.

La comparaison avec les deux types de fil de bronze silicieux télégraphique ($Q = 45$; $d = 8,9$) ($Q = 56$; $d = 8,9$) montre qu'avec le premier la portée peut être augmentée de 5 %, et avec le second de 19 %.

Prenons une ligne téléphonique en acier : $Q = 40$; $d = 7,8$. — Si on la compare avec une ligne téléphonique en bronze silicieux, $Q = 85$; $d = 8,9$: la portée peut être augmentée de 40 %. Si on la compare avec une ligne en bronze silicieux, $Q = 110$: la portée peut être plus que doublée.



Voici, d'ailleurs, les tableaux pratiques des flèches correspondant aux diverses portées en usage pour les fils silicieux.

Les tableaux indiquent également les variations de la flèche avec la température.

T A B L E A U

INDIQUANT LES VARIATIONS DES PORTÉES AVEC LES FLÈCHES
ET INVERSEMENT AUX DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

POUR LE

FIL DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉGRAPHIQUE

A 45 kilos de résistance à la rupture par m^2 carré, et de
97 % de conductibilité.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades	FLÈCHE EN CENTIMÈTRES POUR PORTÉES DE						
	150	125	100	75	60	50	40
	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres
— 25°	123	85	55	26	14	8	4
— 20°	136	94	61	30	17	10	6
— 15°	150	103	67	34	20	13	8
— 10°	161	111	72	38	23	15	10
— 5°	172	119	77	42	25	17	11
0°	183	127	82	46	28	19	13
+ 5°	194	135	87	49	31	21	14
+ 10°	206	143	92	52	33	23	15
+ 15°	212	147	95	54	35	25	16
+ 20°	221	153	99	57	37	26	17
+ 25°	228	158	102	59	39	27	18
+ 30°	236	162	105	62	40	28	19
+ 35°	239	165	107	63	42	29	20

T A B L E A U

INDIQUANT LES VARIATIONS DES PORTÉES AVEC LES FLÈCHES
ET INVERSEMENT AUX DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES
POUR LE

FIL DE BRONZE SILICIEUX TÉLÉPHONIQUE

A 80 kilos de résistance à la rupture, et à 43 % de conductibilité.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades	FLÈCHE EN CENTIMÈTRES POUR PORTÉES DE										
	300 mètr.	275 mètr.	250 mètr.	225 mètr.	200 mètr.	175 mètr.	150 mètr.	125 mètr.	100 mètr.	75 mètr.	50 mètr.
— 25°	429	351	285	222	170	120	78	51	30	12	3
— 20°	441	362	295	231	175	129	85	57	35	15	5
— 15°	452	372	305	240	188	137	91	63	39	18	6
— 10°	462	381	314	249	196	145	102	68	43	20	8
— 5°	471	390	320	250	203	151	108	73	47	23	9
0°	480	399	328	263	209	156	113	77	50	25	10
+ 5°	489	407	335	274	215	162	117	80	53	27	11
+ 10°	495	416	343	278	220	168	123	85	55	30	13
+ 15°	506	422	349	282	226	171	126	87	57	32	14
+ 20°	513	429	356	289	231	176	129	90	60	33	15
+ 25°	521	436	362	294	235	180	133	93	62	35	15
+ 30°	528	443	368	299	239	183	136	95	63	36	16
+ 35°	534	448	373	305	243	187	139	98	65	37	17

TABLEAU

INDIQUANT LES VARIATIONS DES PORTÉES AVEC LES FLÈCHES
ET INVERSEMENT AUX DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES

POUR LE

FIL DE BRONZE SILICIEUX SPÉCIAL

kilos de résistance à la rupture, et à 21 % de
conductibilité.



TEMPÉRATURE en degrés centigrades	FLÈCHE EN CENTIMÈTRES POUR PORTÉES DE											
	325 mètr.	300 mètr.	275 mètr.	250 mètr.	225 mètr.	200 mètr.	175 mètr.	150 mètr.	125 mètr.	100 mètr.	75 mètr.	50 mètr.
— 25°	400	343	278	230	161	134	79	62	41	13	9	3
— 20°	411	352	279	238	168	142	104	68	46	27	12	4
— 15°	422	361	295	245	174	148	111	73	50	31	14	6
— 10°	431	369	303	253	180	155	117	82	55	34	16	7
— 5°	440	377	310	258	186	161	122	86	59	37	18	8
0°	448	384	317	264	191	165	126	90	61	39	20	9
+ 5°	457	391	323	270	196	170	131	93	64	41	22	10
+ 10°	464	396	332	275	200	176	134	99	68	44	24	11
+ 15°	472	405	335	281	205	179	138	100	70	45	25	12
+ 20°	479	411	341	287	209	182	142	103	72	47	26	13
+ 25°	482	417	346	292	213	186	145	106	75	48	27	14
+ 30°	492	422	352	296	217	189	148	108	77	50	28	14
+ 35°	498	427	356	301	221	192	151	111	79	51	29	15

III

POSE DES LIGNES DE BRONZE SILICIEUX
DÉTAILS PRATIQUES

LA pose des lignes de bronze silicieux demande quelques précautions de détail qu'il est utile de signaler aux ouvriers.

Habitués à manier les fils de fer et d'acier, ceux-ci les négligent quelquefois dans les débuts, et leur manque d'attention pourrait faire attribuer aux fils des défauts qu'un peu de soin permet d'éviter.



Dérroulement du fil. — Coques et boucles.
Dévidoirs.

C'EST ainsi qu'on a reproché parfois aux fils de bronze d'être cassants et de se rompre en certains points sans raison apparente.

Après vérification, on a reconnu que ce défaut tenait à la manière dont la personne chargée de la pose avait opéré le déroulement des couronnes de fils. Les fils sont, en général, livrés au commerce en couronnes ayant, pour les fils fins, jusqu'à 1^m25, 18 à 25 centimètres de diamètre intérieur; pour les fils plus gros, de 30 à 35 centimètres.

Les *figures* 2 et 3 montrent la manière vicieuse de dérouler le fil et la manière dont le dé-

vidage doit être fait. Il est clair que dans le premier cas il doit se former des replis ou coques,

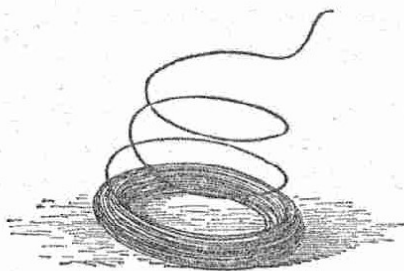


FIG. 2.

qu'il faut redresser, ce qui soumet le fil à des déformations moléculaires qui l'affaiblissent et le rendent cassant au point où il a été replié sur lui-même. Ces accidents ne sont, du reste, pas particuliers aux fils de bronze silicieux; ils se produisent également avec toute espèce de fils.

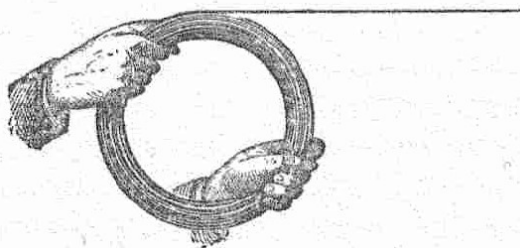


FIG. 3.

Plusieurs appareils ont été imaginés pour rendre le dévidage commode et régulier.

On trouvera la description sommaire de l'un

d'entre eux, dû à M. O. André, dans le chapitre qui traite du système de supports imaginé par ce constructeur.

Un autre système, représenté par la *figure 4*, a

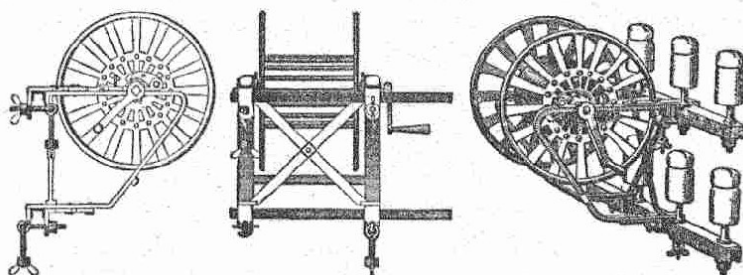


FIG. 4.

été combiné par MM. Lapp, de Gratz, sur les indications de M. Hœnigschmid, ingénieur de la *Consolidated Telephone Company*.

Ce dévidoir est formé d'un léger tambour en fer, sur lequel s'enroule le fil. Il peut être facilement porté par un homme, et pendant la pose il est accroché dans l'intervalle des supports.

On installe deux de ces tambours à la distance convenable. Sur l'un d'eux est enroulé le fil, dont l'extrémité est attachée à une ficelle qui s'enroule sur le second au fur et à mesure de l'avancement de la pose, qui se fait ainsi d'une façon très simple et avec beaucoup de régularité.



Flèches. — Portées.

NOUS avons indiqué la manière dont on calcule les flèches et portées des fils. En pratique, la forme et les sinuosités du terrain déterminent les limites entre lesquelles on peut faire varier ces éléments.

Les exemples de très grandes portées ne manquent pas sur les réseaux téléphoniques. Nous signalerons d'abord une portée de 300 mètres sur le réseau téléphonique de Reims. Le fil se trouve justement placé perpendiculairement à la direction du vent régnant habituellement, et il a résisté à plusieurs bourrasques violentes.

Nous pouvons également donner quelques indications intéressantes quant aux portées *maxima* et *minima* adoptées par certaines Compagnies étrangères.

La Compagnie des Chemins de fer locaux d'Autriche, dont le réseau télégraphique est en bronze silicieux, a adopté pour les voies qui traversent un pays uniformément plat des portées qui varient entre 100 et 220 mètres; dans les parties montagneuses du réseau, suivant les inflexions du terrain, les portées varient de 80 à 150 mètres.

En Italie, où depuis quatre ans déjà la *Società Generale dei Telefoni* emploie des fils de bronze silicieux, les portées ont atteint jusqu'à 300 mètres sans qu'aucun accident soit jamais arrivé. A

Vienne, on peut voir un grand nombre de portées analogues sur certaines lignes qui comportent 75 fils placés les uns à côté des autres.



Mode de jonction des fils. — Ligatures. Soudures.

LA jonction des bouts de fil a une grande importance, car les points de réunion des extrémités des fils peuvent être des points faibles, aussi bien sous le rapport de la continuité électrique de la ligne que sous celui de sa solidité.

Le moyen qui se présente tout d'abord à l'esprit lorsqu'on a à rattacher deux brins est de les réunir l'un à l'autre par une ligature.

Quelles sont les conditions auxquelles doit satisfaire le meilleur mode de jonction de deux fils?

Examinons le problème dans sa généralité, en supposant qu'on ait à réunir ensemble deux brins métalliques assez malléables, mais présentant une ténacité telle qu'on ne puisse les manier de la même façon que deux brins de soie ou de coton. Cette élasticité empêcherait de faire un nœud fermé sans avoir recours à une traction excessive; elle permettrait seulement de faire un œillet. Si les deux brins sont de matières identiques et de diamètres égaux, il est clair que les nœuds doivent être symétriques. Il faut également, dans la cons-

titution des nœuds, éviter, au point de liaison, la formation possible d'étranglements, qui entraînerait une diminution du diamètre et faciliterait la rupture. Cette condition conduit à éviter qu'au point où le fil commence à ne plus appartenir au nœud il éprouve un changement de direction.

On peut y satisfaire en enroulant le brin A autour du brin B et réciproquement, comme l'indique la *figure 5*. Si le nombre de spires est suf-



FIG. 5.

fisant, le système est déjà solide ; mais en le soumettant à une épreuve de traction, on a reconnu qu'un tel nœud, comptant 22 tours de spires de chaque côté, s'est délié sous une tension de 30 kilogrammes.

Le système indiqué par la *figure 6* a donné des résultats plus satisfaisants.

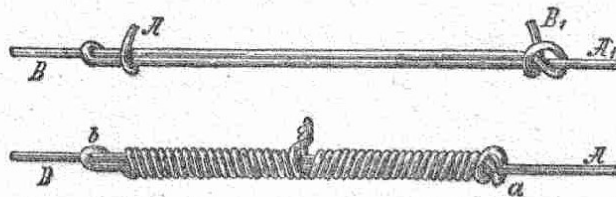


FIG. 6.

Il est constitué comme il suit : les spires de A commencent non dans le plan médian de jonction, mais à l'extrémité, et elles enveloppent à la

fois le brin A et le brin B en remontant vers le milieu de la ligature. De même pour les spires de B, les extrémités se rencontrent ainsi et sont tordues au milieu du nœud. Les deux *figures* 6 montrent le nœud commencé et achevé.

Ce nœud remplit toutes les conditions requises : il est facile à exécuter et il réalise un contact parfait.

En outre, il résiste très bien, et soumis à des essais de traction, les fils ainsi réunis se sont rompus en un point quelconque extérieur au nœud et sous la charge normale correspondant à la résistance, à la rupture d'une portion quelconque du fil.

Toutefois on préfère généralement aux ligatures par nœuds le mode de jonction par manchons et soudures, imaginé par M. Baron et en usage pour les lignes télégraphiques.

Les manchons sont de petits tubes aplatis en bronze (*fig.* 7, 8, 9, 10, 11) dans lesquels les



FIG. 7.



FIG. 10.



FIG. 8.



FIG. 9.



FIG. 11.

extrémités des deux fils entrent à frottement doux et viennent se juxtaposer parallèlement. Une petite encoche pratiquée de chaque côté du

manchon retient le bout du fil recourbé sur lui-même. On rend la liaison intime par un grain de soudure à l'étain qu'on introduit par une ouverture pratiquée sur la partie plate du manchon.

On obtient ainsi un mode d'attache très solide, qui ne rompt jamais et qui assure la conductibilité électrique de la ligne d'une façon irréprochable.



Tendeurs et dynamomètres.

LORSQU'ON pose une ligne, il faut donner aux fils une tension suffisante pour que leur flèche ne soit pas considérable.

Cette tension dépend naturellement de la charge limite que le fil est capable de supporter. Elle est ordinairement le quart ou le cinquième de la charge de rupture.

Cette tension est donnée pratiquement au moyen d'outils spéciaux. Celui qui est représenté *figure 12* est un étau fixé à une courroie en usage

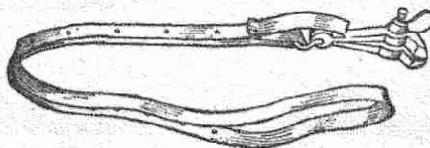


FIG. 12.

à la *Wiener Privat Telegraphen Gesellschaft*. A la *Consolidated Telephone Company*, qui a posé en Autriche de nombreux réseaux de fil de bronze

silicieux, on se sert d'un appareil imaginé par l'Ingénieur en chef, M. Hœnigschmid (fig. 13 et 14), qui l'a décrit dans le *Zeitschrift für Elec-*

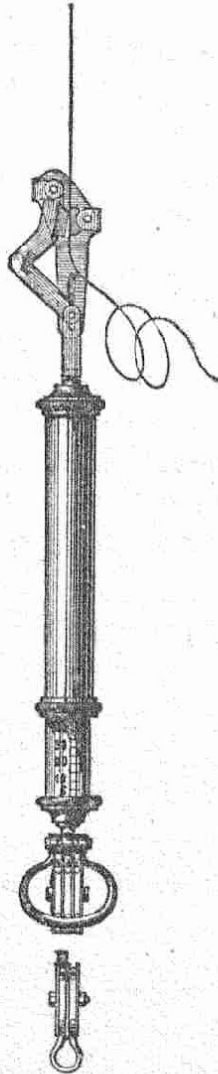


FIG. 13.

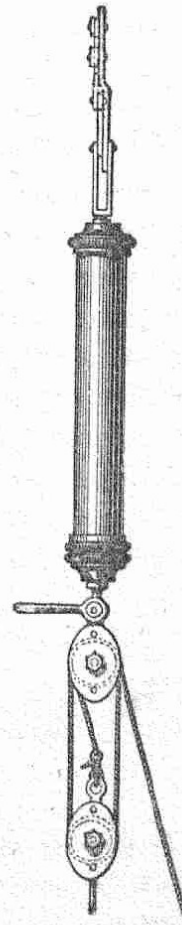


FIG. 14.

trotechnik, livraison 24, Wien, 1884, sous le titre : *Appareil de tension avec dynamomètre, pour l'établissement des lignes électriques avec fil de bronze silicieux Weiller.*

Cet appareil se compose d'un dynamomètre à ressort, d'une pince pour saisir le fil, d'une poignée et d'une moufle.

Le dynamomètre est formé de deux tubes de laiton emboîtés l'un dans l'autre et contenant deux ressorts en acier.

Le tube intérieur porte une graduation qui donne la valeur de l'effort. Au bas de l'appareil se trouve un anneau elliptique auquel est suspendue la moufle.

Le tube extérieur est terminé par une fourchette qui saisit l'extrémité du fil.

On connaît ainsi, au cours de la pose, la tension à laquelle le fil est soumis.



Isolateurs.

IL n'y a rien de bien spécial à dire sur les isolateurs qui sont employés sur les réseaux de fils de bronze silicieux, sinon qu'on peut se servir d'isolateurs de plus petites dimensions que les isolateurs ordinaires. En France, jusqu'à présent on a utilisé les mêmes.

En Autriche, où, comme nous l'avons dit, les

réseaux de bronze silicieux ont reçu une grande extension, on se sert d'isolateurs spéciaux provenant de la fabrique de porcelaine de Prague.

Ces isolateurs sont représentés par les *figures* 15, 16, 17.



FIG. 15.

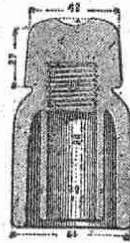


FIG. 16.

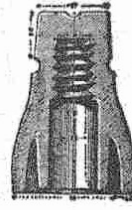


FIG. 17.

Le premier est en usage à la *Wiener Privat Telegraphen Gesellschaft* sous deux types, dont le plus petit est employé le long des murs et sur les poteaux. Le type qui convient aux toitures est un peu plus grand.

La *Consolidated Telephone Company* se sert du second type.

Les fils sont arrêtés de chaque côté de l'isolateur par deux ligatures faites avec des fils de cuivre.



Supports.

Nous aurons à décrire, dans un chapitre spécial, les supports téléphoniques adoptés par l'Etat français.

Les *figures* 18, 19 représentent les poteaux en fer

ou en bois employés sur les réseaux autrichiens. On remarquera qu'ils portent un très grand nombre de fils. Sur certaines lignes de Vienne on ne compte, en effet, pas moins de 75 fils parallèles.

La *figure 18* représente, au vingtième, un sup-

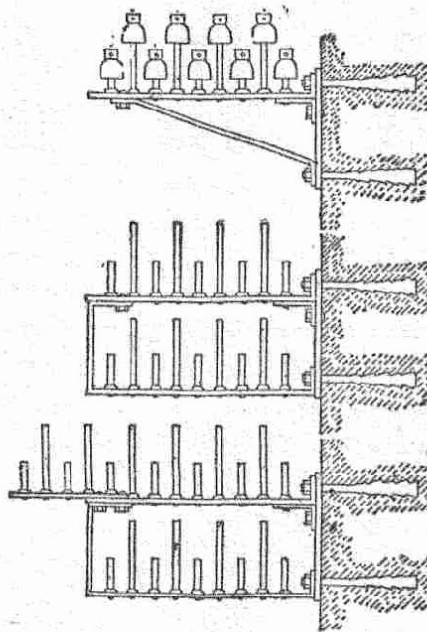


FIG. 18.

port d'isolateur qui se scelle dans un mur. Les isolateurs sont alternés comme il est indiqué, pour ne pas allonger la partie en porte-à-faux.

La *figure 19*, qui est au quarantième, représente un type de poteau en bois, dont on peut voir des

spécimens le long du Danube, et en particulier près du beau pont d'Aspern.

Ces poteaux ont très bien supporté l'action des vents et des ouragans.

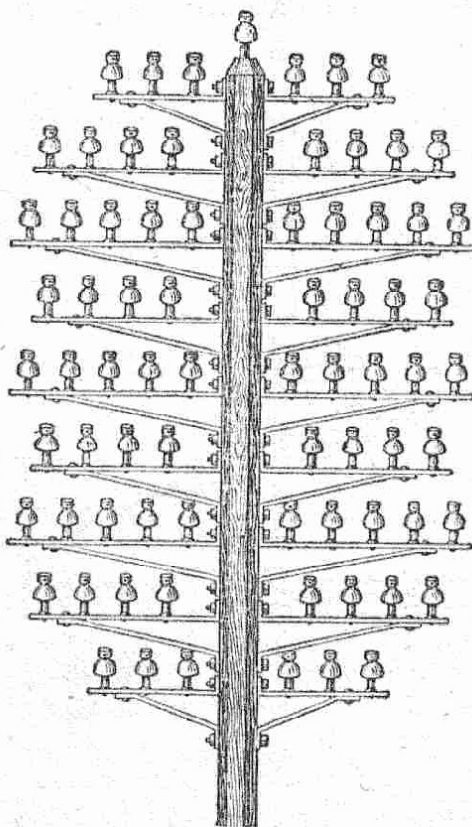


FIG. 19.

A la *Consolidated Telephone*, qui emploie des lignes passant sur les toits, les supports imaginés par M. Hœnigschmid, ingénieur en chef, sont formés de tubes en fer de 49 millimètres d'épais-

seur, réunis par des traverses en fer qui supportent de 4 à 10 supports d'isolateurs (*fig. 20 et 21*).

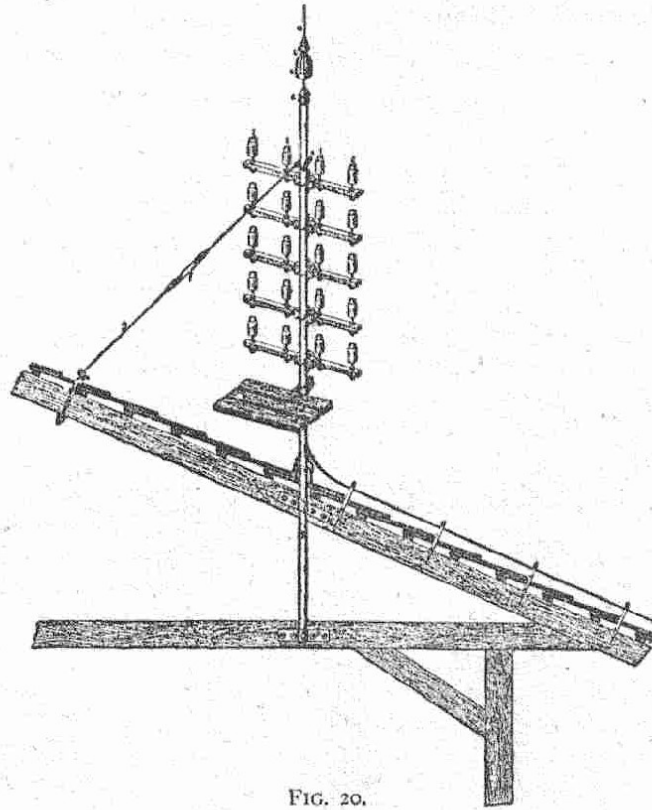


FIG. 20.

Les *figures 22 à 29* représentent des supports divers dus à M. Behtold, Directeur des télégraphes et employés sur les lignes du chemin de fer autrichien du Nord-Ouest, et à la direction du service de construction des chemins de fer de l'Etat.

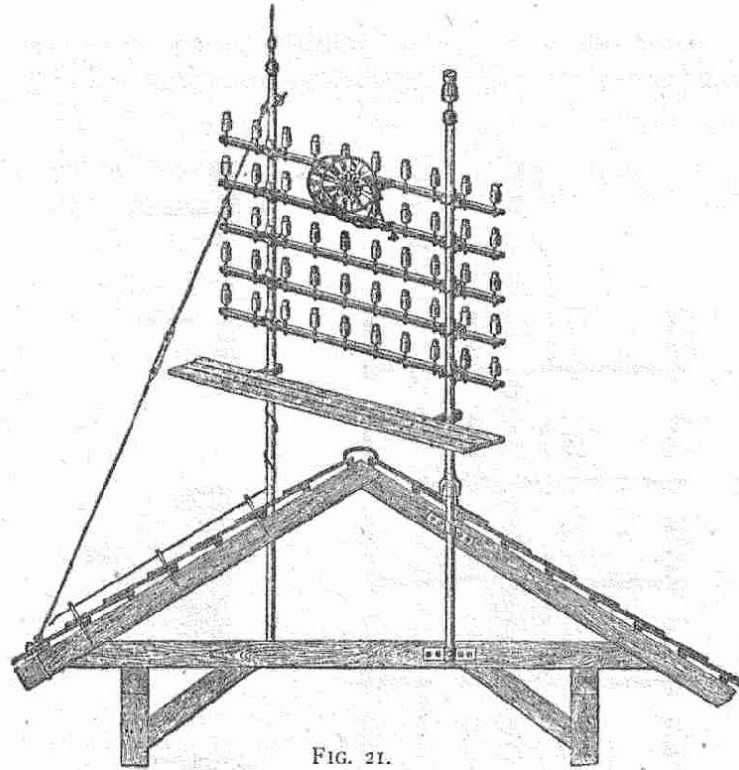


FIG. 21.

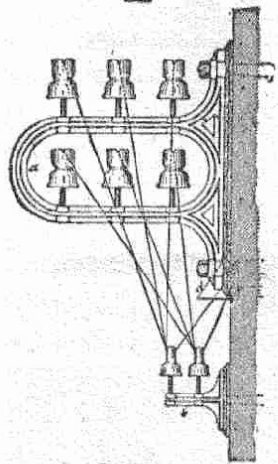


FIG. 22.

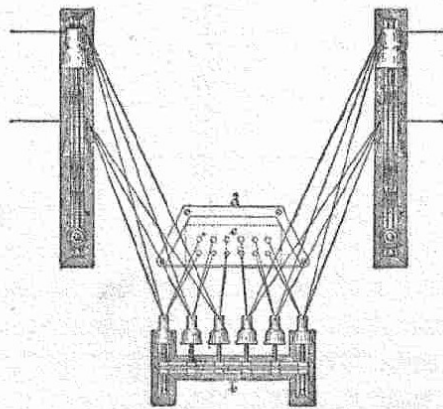


FIG. 23.

Nous nous sommes étendus particulièrement sur les dispositions adoptées en Autriche, où l'em-

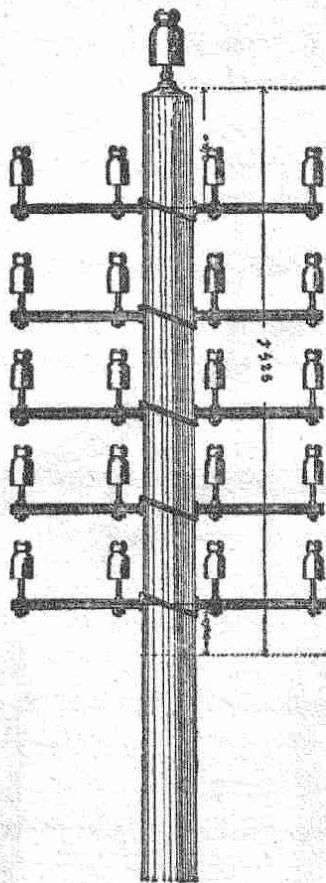


FIG. 24.

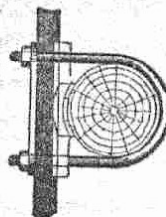


FIG. 25.

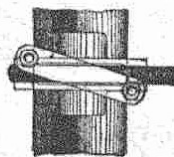


FIG. 26.

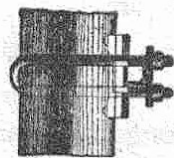


FIG. 27.



FIG. 28

ploi des fils de bronze silicieux a rencontré une faveur constante.

Nous avons emprunté les figures et descriptions relatives à toutes les installations autrichiennes à l'intéressant travail que M. J.-B. Grief, de Vienne, a consacré à cette question (1).

Nous remettons la description du système adopté en France à un chapitre spécial.



Conditions imposées par l'administration.

LES fils employés par le Ministère des Postes et Télégraphes français doivent remplir les conditions suivantes, inscrites au cahier des charges :

Fil télégraphique de 2 millimètres.

Conductibilité : 96 % au moins de celle du cuivre pur.

Effort de rupture : 45 kilogrammes par millimètre carré.

Allongement au moment de la rupture : 1 %.

Pliages dans un étau alternativement dans un sens et dans l'autre : 8 fois de suite.

Longueur *minima* des couronnes : 300 mètres.

(1) Anleitung zur Errichtung oberirdischer Telegraphen und Telephon Linien aus L. Weiller's Patent Silicium Bronze Draht.

Zusammengestellt nach Mittheilungen erfahrener Fach ingenieure.

VON J.-B. GRIEF.

Wien 1884.

Fil téléphonique de 1^{mm} 10.

Conductibilité : 30 % au moins de celle du cuivre pur.

Effort de rupture : 70 kilogrammes par millimètre carré.

Pliages dans un étai alternativement dans un sens et dans l'autre : 10 fois de suite.

Longueur *minima* des couronnes : 500 mètres (1).

Nous allons donner quelques indications rapides sur la manière dont se fait le contrôle.



Résistance électrique.

IL y a peu de chose à dire sur cette épreuve, qui se fait couramment dans tous les ateliers d'électricité avec autant de simplicité et d'exactitude qu'une opération de pesée.

Nous mentionnerons seulement l'avantage que présente l'emploi d'un cylindre en ébonite sur lequel on enroule le fil soumis à l'expérience. C'est un système peu encombrant, et qui permet de mesurer instantanément la longueur du fil.

Il faut aussi signaler que la résistance électrique est comparée à celle d'un fil de 1^{mm} de diamètre, qui, sous une longueur d'un kilomètre, a 20^{ohms} 57 à 0°.

(1) Nous avons vu que les nouveaux fils dépassent de beaucoup les conditions *minima* imposées.

Cette résistance théorique est celle adoptée par le Ministère des Postes et Télégraphes. Elle ne correspond pas au cuivre théorique, puisque les travaux récents que nous avons cités plus haut ont permis à M. Lazare Weiller de fabriquer des fils de cuivre de résistance inférieure, mais elle est adoptée jusqu'à nouvel ordre.



Effort de rupture.

LA charge sous laquelle se rompt le fil peut se mesurer à l'aide de divers appareils. Le plus simple de tous et en même temps le plus fréquemment employé consiste simplement en un plateau de bois qu'on suspend à l'extrémité du fil à essayer, et sur lequel on ajoute successivement des poids, le plateau reposant sur le sol, et qu'on soulève après chaque addition nouvelle, à l'aide d'un treuil et d'un mouvement très uniforme, jusqu'à ce que la rupture se produise.

Les deux attaches du fil doivent être faites avec beaucoup de précautions. L'extrémité est pincée et le fil enroulé de plusieurs tours sur un manchon cylindrique de 8 à 10 centimètres de diamètre.

On doit également veiller à ce que le fil ne subisse aucune torsion.

Dans ces conditions, la mesure est exacte. La même expérience permet de vérifier que le fil ne s'allonge pas de 1 % au moment où il se rompt.

La résistance à la rupture peut aussi se mesurer à l'aide de machines spéciales.



Machine Lazare Weiller et Froment-Dumoulin.

CETTE machine, construite par M. Froment-Dumoulin sur les indications de M. Lazare Weiller, convient aux fils assez fins et aux fils dits de carcasse. Elle se compose essentiellement d'un dynamomètre d'une puissance de 120 kilogrammes que l'on relie par le fil à essayer à un petit chariot qui peut être déplacé sur un système de rails à l'aide d'une manivelle. Lorsque celle-ci est mise en mouvement, le fil se tend et le dynamomètre avance en entraînant un curseur qui se déplace devant une règle graduée munie de deux échelles dont l'une indique le déplacement et l'autre la tension correspondante. Le chariot, qui est directement relié à la manivelle, entraîne également un curseur. Au moment de la rupture, le curseur du dynamomètre reste immobile et indique la charge sous laquelle elle s'est produite. La différence entre le déplacement du dynamomètre et celui du chariot donne l'allongement au moment de la rupture. — Un dispositif spécial permet d'atténuer le choc qui se produit lorsque le fil se casse, et qui, sans cela, ne tarderait pas à mettre l'appareil hors de service.

Machine Thomasset.

LA machine que nous représentons ci-contre (*fig. 29, 30*) est du système Thomasset, breveté s. g. d. g (1).

Elle a obtenu le grand prix à l'Exposition de 1878. La pièce à éprouver est disposée entre les deux mâchoires qui se voient au milieu de la *figure 29*. La partie de droite de la machine opère la traction à l'aide d'un piston différentiel qui traverse un cylindre de presse hydraulique, où l'eau est envoyée par un appareil appelé compresseur stérhydrique, que l'on ne voit pas sur la figure. Ce procédé a le grand avantage d'opérer la tension de la pièce à éprouver d'une façon extrêmement régulière, en évitant les chocs qu'un appareil à poids produit presque toujours. Dans la partie de la figure située à gauche de l'éprouvette, on voit l'organe qui reçoit et note la tension de la pièce. Il se compose essentiellement d'un plateau séparé par un diaphragme en caoutchouc faisant joint, d'une mince couche d'eau communiquant avec une colonne mercurielle. On comprend *a priori* que toute pression verticale transmise au plateau produise une élévation de mercure, dont les déplacements pourront être notés sur une échelle graduée mathématiquement.

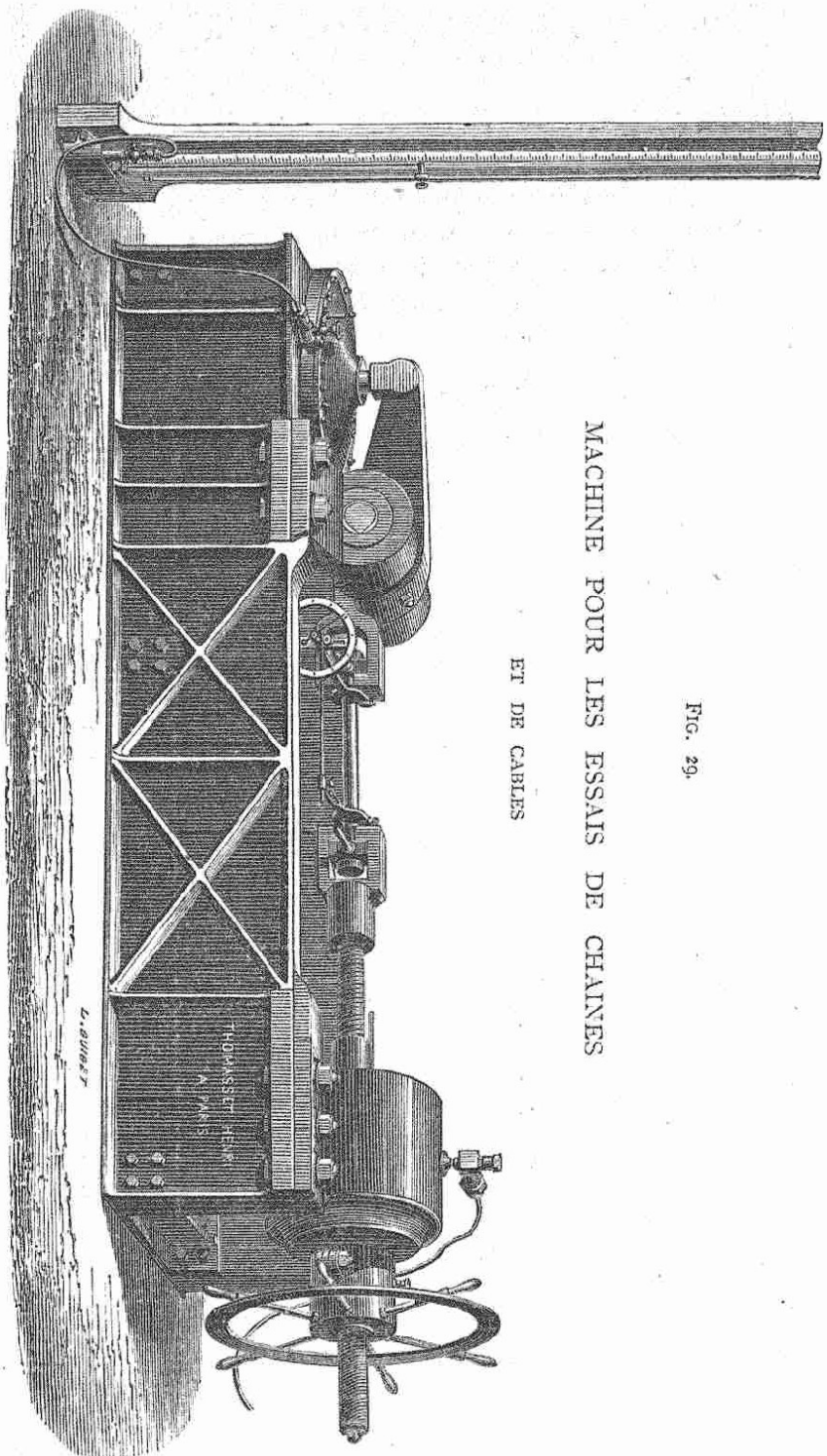
Entre le plateau et l'éprouvette, un levier coudé

(1) Cette machine est construite dans les ateliers de MM. Vollot et Badois, constructeurs.

8, boulevard de Vaugirard, à Paris.

MACHINE POUR LES ESSAIS DE CHAINES
ET DE CABLES

Fig. 29.



à angle droit est monté sur un axe portant un couteau. La mâchoire qui est à gauche de l'éprouvette agit sur le petit bras de ce levier à l'aide d'un second couteau ; enfin à l'extrémité du grand bras du levier un grain d'acier vient reposer sur un troisième couteau ajusté au centre même du plateau décrit plus haut. Dès que l'éprouvette est en tension, ces trois couteaux portent chacun sur leurs grains, et toute résistance passive, tout frottement nuisible sont supprimés. La tension que supporte l'éprouvette en essai est donc lue à tout instant à l'aide du déplacement du mercure le long de l'échelle, qui est graduée en kilogrammes et tonnes par un calcul des plus simples.

Les allongements de la pièce en essai sont d'ailleurs mesurés soit par un cathétomètre, soit plus simplement et à peu près aussi exactement par un pied à coulisse, de construction soignée, donnant le dixième ou le vingtième de millimètre.

La machine que nous venons de décrire sert aux essais à grande puissance : 25 tonnes, 50 tonnes, 100 tonnes.

Pour des pièces de résistance plus faible, pour des tôles minces, des fils métalliques, des cordages, on emploie la machine figurée ci-contre.

On y retrouve les mêmes organes essentiels : plateau manométrique monté sur diaphragme en caoutchouc, levier coudé portant trois couteaux

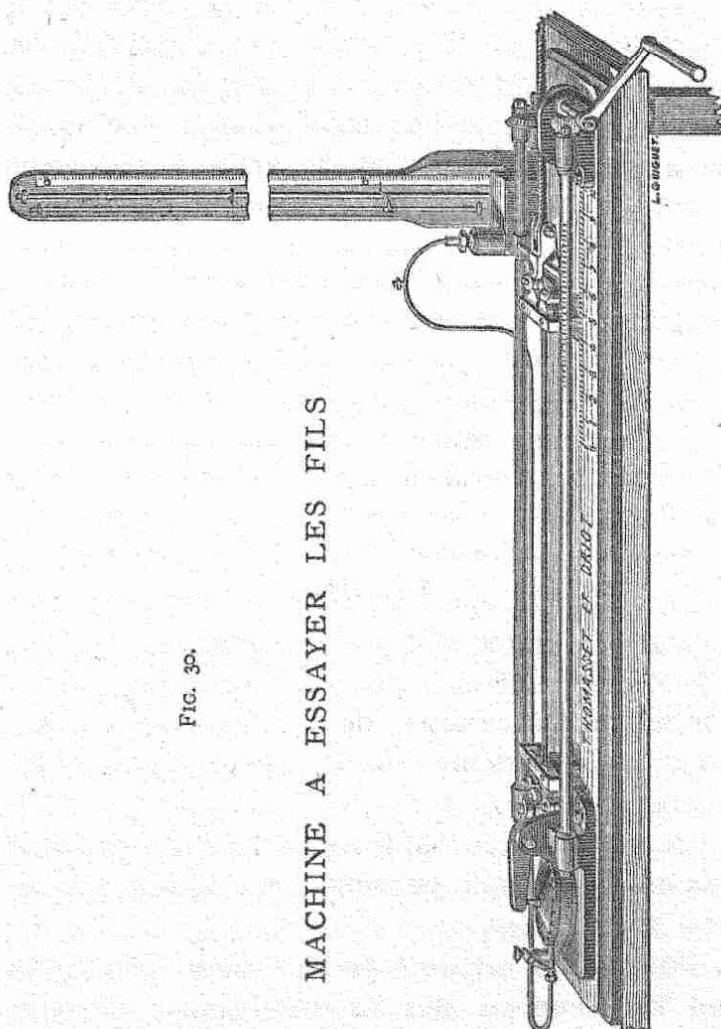


FIG. 30.

MACHINE A ESSAYER LES FILS

ou grains. Seul, l'appareil produisant l'effort *puissant* est différent : il se compose d'une manivelle agissant par engrenages sur une vis sans

fin portant une des deux pinces qui saisissent le fil ou la tôle en essai. On a dû ici supprimer le piston hydraulique décrit dans la première machine et qui opérerait une traction trop lente; dans bien des cas, pour les fils métalliques et les cordages, on n'arriverait pas au chiffre de rupture pratique, l'éprouvette s'allongerait sous cette traction trop lentement croissante et le phénomène serait dénaturé. Ces machines comportent deux types comme puissance d'essai: 1,000 et 5,000 kilogrammes.



Pliages.

L'ÉPREUVE des pliages se fait le plus souvent à l'aide d'une pièce de fer recourbée en forme d'U, qu'on place entre les mâchoires d'un étau et dont les bords supérieurs sont arrondis de façon à former des quarts de cercle de rayons égaux à 8 millimètres environ. On évite ainsi de produire sur le fil un effet de cisaillement. On fixe verticalement l'extrémité du fil entre les mâchoires de la pièce de fer, serrée elle-même par l'étau, et on rabat alternativement la partie libre du fil à droite et à gauche jusqu'à ce qu'elle s'applique exactement sur la partie horizontale de l'étau.

On conçoit que ce procédé soit un peu brutal.

On a cherché à le rendre plus indépendant de l'opérateur et plus comparable à lui-même, surtout en évitant les déformations moléculaires qui résultent du serrage du fil, et qui en diminuent la résistance justement au point sur lequel s'exerce le contrôle.

Un appareil nouveau a été construit dans ce but par un électricien bien connu, M. E. Lacoine. Il est représenté par les *figures* 31 et 32.

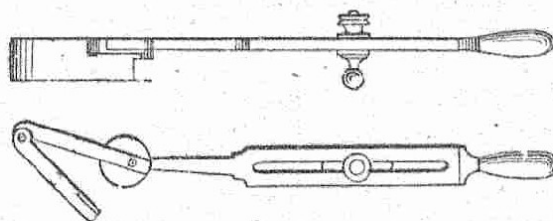


FIG. 31 et 32.

Ainsi qu'on le voit, cet appareil se compose d'une mâchoire qui pince l'extrémité du fil encastrée dans deux rainures. Cette mâchoire est maintenue fermée dans un étai. L'extrémité libre du fil passe librement dans l'œil du bouton mobile, qui peut glisser dans la rainure d'une réglette et y être maintenu par un écrou de serrage.

On imprime les mouvements alternatifs en tenant l'appareil par sa poignée; tout le système oscille autour du point où la réglette est réunie à la mâchoire.

La réglette porte une division en centimètres

qui sert à fixer la position de l'œil à partir de l'axe de rotation. Cette distance doit être indiquée dans les cahiers des charges. Elle est d'autant plus petite que le fil à mesurer est plus fin.



Mesure des diamètres. — Jauges. Micromètres.

LA mesure exacte du diamètre des fils est une opération très importante, à laquelle il faut s'arrêter quelques instants.

Les consommateurs de fils sont devenus de plus en plus exigeants à ce sujet, et les cahiers des charges des adjudications ne tolèrent plus aujourd'hui que des écarts de 1 à 2 centièmes de millimètre au-dessus ou au-dessous du diamètre demandé, ce qui exige une fabrication extrêmement minutieuse, ainsi que des méthodes et des appareils de mesure très précis.

La fabrication des fils de métal remonte à l'antiquité la plus reculée. Un auteur anglais (1), auquel nous empruntons une partie des renseignements qui vont suivre, nous apprend que Vulcain avait forgé sur son enclume et achevé à la lime un fil destiné à arrêter Mars et Vénus. Ce fil était fin comme un fil d'araignée, et, ajoute

(1) The English Wire Gauge by Thomas Hughes.

complaisamment notre auteur, un fil d'araignée a un diamètre de $\frac{1}{25,000}$ de pouce!!

Cette historiette naïve prouve tout au moins qu'à l'époque lointaine où furent rédigés les récits mythologiques on savait déjà fabriquer des fils métalliques. On peut voir au Kensington Museum un fil fait par les habitants de Ninive 800 ans avant Jésus-Christ.

Les Chinois se servaient, du reste, de temps immémorial, d'aiguilles d'acier qui étaient vraisemblablement forgées.

Les annales d'Augsbourg et de Nuremberg (1351-1360) contiennent des allusions à la fabrication des fils forgés.

En 1558, au moment où la reine Élisabeth d'Angleterre monta sur le trône, l'étirage à la main était déjà pratiqué en Angleterre. Elle fit venir, en 1565, des ouvriers d'Allemagne qui furent, dit-on, les inventeurs de l'étirage à la machine. Leur force motrice consistait soit en roues hydrauliques, soit en manèges mis en mouvement par des chevaux.

On peut supposer que ce furent ces ouvriers qui introduisirent en Angleterre les premiers appareils simples permettant de déterminer les diamètres des fils par une opération rapide et servant de base aux opérations commerciales.

Ces appareils sont connus sous le nom de *jauges*.

Lorsqu'en 1630 Charles I^{er} eut rendu un édit défendant l'importation des fils étrangers, la fabrication anglaise prit une très grande extension, et c'est vraisemblablement à ce moment que les nouveaux types de jauges commencèrent à être utilisés dans le commerce des fils.

C'étaient et ce sont encore aujourd'hui des plaques d'acier de formes variées : rectangulaires, elliptiques ou rondes, sur les bords desquelles sont pratiquées de petites échancrures de largeurs croissantes. On fait pénétrer successivement le fil dont on veut mesurer le diamètre, ou la feuille dont on veut mesurer l'épaisseur, dans les échancrures de la jauge jusqu'à ce qu'on arrive à celle qui ne reçoit plus le corps à mesurer. On sait alors que l'épaisseur correspond à un numéro déterminé de la jauge avec une erreur moindre que la différence entre les deux échancrures voisines.

Chaque pays a ses jauges particulières; en Angleterre le nombre des *Wire Gauge* (W. G.) est extrêmement considérable. Tout d'abord elles servirent à la mesure des grosseurs de fils de fer et d'acier, et leurs numéros se rapportaient probablement à des divisions du pouce. Ces numéros, d'abord restreints en nombre, se multiplièrent après l'édit de Charles I^{er}, et on fut amené à faire des jauges pour la série des petits et la série des gros diamètres.

Bientôt chaque centre de production de fils et

même chaque fabricant créa des jauges pour son usage. En énumérer le nombre serait trop long. On a les *Stub's Wire Gauge*, les *Warrington Wire Gauge*, les *Lancashire Yorks Wire Gauge*, les *Whitworth Wire Gauge* et toute une série de *Birmingham Wire Gauge*, qui diffèrent plus ou moins entre elles et sont la source d'erreurs de toute sorte.

Il paraît même que quelquefois l'idée de fraude a présidé à l'établissement de nouvelles jauges et que des industriels peu scrupuleux ont fait faire pour leur usage des jauges sciemment dénaturées. Bref, on se perd aujourd'hui au milieu de la multiplicité de ces jauges, auxquelles il faut ajouter les jauges américaines, les jauges françaises dites *de Paris*, *de Limoges* et *carcasse* (1), les jauges allemandes, etc.

Aussi a-t-on cherché à faire une jauge-type nouvelle qui pût servir d'étalon. Plusieurs constructeurs ont alors proposé de nouveaux types, ce

(1) Voici les diamètres correspondant aux numéros de la jauge carcasse; ils sont exprimés en millimètres :

10	0.53	29	0.19	40	0.10
12	0.48	30	0.18	41	0.095
14	0.44	31	0.17	42	0.09
16	0.40	32	0.16	43	0.085
18	0.36	33	0.15	44	0.08
20	0.32	34	0.14	45	0.075
22	0.28	35	0.13	46	0.07
24	0.25	36	0.12	47	0.065
25	0.23	37	0.115	48	0.06
26	0.22	38	0.11	49	0.055
27	0.21	39	0.105	50	0.05
28	0.20				

qui n'a pas peu contribué à en augmenter le nombre et à compliquer encore la question.

Un congrès a été réuni en 1877 pour remédier à cet état de choses, sur l'initiative de l'Institut américain des Ingénieurs des Mines. Des délégués français, anglais, allemands, autrichiens et russes ont participé à ses travaux, qui ont conduit aux conclusions suivantes :

1° Il y a lieu de renoncer absolument à la désignation des grosseurs de fils par des numéros de jauge.

2° Il y a lieu d'adopter la désignation des diamètres en millimètres ou en pouces et leurs fractions.

3° Il y a lieu d'adopter pour la mesure des diamètres une jauge micrométrique.

En 1878, la chambre de commerce de Birmingham a adressé une circulaire aux autres chambres de commerce d'Angleterre, et peu après le ministre de commerce a appelé l'attention sur la nécessité d'unifier les jauges.

L'année suivante, le comité de la *Société des Ingénieurs des Télégraphes d'Angleterre*, saisi de la même question, a émis le même vœu (1).

Enfin, le Congrès des Électriciens de 1881 a de nouveau recommandé la désignation des fils par leur diamètre, en millimètres et fractions de millimètre.

(1) Report of the committee of the Society of Telegraph Engineers on the Birmingham Wire Gauge.

Mais il faut compter avec la routine, les usages, les procédés de fabrication, la simplicité des appareils de mesure en usage.

Aussi peut-on craindre que la confusion ne soit pas près de disparaître.



Nous nous bornerons à donner la représentation à moitié grandeur de la jauge décimale française (*fig. 33*).

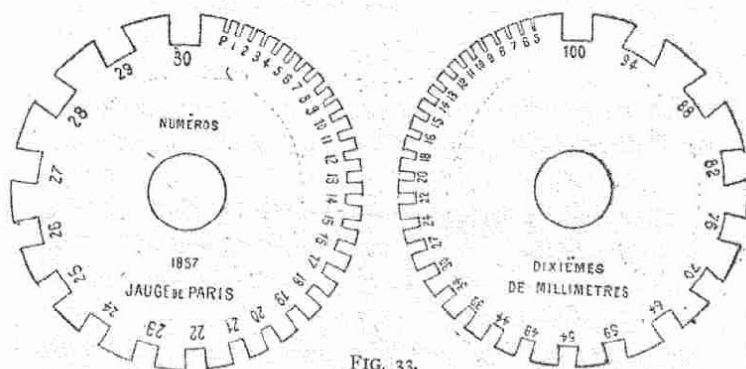


FIG. 33.

D'autres jauges sont constituées par une plaque portant en son milieu une fente formant un angle très aigu, dans lequel on engage le fil jusqu'à ce qu'il ne puisse aller plus avant. Une graduation donne le numéro correspondant. Telle est la jauge américaine, représentée (*fig. 34*) à l'échelle de moitié.

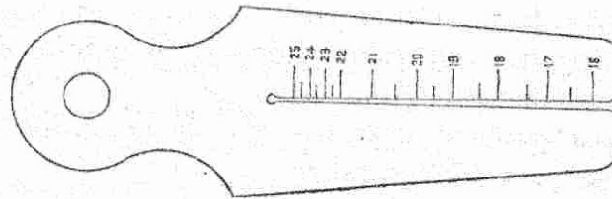


FIG. 34.

La *Calliper Gauge* a la forme d'un pied à coulisse muni d'un vernier (*fig. 35*).

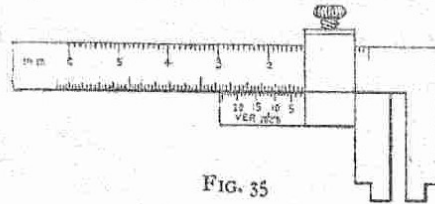


FIG. 35

La jauge micrométrique, connue sous le nom de Palmer (*fig. 36*), est aujourd'hui la plus com-

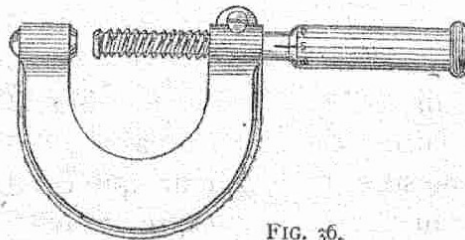


FIG. 36.

munément employée pour la mesure des diamètres.

Elle est si connue, qu'il est à peine besoin d'en donner la description.

Deux modèles se trouvent ordinairement dans le commerce. Ils se distinguent seulement en ce

que celui dont la fabrication est plus soignée est muni d'un bouton qu'on peut tourner, sans que le fil soit comprimé, dès qu'on est arrivé à son diamètre exact.

Dans certains modèles, tels que ceux de la maison Elliott, la graduation est double en fractions de pouce et fractions de millimètre.

L'approximation de la mesure est de $\frac{1}{2}$ centième de millimètre.

D'autres micromètres sont aussi en usage, mais non dans la pratique courante. Parmi ces derniers nous citerons celui de M. Dumoulin-Froment.



Un procédé moins direct pour trouver le diamètre moyen d'un fil consiste à le déduire de la pesée d'une certaine longueur de ce fil. Mais cette mesure suppose qu'on connaît très exactement la densité du fil, ce qui serait une opération fort délicate à faire dans chaque cas ; elle exige en outre une mesure de longueur qui comporte les mêmes erreurs qu'une mesure exacte du diamètre. Elle n'est donc pas très pratique, et il vaut mieux, pour les expériences courantes, prendre une longueur suffisante du fil, mesurer le diamètre au Palmer de distance en distance, en faisant deux opérations en croix en chaque point, pour prévoir l'ovalisation possible du fil et prendre enfin une moyenne générale.

IV

DE L'EMPLOI DES FILS DE BRONZE SILICIEUX
POUR LES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

LES fils de bronze silicieux sont aujourd'hui entrés dans la construction des réseaux télégraphiques aériens. L'État français en a déjà employé des quantités notables, et il est certain que le concours donné à la télégraphie par les fils de bronze ne fera que croître, en France et à l'étranger, surtout en ce qui concerne les lignes de moyenne et de grande longueur.

Il est facile de se rendre compte, par une analyse exacte, des avantages que présente le fil de bronze silicieux sur l'emploi du fil de fer galvanisé.

Supposons qu'il s'agisse, par exemple, d'une ligne de grande longueur, telle que celle de Paris à Marseille, qui a une longueur de 863 kilomètres.



Devis comparatifs.

NOUS avons établi, avec le concours d'ingénieurs possédant toutes les connaissances techniques et pratiques désirables, deux devis comparatifs, l'un relatif à la pose, entre Paris et Marseille (distance 863 kilomètres), d'un

fil de fer galvanisé ayant 0^m,005 de diamètre, avec toutes les dépenses que comporte ce travail; l'autre relatif à la mise en place, sur la même ligne, d'un fil de bronze silicieux de 0^m,002 de diamètre, ayant la même résistance électrique. — Le problème est ainsi posé complètement en défaveur du bronze, puisque dans le cas particulier de la seule pose d'un conducteur sur une ligne faite en vue de supporter des fils de fer d'un diamètre beaucoup plus considérable, il ne bénéficie pas des économies que sa plus grande légèreté permettrait d'introduire dans le choix et la plantation des appuis.

Dans ces conditions, le devis s'établit comme il suit :

1° *Ligne en fil de fer.*

1° 156 kilos de fil de fer par kilomètre, soit pour 863 kilomètres, 135 tonnes de fil à 38 fr. les 100 kilos.	51.300 »
2° Transport à pied d'œuvre de 135 tonnes de fil au prix moyen de 20 fr. la tonne	2.700 »
3° 15 supports et isolateurs par kilomètre, soit 12,945 à 2 fr. l'un.	25.890 »
4° Mise en place des supports, déroulage, montage, manchonnage, arrêt des fils : 10 fr. par kilomètre.	8.630 »
TOTAL.	<u>88.520 »</u>

2° *Ligne en fil de bronze silicieux.*

1° 28 kilos de fil de bronze silicieux par kilomètre, soit 24 tonnes 200 de fil.	Mémoire.
2° Transport à pied d'œuvre de 24 tonnes 200	

au prix moyen de 20 fr. la tonne.	484 »
3° 15 supports et isolateurs par kilomètre, soit 12.945 à 1 fr.	12.945 »
4° Mise en place des supports, déroulage, montage, manchonnage, arrêt des fils, etc., à 4 fr. le kilomètre.	3.452 »
TOTAL, non compris le prix du fil. . . .	<u>16.881 »</u>

On voit que pour arriver à la parité des dépenses il suffirait que le fil de bronze silicieux coûtât 88.520 fr. — 16.881 fr. = 71.639; ce qui met le prix du kilogramme de fil à $\frac{71.639}{24.200} = 2$ fr. 96.

Dans ces conditions, c'est-à-dire dans l'hypothèse la plus défavorable d'une ligne existant déjà sur laquelle on remplace un fil de fer par un fil de bronze de conductibilité équivalente, sans profiter d'aucun des avantages accessoires du fil, on arrive à un prix de bronze silicieux qui diffère peu du prix normal et qui lui serait égal et peut-être inférieur pour des fournitures d'importance considérable.

On bénéficie ainsi pour rien de la valeur intrinsèque du fil après détérioration des lignes, de son inoxydabilité, de sa résistance aux intempéries, etc., etc.



Considérons maintenant l'hypothèse d'une ligne nouvelle à créer de toutes pièces et supposons une ligne formée de la même longueur que la précédente comprenant :

1° 4 fils de fer galvanisé de 5^{mm} et 4 fils de fer galvanisé de 4^{mm};

2° 4 fils de bronze silicieux de 2^{mm} et 4 fils de bronze silicieux de 1^{mm}6.

Les devis comparatifs seront les suivants :

1° *Ligne en fil de fer.*

1° 4 fils de fer de 5 ^{mm} (voir le devis précédent) 88.520 fr. × 4 =	354.080 »
2° 4 fils de fer de 4 ^{mm} pesant 100 kilos par kilomètre, soit pour 863 kilomètres 86.300 kilos × 4 à 40 fr. les 100 kilos.	138.080 »
3° Transport à pied d'œuvre de 86.300 × 4 à 20 fr. la tonne.	6.904 »
4° Supports à raison de 15 par kilomètre, soit 4 × 15 × 863, à 2 fr. l'un.	103.560 »
Montage, déroulage, manchonnage, arrêt des fils, mise en place des supports	34.520 »
TOTAL pour les huit fils.	<u>637.144 »</u>

Il faut compter qu'en raison des courbes, 2/3 des poteaux devront être doublés pour résister aux efforts latéraux. Comme l'on compte 15 poteaux par kilomètre, cela revient à 25 poteaux en tout, y compris les poteaux doubles, soit :

1° 25 × 863 poteaux à 12 fr. l'un	258.900 »
2° Mise à pied d'œuvre de ces poteaux à 1 fr. pièce.	21.575 »
3° Plantation de 863 × 5 = 4.315 poteaux simples à 2 fr. l'un.	8.630 »
4° Plantation de 863 × 10 = 8.630 poteaux doubles à 4 fr. l'un	34.520 »
5° Assemblage de 863 × 10 poteaux doubles à 2 fr.	17.260 »
TOTAL de la ligne complète y compris le prix des huit fils.	<u>978.029 »</u>

2° *Ligne en fil de bronze silicieux.*

Nous avons indiqué plus haut que par l'emploi des fils télégraphiques en bronze silicieux on peut augmenter les portées de 5 à 19 %.

Pour nous placer dans l'hypothèse la plus défavorable au bronze silicieux, nous admettrons cependant le même nombre de poteaux.

Toutefois, nous considérerons qu'un tiers seulement de ces poteaux doivent être l'objet de mesures de consolidation.

Dès lors, le devis s'établit ainsi qu'il suit :

1° 4 fils de 2 millimètres, pesant 28 kilos par kilomètre, soit 96 tonnes 800.	
2° 4 fils de 1 ^{mm} 6, pesant 18 kilos par kilomètre, soit 62 tonnes 360.	
Ensemble : 159 tonnes 160.	Mémoire.
3° Transport du fil à pied d'œuvre, supports d'isolateurs, montage, réglage, etc. (Voir le premier devis)	fr. 135.048 »
1° Par kilomètre 15 poteaux, soit 20 en comprenant les poteaux doubles, à 12 fr. l'un . . .	208.320 »
2° Mise à pied d'œuvre des poteaux, 20×863 à 1 fr.	17.260 »
Plantation de 10×863 poteaux simples à 2 fr.	17.260 »
Plantation de 5×863 poteaux doubles à 4 fr.	17.260 »
Assemblage de 5×863 poteaux doubles à 2 fr.	8.630 »
TOTAL général, moins le prix du fil. . .	<u>403.778 »</u>

Pour que la ligne coûtât le même prix par les deux systèmes, il faudrait donc que les 159 tonnes 160 de fil de bronze silicieux eussent un prix inférieur à

$$978.029 \text{ fr.} - 403.778 \text{ fr.} = 574.251 \text{ fr.}$$

ce qui met le prix maximum du fil à 3 fr. 60 le kilo.



On voit donc que, dans ce cas, tant que le fil silicieux aura un prix inférieur à 3 fr. 60 le kilo, il y aura une économie certaine à l'employer, tout en bénéficiant pour rien des avantages accessoires que nous avons déjà énumérés.

On est ainsi amené à conclure qu'il y aura sensiblement égalité dans les dépenses lorsqu'il s'agira de procéder à de simples poses ou remplacements de fils sur les lignes déjà établies, économie très sensible lorsqu'il sera question de construire une ligne neuve dans les pays où les transports sont faciles, et économie très considérable dans les pays où les transports sont difficiles.

Si à l'économie dans les dépenses on ajoute les avantages techniques de toute nature résultant de l'emploi de fils d'un diamètre réduit au minimum et permettant, d'une part, de se défendre, dans toute la limite du possible, contre les influences de toute sorte, et, d'autre part, d'arriver avec certitude et d'une façon pratique au rendement maximum des appareils télégraphiques perfectionnés, on peut affirmer que le bronze silicieux doit, à brève échéance, supplanter les fils de fer sur nos lignes.



Lignes dans les pays où les transports sont coûteux et difficiles.

LES comparaisons que nous venons de faire sont relatives aux pays où les communications sont faciles. Elles seraient tout à fait différentes pour les contrées encore dépourvues non seulement de chemins de fer, mais encore de bonnes routes.

Il est facile de voir combien, dans ces cas très fréquents, l'économie devient considérable avec l'emploi des fils de bronze silicieux. Cette économie peut du reste s'évaluer d'avance avec une exactitude complète, comme nous allons le démontrer en indiquant la méthode d'un électricien très compétent, dont nous avons déjà eu à citer le nom au cours de ce travail : M. E. Lacoine.

Comme nous l'avons déjà fait, afin de n'encourir aucun reproche de partialité, nous examinerons le problème dans l'hypothèse la plus défavorable au fil de bronze silicieux : celle où la ligne existe déjà et où l'on a à remplacer un ou plusieurs fils de fer par un nombre égal de fils de bronze de conductibilité égale.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer, la question, ainsi posée, exclut volontairement toutes les causes d'économie qui résultent de la légèreté du fil et de sa nature même, et en premier lieu l'économie considérable qu'entraîne la diminution du nombre des poteaux.

Remarquons, d'ailleurs, que c'est rarement dans ces conditions que se trouverait l'ingénieur chargé d'installer une ligne nouvelle. Le plus souvent, dans les pays encore fermés à la civilisation, le réseau entier sera à créer de toutes pièces; poteaux et lignes précéderont l'exécution de la route elle-même.

Tout ce que nous allons dire sera donc de beaucoup au-dessous de la vérité.

Quoi qu'il en soit, supposons une ligne formée de fils de fer établie sur des poteaux existants et recherchons l'économie que donnera le remplacement de ce fil de fer par un fil de bronze silicieux. Voici comment M. E. Lacoine analyse le problème :

Soit l la longueur de la ligne à construire;

D la distance du transport à partir du point de débarquement jusqu'au point le plus voisin de la ligne;

a le prix d'un kilogramme de fil de fer rendu au port de débarquement;

a' le prix d'un kilogramme de fil de bronze silicieux de conductibilité équivalente, également rendu au port de débarquement;

b le poids en kilogrammes d'un kilomètre de fil de fer;

b' le poids en kilogrammes d'un kilomètre de fil de bronze silicieux de conductibilité équivalente;

c le prix du transport d'un kilogramme de fil par kilomètre.

Le poids de la ligne sera exprimé par $b l$ pour le fil de fer et par $b' l$ pour le fil de bronze silicieux.

Quant au prix d'achat, il sera $a b l$ dans le premier cas ; $a' b' l$ dans le second.

La répartition du fil sur une ligne de l kilomètres nécessite un transport équivalent à celui de tout le matériel de la ligne à la distance $\frac{l}{2}$; on aura par conséquent à prendre comme distance de transport $D + \frac{l}{2} = L$, et ce prix de transport sera $c b l L$ pour le fil de fer, $c b' l L$ pour le bronze.

La dépense totale, achat et transport, le prix de main-d'œuvre n'étant pas compté, sera donc :

$a b l + c b l L$ pour le fil de fer ;

$a' b' l + c b' l L$ pour le fil de bronze silicieux.

L'économie obtenue par l'emploi du bronze sera donc :

$$B = a b l + c b l L - a' b' l - c b' l L$$

$$\text{ou } B = c l L (b - b') - l (a' b' - a b) \quad (1)$$

et elle se produira à partir du moment où il y aura égalité de dépenses de part et d'autre, c'est-à-dire quand B sera égal à zéro.

Lorsque cette condition sera remplie on aura :

$$cl L (b - b') = l (a'b' - ab)$$

ou
$$L = \frac{a'b' - ab}{c (b - b')} \quad (2)$$

Cette formule met en évidence que si les prix des deux espèces de fils étaient en raison inverse de leurs poids à conductibilités égales, l'économie serait immédiate et indépendante de la distance.

Si l'on voulait tenir compte des frais de pose du fil, comme on peut admettre qu'ils sont proportionnels aux poids des fils, on aurait à ajouter à l'économie le terme $kl(b - b')$, dans lequel k serait le prix de manutention d'un kilogramme de fil.

L'expression ci-dessus deviendrait alors :

$$L = \frac{(a'b' - ab) - k (b - b')}{c (b - b')} \quad (3)$$

Ces formules se simplifient si l'on remarque que $b = 6.55 b'$ environ; si on appelle d le diamètre du fil de bronze silicieux, on a très approximativement $b' = 7d^2$; d'où $b = 45,85 d^2$; d'autre part, si m est le rapport des prix, on aura $a' = ma$, et l'expression (2) deviendra alors :

$$L = \frac{a' (7^m - 45,85)}{38,85 \cdot m \cdot c}$$

Appliquons cette formule au cas où m serait égal à 10 et $c = 0,0006$, ce qui est un prix moyen pour les pays où les transports sont difficiles ; on trouve, avec une certaine approximation, $L = 100 a'$, ce qui donne un moyen très facile de calculer immédiatement la longueur de ligne au delà de laquelle on a avantage à employer les fils de bronze.

Si la ligne part du port de débarquement, L se réduit à $\frac{l}{2}$ et l'économie se manifeste dès que la ligne a une longueur supérieure à 200 fois le prix du kilogramme de fil.

Ces distances *minima* s'abaissent très rapidement :

- 1° Lorsque la ligne comporte plusieurs fils ;
- 2° Lorsqu'on chiffre les frais de main-d'œuvre ;
- 3° Lorsqu'on a à établir une ligne nouvelle pour laquelle l'économie du nombre des poteaux entre en ligne de compte.

Les indications tirées des considérations que nous venons de développer doivent donc être considérées comme des *maxima* très éloignés de la limite véritable.



Lignes télégraphiques internationales.

LA nécessité de cette transformation paraît encore plus saisissante sur les grandes artères télégraphiques internationales.

Le merveilleux appareil multiple de M. Baudot permet, depuis trois ou quatre ans déjà, l'échange, entre Paris et Bordeaux, de 240 à 250 dépêches à l'heure avec un seul fil, et au moyen de quatre claviers dont le travail individuel est absolument indépendant l'un de l'autre. Il répond à tous les besoins qui peuvent se présenter sur une ligne ayant un flux de 250 dépêches à l'heure, que ce flux soit tout entier dans un sens, d'intensité égale dans les deux sens, ou enfin d'un quart dans un sens et de trois quarts dans l'autre. La variété de ces combinaisons établit sa supériorité incontestable sur les appareils fonctionnant en duplex, qui perdent la moitié de leur puissance si, momentanément, le courant des dépêches est nul dans un sens. C'est l'appareil télégraphique qui s'adapte le mieux à l'écoulement régulier des correspondances internationales, quelle que soit leur importance. Une seule condition est à remplir pour qu'il donne, entre Vienne et Paris par exemple, un rendement égal à celui que l'on obtient chaque jour entre Paris et Bordeaux. Il suffit que le conducteur qui reliera la capitale de la France à celle de l'Autriche réponde aux mêmes propriétés électriques.

La première et la plus importante de beaucoup

est celle de la résistance électrique ; elle devra être la même, ou sensiblement la même, que celle du fil de fer de 5 millimètres qui assure le fonctionnement de l'appareil entre Paris et Bordeaux. Le bronze silicieux est seul à pouvoir donner la solution pratique du problème, car il suffira d'employer à cet effet un fil dont le diamètre soit de 3 et demi à 4 millimètres, tandis qu'il faudrait, pour obtenir la même conductibilité kilométrique, un fil de fer de 8 millimètres de diamètre, c'est-à-dire une véritable barre de fer. L'exiguité relative du fil de bronze atténuera les inconvénients et les influences qui ne manquent pas de se manifester sur les longs fils, et permettra de les combattre victorieusement ; l'exagération du diamètre avec le fil de fer développera l'intensité de ces mêmes phénomènes au point de ne pouvoir triompher des troubles qu'ils produiront, soit sur le fil lui-même, soit sur les fils suivant la même voie.

Ne se sera-t-il pas accompli une véritable révolution télégraphique, ainsi que nous l'annonçons plus haut, le jour où, grâce au bronze silicieux, on verra les différentes capitales de l'Europe, à des distances respectives, électriquement parlant, égales à celles de Paris à Bordeaux, et pouvant échanger, par l'appareil Baudot, par exemple, leurs correspondances à raison de 250 à 300 dépêches à l'heure, et cela avec certitude et presque en dépit des troubles atmosphériques,

toujours trop fréquents, puisqu'il suffirait qu'un ou deux fils sur le nombre plus ou moins grand des conducteurs reliant les capitales fussent valides pour assurer l'écoulement de tout le trafic ?

L'abaissement des taxes est et a toujours été une grande préoccupation dans chaque Etat, et principalement dans les conférences télégraphiques internationales. Les dispositions et les intentions de tous les gouvernements sont unanimes à chercher les moyens de donner satisfaction aux demandes de réduction des tarifs, quelquefois très lourds pour le commerce ; mais encore faut-il que les intérêts du Trésor chez chacun soient respectés, et que ces réductions ne constituent pas une perte pour lui. Les améliorations constantes du service, et surtout l'apparition et l'adoption des appareils à plus grand débit, ont permis déjà des abaissements successifs considérables.

Voici qu'un nouveau genre de conducteur vient permettre de lancer les dépêches à des distances doubles ou triples, et avec un rendement à l'heure égal, sinon plus grand. Il ne paraît pas téméraire d'entrevoir dans cette nouvelle situation la possibilité de réductions prochaines dans les taxes internationales, les dépenses diminuant d'une part avec la suppression de manipulations intermédiaires et, d'autre part, avec l'augmentation du débit par un même conducteur.

Il est une question d'une importance peut-être moins générale, mais d'un intérêt considérable pour le monde des affaires. On s'est beaucoup préoccupé, ces dernières années, d'établir en communication aussi directe que possible les principaux marchés financiers de l'Europe. Le bronze silicieux n'apporte-t-il pas un moyen sûr d'établir ces communications, avec une vitesse d'écoulement tellement supérieure, que les dépêches de Bourse atteignent toujours avec certitude leur destination en temps utile? Il nous semble que le jour où, au moyen d'un simple fil de bronze de 4 millimètres de diamètre, on aurait relié Paris à Vienne, à Berlin, à Rome, à Madrid, à Londres, à Marseille, etc., etc., et que toutes ces distances, réduites électriquement à celle de Paris à Bordeaux, permettraient l'échange de 250 à 300 dépêches à l'heure, les correspondances seraient singulièrement améliorées, et le monde télégraphique heureusement transformé.



Télégraphie militaire.

CE n'est pas seulement dans la télégraphie aérienne proprement dite que le bronze silicieux est appelé à rendre les plus grands services : ses qualités mécaniques et électriques le rendent éminemment propre à répondre aux exigences toutes spéciales de la télégraphie militaire.

Personne n'ignore avec quel soin méticuleux sont calculés, jusqu'au kilogramme près, les poids, et jusqu'au décimètre cube, les volumes des mille objets qui constituent les bagages d'une armée en campagne. Cette précaution est indispensable pour diminuer ou alléger le cortège des voitures qui l'accompagnent et sont un si grand embarras pour le commandement. Les voitures affectées à la télégraphie militaire notamment portent un assez grand nombre de bobines garnies de fils de fer destinés à l'établissement de lignes volantes, et généralement d'un diamètre de 2 millimètres. Que l'on substitue à ces fils des fils de bronze silicieux d'un millimètre, il sera permis de réduire les poids au quart ou d'en emporter une longueur quatre fois plus grande.


D'un autre côté, si, dans les fils isolés dont sont également pourvues ces voitures, on remplace l'âme actuelle, composée de fils de cuivre ordinaire d'une résistance presque nulle à la traction, par une cordelette formée de fils de bronze silicieux résistants, l'âme elle-même possédera la ténacité qu'ils doivent avoir, et il deviendra possible de réduire la protection extérieure et par suite le volume qu'ils occupent sur les bobines. Ici encore, l'emploi du bronze diminuera l'encombrement ou permettra l'augmentation de longueur des câbles constituant l'approvisionnement.



V

DE L'EMPLOI DES FILS DE BRONZE SILICIEUX
DANS LA TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE

Câbles légers.

N sait quel rôle important le poids des conducteurs joue dans la télégraphie sous-marine. Il intervient non seulement comme un des gros éléments de la dépense, mais encore comme un des facteurs principaux dans la pose des lignes et leur relèvement en cas d'avarie.

Au point de vue de la dépense, il est clair que plus le câble sera lourd, plus son prix sera élevé; il faut considérer en outre qu'avec l'accroissement du poids des conducteurs augmentent également les dimensions du navire qui doit emmagasiner la ligne et la puissance des appareils qui doivent la dérouler et l'immerger.

Il est à peine nécessaire d'insister sur les facilités de pose qui résulteraient de l'emploi d'un câble léger. C'est surtout lorsque le câble, une fois posé, a subi des avaries et qu'il devient nécessaire de les réparer, que l'influence du poids se manifeste de la façon la plus sérieuse.

Lorsqu'on opère la pose d'un câble, on est obligé de compter sur une plus grande longueur que celle qui résulte des sondages. L'excès de longueur, qui reçoit, en termes du métier, le nom de *mon*, ne s'élève pas au-dessus de 10 à 12 % de la

longueur totale et ne peut être moindre de 8 à 10 %.

Ce *mou* a un rôle capital dans l'opération du relèvement. — En effet, lorsque le conducteur est en relèvement, le grappin qui le soulève jusqu'à la surface doit résister non seulement à la composante verticale du poids du câble (qui ne dépend que de la profondeur et qui se double en raison des deux parties qui s'étendent de part et d'autre du grappin), mais encore aux efforts considérables résultant des frottements contre la nappe d'eau coupée.

Il arrive ainsi fréquemment, lorsqu'on opère dans de grands fonds, que le conducteur peut être soumis à un effort de traction supérieur à celui qu'il est capable de supporter, et qu'on est

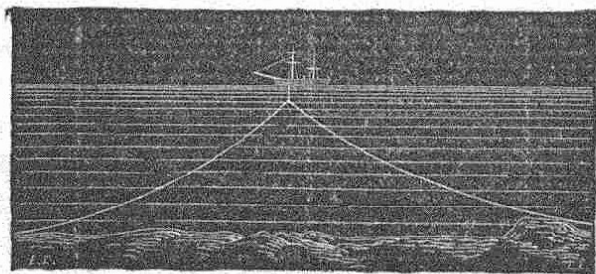


FIG. 37.

obligé de recourir à des artifices pour amener les conducteurs à la surface.

Ces artifices consistent à employer deux ou plusieurs navires pour le relèvement; ce qui peut se faire suivant les conditions indiquées

par les *figures* 38 et 39, ou, dans les cas les plus simples, avec l'aide d'une bouée auxiliaire. (*fig.* 40.)

De toute façon, on voit combien sont considé-

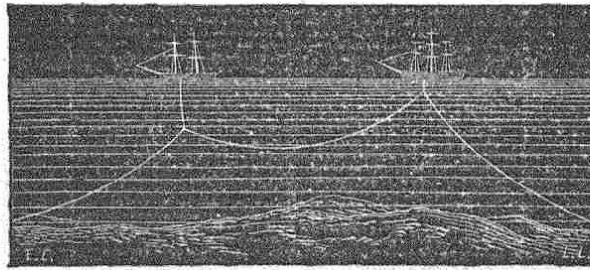


FIG. 38.

rables les difficultés et par suite le coût des opérations de relèvement.

Ce serait donc un progrès important que de diminuer le poids des câbles.

S'il est, en général, très élevé dans la plupart des cas, c'est qu'au point de vue de l'effort total auquel le câble est appelé à résister, l'âme conductrice en cuivre n'intervient en aucune façon. On sait, en effet, que le cuivre ne résiste pas à un effort de traction supérieur à plus de 28 kilos par millimètre carré.

En outre, il s'allonge d'une fraction très considérable de sa longueur initiale, et si on voulait intéresser l'âme d'une façon quelconque aux efforts que le câble entier aura à supporter, il ne tarderait pas à s'allonger au delà de sa limite d'élasticité et à conserver un allongement perma-

ment, alors que les substances qui l'enveloppent seraient revenues à leur première longueur.

Il en résulterait que, ne pouvant plus se loger dans une gaine devenue trop courte pour lui, le fil de cuivre prendrait une forme sinueuse dans son enveloppe de gutta-percha et déterminerait en certains points de véritables hernies, dont

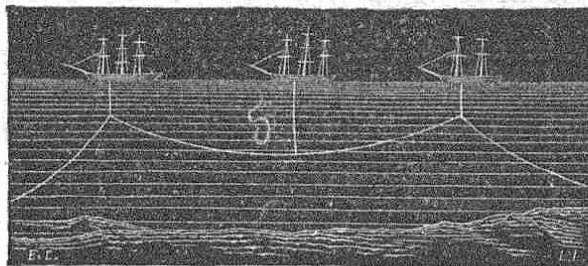


FIG. 39.

l'effet serait de décentrer le fil, de percer la couche d'isolant et finalement d'ouvrir une fuite certaine au courant électrique.

Il est facile de s'assurer par une expérience que les choses se passent ainsi en réalité.

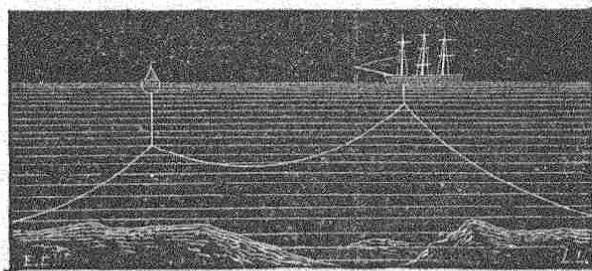


FIG. 40.

Or nous avons vu plus haut que les fils de bronze

silicieux peuvent se substituer avec avantage aux fils de cuivre ordinaire, puisqu'à conductibilité égale ils ont une résistance mécanique très supérieure et qu'ils n'ont pas le défaut de s'allonger sous un poids inférieur à leur charge de rupture.

Leur application nouvelle à la fabrication des câbles sous-marins ne peut être mieux démontrée que par un exemple.

Considérons le câble de la Compagnie Française de Paris à New-York, dit câble Pouyer-Quertier, construit et posé en 1879 par la maison Siemens frères, de Londres.

Nous représentons (*fig. 41, 42, 43*) les sections

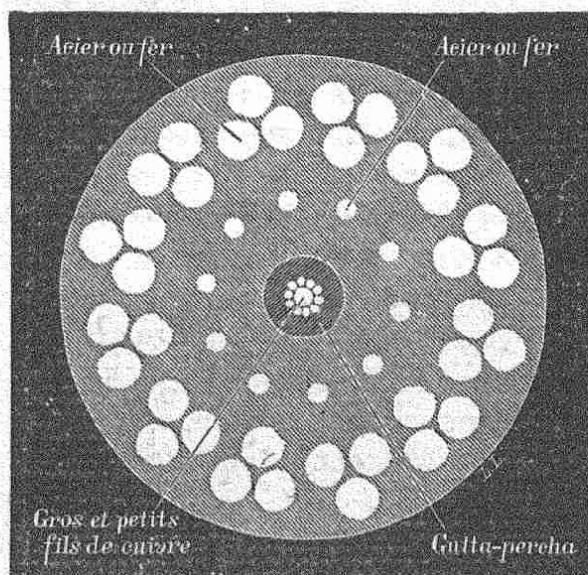


FIG. 41. — CÂBLE D'ATERRISSEMENT. (L'espace intermédiaire est occupé par des enveloppes de chanvre.)

de ce câble dans ses différentes parties : câbles d'atterrissement et câbles de profonde mer.

Considérons le dernier de ces types.

Le poids respectif de chacun des éléments qui le composent est par mille marin de 1.852 mètres :

Ame en cuivre	220 kil.
Gutta-percha	180
Chanvre ou phormium	80
18 fils de fer galvanisé de 2 ^{mm} de diamètre.	860
Chanvre intérieur et composition.	400
	<hr/>
	1.740 kil.
	<hr/>

Diamètre total : 30 millimètres. — Résistance totale : 3,000 kilos, les fils de l'armature étant supposés en fer.

Poids sous l'eau : 450 kilos.

Il peut donc supporter sous son seul poids sans se rompre environ 6 à 7 milles de sa longueur.

Examinons la carte des profondeurs sous-marines.

L'Atlantique présente du nord au sud, à égale distance à peu près du nouveau et du vieux continent, une sorte d'arête longitudinale dans laquelle les profondeurs varient de 3 à 400^m. Cette zone s'épanouit à la hauteur de 50° de latitude nord dans la région qui a reçu les principaux câbles réunissant la France et l'Angleterre aux États-Unis.

Des deux côtés se trouvent trois dépressions

dans lesquelles les fonds vont de 4,000 à 6,000 mètres. L'une, celle de l'est, s'étend de la pointe

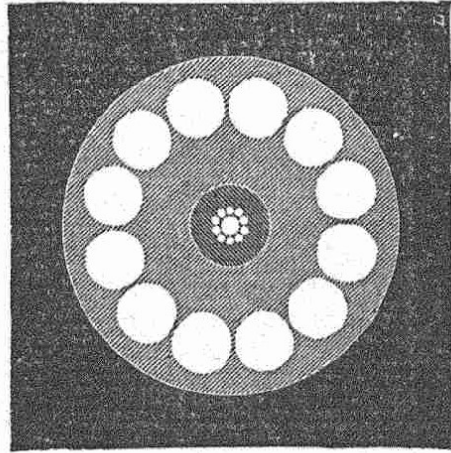


FIG. 42.

CABLE D'ATERRISSEMENT INTERMÉDIAIRE (Profondeurs de 90 à 200^m) sud de l'Irlande à la hauteur du cap de Bonne-Espérance, et la ligne qui la limite à gauche suit

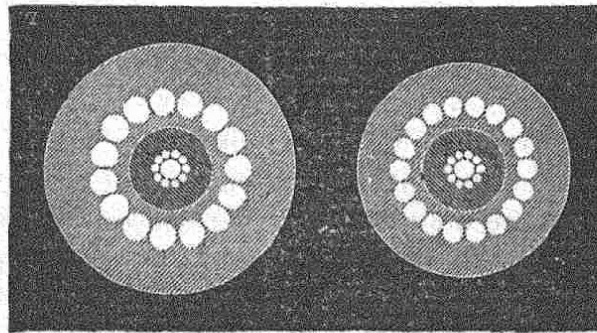


FIG. 43.

CABLES DE MER PROFONDE (Profondeurs de 200 à 500^m, 500^m et au delà) les contours généraux des côtes ouest de l'Europe et de l'Afrique.

Les deux autres, dites du nord-ouest et du sud-ouest, forment deux bassins avoisinant les États-Unis et les Antilles d'une part, — l'Amérique du Sud de l'autre.

Dans ces dépressions, les sondages ont relevé quelques zones dans lesquelles les profondeurs vont au delà de 6,000 mètres. Les principales se trouvent à l'ouest des Canaries, au sud de Terre-Neuve, entre Porto-Rico et les Bermudes et à droite de l'île de Martin-Vaz.

Les grands fonds du Pacifique affectent une répartition tout à fait différente. Entre le Japon et les États-Unis se trouve, longitudinalement entre les 40° et 50° de latitude, la fosse de Tuscarora, qui a des profondeurs de 6 et 8,000 mètres. Parallèlement au Japon et aux Kouriles se trouve une dépression dans laquelle a été relevée la plus grande profondeur connue : 8,513 mètres.

On voit donc que toute nouvelle grande ligne sous-marine devant s'étendre dans une autre zone que celle qui a reçu les câbles atlantiques actuels devrait traverser des dépressions dans lesquelles les fonds atteignent au minimum 4,000 mètres. La possibilité du relèvement serait très problématique dans de telles conditions et elle deviendrait certainement impossible s'il s'agissait de poser un câble entre San-Francisco et le Japon.

Dans ces conditions, on est forcé de conclure que l'emploi des câbles actuels limite singulièrement les progrès de la télégraphie sous-marine,

qui resterait restreinte à certaines zones de l'Atlantique, aux mers intérieures et aux lignes des côtes.

Or, à considérer les progrès que font chaque jour les applications de la science et les besoins toujours plus grands de communications rapides entre les peuples, il est certain qu'il faudra aborder à bref délai l'étude de câbles nouveaux destinés à traverser sur une grande longueur les plus grands fonds de l'Océan (1). La nécessité s'impose donc d'étudier les solutions nouvelles que, seuls, peuvent donner les câbles légers, faciles à poser et de réparation possible.

M. J. Richard, ancien ingénieur-directeur de l'administration des Télégraphes, et présentement administrateur délégué de la Société générale des

(1) Tableau des plus grandes profondeurs des différentes mers, obtenues dans les explorations des dernières années, publié par les *Annalen für Hydrographie* :

MERS	Navires ayant exécuté le sondage.	Profondeur en mètres.
Océan Pacifique (Nord) . .	Tuscarora.	8.513
Id. (Ouest) . .	Challenger.	8.367
Océan Atlantique (Nord) . .	Id.	7.086
Mer des Antilles	Blake.	6.270
Océan Pacifique (Sud) . . .	Alaska.	6.160
Océan Atlantique (Nord) . .	Essex.	6.006
Océan indien	Gazelle.	5.523
Mer de Banda	Challenger.	5.120
Mer de Corail	Id.	4.850
Océan Glacial (Nord)	Sofia.	4.846
Mer des Célèbes	Id.	4.755
Mer de Soulou	Id.	4.663
Méditerranée	Pomerania.	3.968
Golfe du Mexique	Blake.	3.875
Océan Indien	Challenger.	3.612
Mer de Chine	Id.	3.240
Océan Indien	Id.	3.060

(Mouvement géographique.)

Téléphones, a résolu le problème en faisant entrer dans la fabrication des câbles le bronze silicieux de M. L. Weiller; et la compétence particulière qu'il a acquise dans une carrière presque entièrement consacrée aux travaux de télégraphie sous-marine, doit faire considérer la solution qu'il présente comme appelée à recevoir, dans un temps prochain, la consécration et la sanction de l'expérience.

Le câble combiné par M. Richard est composé de la manière suivante :

Ame en bronze silicieux de poids égal à celle du câble Pouyer-Quertier, soit par mille marin	220 kil.
Gutta-percha	180
Couche de chanvre	80

L'armature est formée de 28 fils de fer galvanisé de 1^{mm}25 de diamètre, qui forment l'axe de cordes en chanvre, disposées en toron autour du diélectrique.

Le poids des fils est de	500 kil.
et le poids du chanvre qui les environne de	250

Le poids du câble est donc de 1,230 kilos dans l'air et de 320 kilos dans l'eau.

Son diamètre est de 25 centimètres et sa résistance à la rupture de 2,800 kilos, dont l'âme supporte environ la moitié.

Dans ces conditions, le câble peut supporter sous son poids 8 à 9 milles marins de sa longueur et être relevé par les plus grandes profondeurs.

Les conclusions de cet examen comparatif se présentent d'elles-mêmes :

A conductibilité égale et à résistance à la traction à peu près égale, le nouveau câble a un poids et un volume qui sont égaux aux deux tiers des mêmes éléments dans les câbles Pouyer-Quertier.

Il coûterait environ 800 francs de moins par mille et exigerait, pour la pose, un navire et des engins bien moins puissants, et par conséquent de prix moins élevé.

Ce serait le type des câbles de mer profonde. Dans ces régions où règne l'immobilité absolue, où la vie est raréfiée, l'armature réduite suffira pour combattre l'usure due aux frottements et aux attaques des animaux.

Dans les parties d'atterrissement, il faudra, au contraire, revenir aux armatures protectrices habituellement employées.

Le modèle dont nous venons de parler est le premier qui ait été fabriqué. Tel qu'il est, et bien qu'il puisse recevoir d'une étude plus complète et de l'expérience des modifications de détail, il mérite de fixer l'attention des ingénieurs compétents.



VI

DE L'EMPLOI DES FILS DE BRONZE SILICIEUX
POUR LES LIGNES TÉLÉPHONIQUES

SUPPORTS O. ANDRÉ
POUR LIGNES TÉLÉPHONIQUES
ET TÉLÉGRAPHIQUES

LES réseaux téléphoniques en fils de bronze silicieux sont déjà nombreux.

Le premier qui ait été posé par l'administration française des télégraphes est celui de Reims, dont un modèle réduit des éléments principaux figurait à l'Exposition d'Électricité de Vienne.

Ce réseau présente deux particularités : d'abord l'emploi du fil silicieux ; ensuite l'emploi de supports métalliques d'un nouveau type imaginés par M. O. André, ingénieur à Neuilly, et construits par la Société des Ateliers de Neuilly, et que nous allons décrire dans ce chapitre.

Les mêmes éléments, fils et supports, ont été employés dans les autres réseaux installés par l'État français à Troyes et à Nancy.

La Société générale des Téléphones n'a pu faire qu'un emploi restreint du bronze silicieux dans son réseau de Paris, qui est presque complètement établi en égouts.

Elle en a fait au contraire usage avec avantage et économie sur ses réseaux de province à Bordeaux, Rouen et Saint-Pierre-les-Calais.

Les Sociétés téléphoniques étrangères, en particulier celles d'Italie, d'Angleterre, d'Ecosse, d'Autriche-Hongrie, de Suède et Norwège, etc., ont tous leurs réseaux téléphoniques en bronze silicieux.



Le système de supports imaginé par M. O. André et inauguré à Reims, a donné des résultats absolument satisfaisants. On l'a appliqué tel quel, sans modification, aux autres réseaux de l'Etat, ce qui est la consécration de sa valeur.

Il est donc intéressant d'employer un chapitre à en faire la description détaillée.



Dans les villes, *la plus grande difficulté* de l'établissement des lignes aériennes consiste dans la pose des points d'appui. La forme, les dimensions absolues et relatives de ces supports, leur disposition variant sans cesse, le personnel chargé de ce travail est obligé de faire à chaque installation une étude spéciale et un apprentissage nouveau. Il en résulte que souvent la dépense d'installation de la ligne est plus importante que la fourniture elle-même.

Tout ce qui peut rendre ce travail plus rapide, plus facile, moins dangereux et plus correct, représente une économie immédiate. Si à cette

économie pouvait s'ajouter celle résultant de la suppression de l'entretien et la facilité de pouvoir doubler, tripler le nombre des fils au fur et à mesure de l'extension des abonnements, un progrès évident serait réalisé dans l'installation des lignes aériennes.

C'est le but que s'est proposé M. O. André, et les faits prouvent qu'il l'a atteint.

La première application a été faite à Reims, au commencement de l'année 1883.

Cette installation, dont les types, réduits au quart, ont figuré à l'Exposition du Ministère des Postes et Télégraphes, à Vienne, a permis de se rendre compte des avantages indiscutables des dispositions employées.

Dans l'examen de ces dispositions, nous retrouvons toujours les mêmes principes :

(1) Limiter au minimum possible le nombre de modèles.

(2) Rendre les pièces uniformes, de façon que sans aucun repérage elles puissent entrer dans la composition d'un support quelconque.

(3) Choisir les fers spéciaux les plus légers, travaillant dans les meilleures conditions de résistance.

(4) Supprimer presque complètement le rivage et assembler par des boulons. Cette disposition permet à la fois la diminution du poids des *pièces unités* et rend la permutation beaucoup plus facile.

(5) Distinguer dans chaque montant (poteau, montants de herse) deux éléments :

L'un, toujours pareil de forme, ne variant que par sa longueur, la *hampe*.

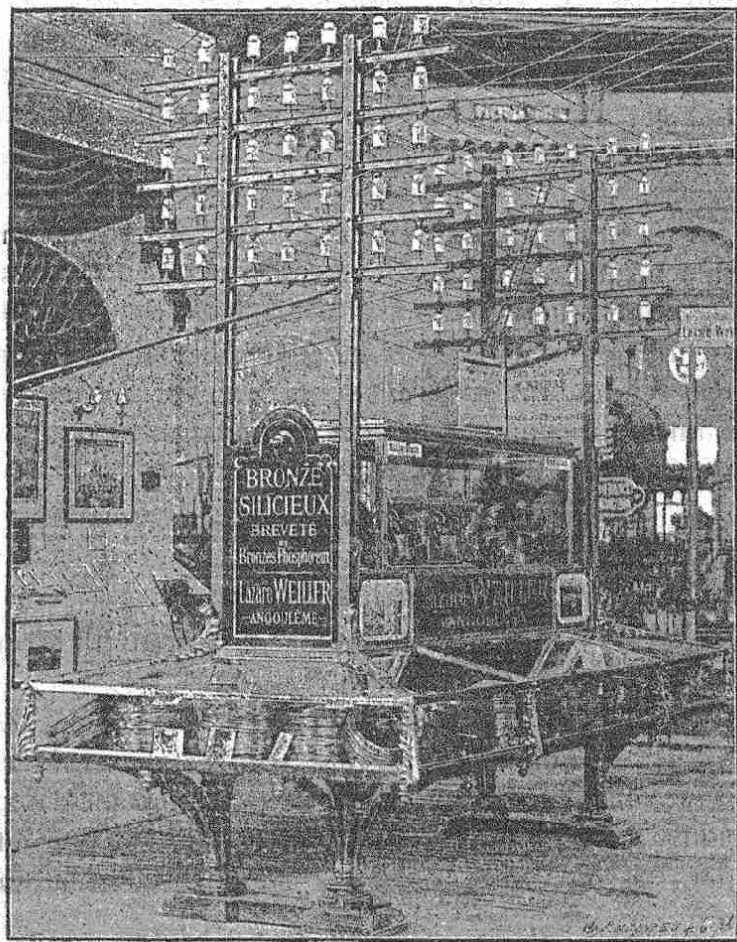


FIG. 44. — Vitrine de l'Exposition Lazare WEILLER à Vienne, avec supports O. ANDRÉ

L'autre, la partie terminale ou *éperon*, qui peut se placer de plusieurs façons et se modifier facilement pour chaque cas; l'une de ces branches restant constante, comme les hampes elles-mêmes, et l'autre pouvant subir toutes les transformations possibles.

(6) Permettre le réglage dans la ligne ou le plan vertical sans le contrehaubannage, souvent difficile, quelquefois impossible.

(7) Ne se servir des boulons que pour rapprocher les pièces; obtenir la jonction et l'équerrage par un double encochement des fers.

(8) Rendre toujours possible l'addition d'isolateurs nouveaux, ou l'écartement des anciens en cas d'induction, en profitant de la disposition jumelée des poteaux et des traverses horizontales (jumelles).



Poteaux.

LES poteaux se composent essentiellement de trois éléments :

(a) La *hampe*, qui est constante de forme et qui ne varie que par ses dimensions. Cette hampe est composée de deux fers spéciaux, entre-toisés à une distance convenable, qui permet le passage de la tige des supports d'isolateur (*fig. 45, A-E*).

(b) L'*éperon* ou équerre, supportant le poteau (*fig. 45, B*).

(c) Les isolateurs, dont le nombre varie de 1 à 12.

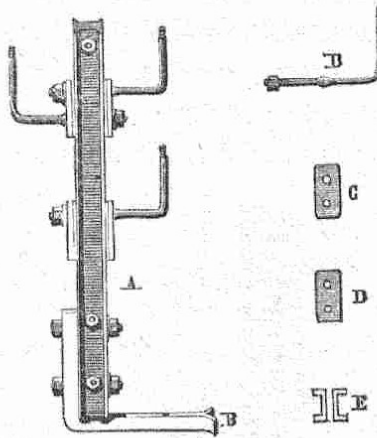


FIG. 45. — Poteau, Hampe et Éperon.



Herses.

QUAND, pour une raison quelconque, un certain nombre de fils convergent vers le même point, pour desservir, par exemple, un quartier de réseau, on remplace la série de poteaux nécessaires par un seul appareil appelé *herse* (fig. 46).

La *herse* se compose essentiellement d'un nombre variable de traverses horizontales (*ju-*

nelles, G), portant les isolateurs, et reliés dans un même plan vertical par des montants jumelés qui les supportent. Une herse porte de 14 à 40 fils.

Des encoches sont ménagées dans les montants, au-dessous des jumelles, et permettent l'addition de nouvelles traverses, alors que le nombre des isolateurs sera reconnu insuffisant. Pour faire

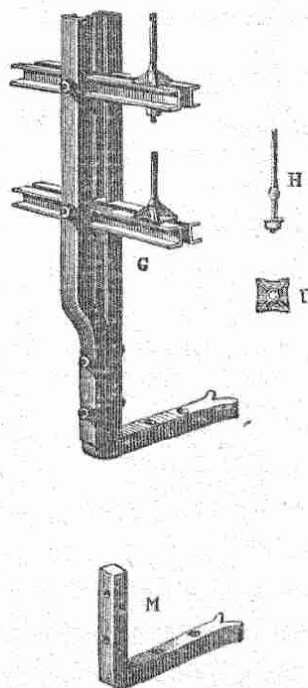


FIG. 46. — Herse.

cette addition, on introduit successivement entre les pièces du montant les jumelles à la hauteur des encoches ménagées à cet effet. Il suffit de

desserrer les boulons et de profiter de l'élasticité des deux pièces du montant.



Pièces communes aux poteaux et aux herses.

1° ÉPERONS.

CES pièces terminales appelées *éperons* portent à la fois, à leur extrémité, et une queue de carpe et des trous pour vis; ce qui permet de les sceller dans la maçonnerie, ou

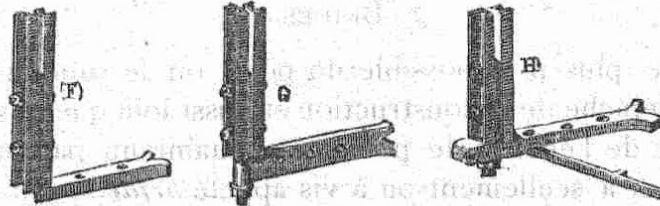


FIG. 47, 48, 49. — Éperons.

de les fixer par des tire-fonds sur des pans de bois. (*fig.* 47, 48, 49.)

Ces éperons sont en fer méplat pour les poteaux, et en fer carré pour les pieds de herses; mais ils peuvent toujours se placer à volonté dans l'un ou l'autre des plans rectangulaires principaux passant par l'axe du montant.

Un autre genre d'éperon qui répond à tous les cas qui peuvent se présenter est l'*éperon-pivot*.

Cet éperon se compose d'un fer plat sur champ, roulé à son extrémité comme une penture de porte, qui permet le passage d'un boulon. Ce même éperon peut encore se mettre sur plat, mais alors il est soutenu par une jambe de force scellée dans la maçonnerie; cette disposition permet d'échapper aux grandes saillies d'architecture.

Si une difficulté de pose se présente, le monteur enlève deux boulons, emporte l'éperon, le tord, l'allonge par un encollage chez le premier serrurier venu et le remet en place sans la moindre difficulté.

2° BRIDES.

Le plus près possible du point où le montant se détache de la construction et aussi loin que possible de l'éperon, le poteau est maintenu par un collier à scellement ou à vis appelé *bride*.



Supports d'isolateur.

LES supports d'isolateur se composent d'une tige droite ou coudée, taraudée pour recevoir la porcelaine à l'une de ses extrémités et à l'autre un écrou (*fig. 45-B, 46-H*). Vers

le milieu de sa longueur, la tige est renflée de façon à venir porter sur une contre-plaque percée d'un trou, ordinairement conique, avec ergot. De cette façon l'attache est plus sûre, et il est toujours possible d'interposer entre les flancs de la jumelle et de la contre-plaque un corps mauvais conducteur du son, tel que plomb, liège, caoutchouc, etc.

Avec le fil de bronze silicieux, cette simple précaution suffit pour assourdir les vibrations sonores ; avec le fil d'acier, il faut souvent recourir à l'assourdissement successif, au pied des montants ou à la porcelaine.

Il est bien entendu que ces supports d'isolateurs servent non seulement pour des poteaux ou pour des herses, mais encore pour les tourelles, dont nous parlerons plus loin.



Haubans rigides.

QUAND une herse ou un poteau a une grande hauteur, ou quand la direction des fils qu'il supporte est oblique, pour qu'il puisse résister aux actions auxquelles il est soumis, il est nécessaire de le haubanner ; et comme souvent l'attache d'un hauban à la traction est impossible, il faut recourir au *hauban rigide*, agissant à la traction ou à la compression.

Le *hauban rigide* (fig. 50) se compose ordinairement d'un tube en fer soudé, à parois fortes, ter-

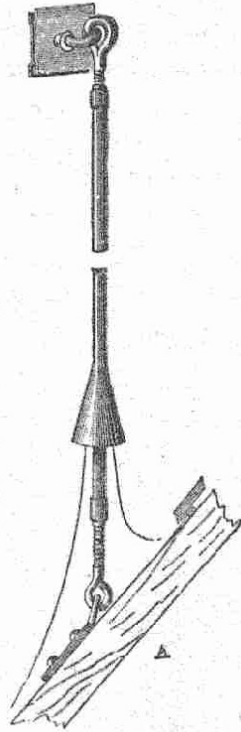


FIG. 50. — Hauban rigide.

miné à chaque extrémité par un manchon intérieurement taraudé, l'un à droite, l'autre à gauche. Dans chacun de ces manchons pénètre la tige d'un piton, taraudée du même pas; ce piton est engagé dans un œil qui, à l'extrémité basse, est soudé à une plaque à queue de carpe percée de trous et pouvant se sceller ou se visser d'une

façon parfaitement solide; en haut, l'œil est terminé par un simple boulon, qui permet de relier le hauban au poteau.

Le hauban, mis en place, est réglé au moyen d'une clé qui permet d'arriver à la plus grande correction de pose.



Tourelle de concentration.

DANS l'installation d'un réseau il y a toujours un point de convergence des fils : c'est le bureau central.

Pour recevoir tous ces fils, il faut une disposi-

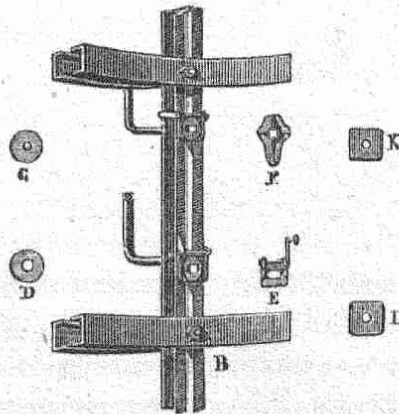


FIG. 51. — Tourelle de concentration (Montants et Jumelles).

tion spéciale : c'est la *tourelle de concentration*,

qui doit être disposée de façon à suffire, autant que possible, à tous les besoins futurs de ce poste (*fig. 51*).

La tourelle se place généralement sur le comble du poste central, dont on aménage la charpente à cet effet.

La traction des fils sur la tourelle pouvant être très irrégulière, il faut que cette construction soit d'une solidité à toute épreuve.

Elle se compose d'une série de montants constitués comme les jumelles de herse, moisés de distance en distance entre les jantes à joints croisés de cercles en fer \square .

Les arêtes de ces fers sont contre-encochées, et le boulon d'assemblage passe dans la fente des montants jumelés.

L'ensemble de la construction devient ainsi d'une rigidité absolue.

La toiture, couverte de zinc, est terminée par un paratonnerre.

Les isolateurs employés sont identiques à ceux des poteaux. Les fils, revêtus de l'enveloppe isolante pour se rendre de l'isolateur au bureau central, sont logés dans le creux des fers \square des montants, où ils sont maintenus par des tourniquets (*fig. 51-E*) placés sur chaque contre-plaque d'isolateur et alternés de sens, de telle sorte que chaque fil est maintenu dans tous les 50 ou 60 centimètres.

La *figure 52* donne l'idée d'un réseau télépho-

nique installé d'après le système que nous venons d'indiquer.

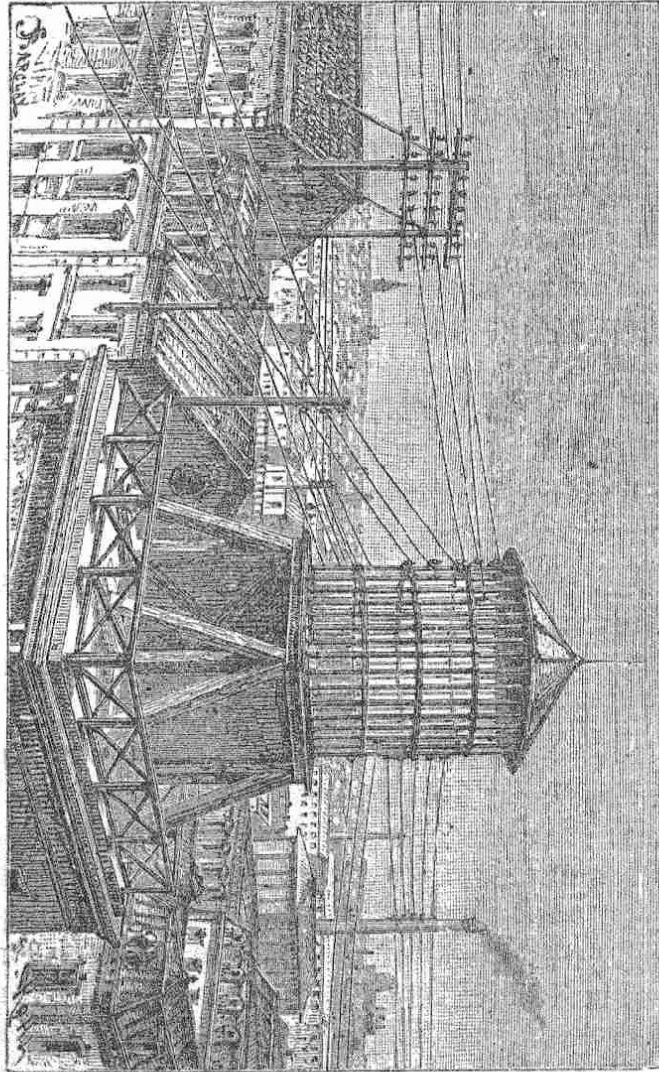


FIG. 52. — Vue d'ensemble,

Matériel employé pour la pose des lignes aériennes.

INDÉPENDAMMENT du matériel courant, échelles, cordages, etc., et de l'outillage spécial des différents corps d'état intervenant dans ce travail, on a étudié successivement des engins ou dispositions spéciales qui rendent la pose plus facile, moins coûteuse et moins dangereuse.

1° Afin de bien placer et dégauchir entre eux les montants d'une herse, un cadre léger, parfaitement équerre et garni d'un fil à plomb, est fixé sur le premier montant ; on attache de l'autre côté vertical du cadre le second montant à poser, on scelle après avoir vérifié si l'aplomb est parfaitement correct ; il ne reste plus qu'à enlever les quatre boulons du cadre et à mettre la jumelle en place, ce qui ne présente aucune difficulté, les distances d'encoche étant absolument constantes.

2° *Echafaudage mobile* pour poser les isolateurs et les sourdines, s'il y a lieu.

Il se compose de deux consoles à crochets très légères qui viennent se prendre sur la première jumelle ; une barre d'écartement en bois réunit les pieds des consoles, la planche à barrettes en retient les semelles et une corde reliant les deux crochets maintient les crochets de garde-corps.

3° *Dévidoir*. La légèreté et par conséquent la ténuité du fil de bronze silicieux pourrait présenter quelque difficulté, soit à raison du peu de soin des

ouvriers ou de la complication de la manœuvre elle-même.

Il a fallu trouver une combinaison qui permit de dévider en toute sécurité le fil sans qu'il y ait de chances de l'embrouiller, et en même temps de calculer la sortie du fil, de façon que l'ouvrier sente toujours une certaine résistance et que jamais, en faisant ressort ou par la vitesse acquise dans son mouvement de rotation, la botte de fil ne pût se dérouler trop vite.

Une boîte en cuir embouti, garnie de bandes d'acier, s'ouvre à la façon des bonbonnières en

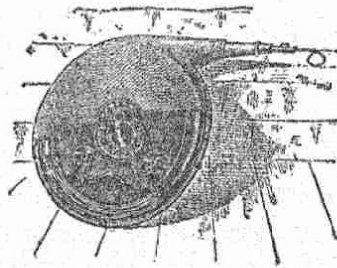


FIG. 54.



FIG. 55.

deux parties; l'une d'elles porte au centre un axe de rotation creux, et à la périphérie une sorte de trompe flexible dont l'entrée est adoucie et dont la sortie est garnie d'une douille à serrage comme un porte-crayon. Sur l'axe se place un moulinet que l'on garnit préalablement de la botte de fil; le bout intérieur de la botte est attaché au moulinet, le bout extérieur est passé à travers la

trompe et le porte-crayon ouvert. On met alors le moulinet en place, on ferme la boîte et la bobine est placée sur une broche quelconque.

L'ouvrier tire sur le brin extérieur; la trompe dirige sans flexion trop courte le fil dans le sens de la traction. La boîte ne tourne pas pendant le mouvement, le moulinet seul tourne sur l'axe creux.

Deux ressorts placés dans la boîte et agissant sur les deux bords extérieurs du moulinet empêchent le fil de sauter entre le flanc du moulinet et les parois intérieures de la boîte.



Application au réseau de Reims.

LES supports André ayant été adoptés à Reims, l'Administration fit d'abord une installation mixte comportant, sur une partie du réseau, des fils de bronze silicieux de onze dixièmes de millimètre de diamètre; sur l'autre, des fils d'acier de 2 millimètres.

Or, après plusieurs mois, sur le réseau de bronze tout était resté en parfait état: pas un montant, pas une jumelle, pas un support d'isolateur n'avaient fléchi.

Sur le réseau d'acier, au contraire, de nombreuses déformations s'étaient manifestées:

Supports d'isolateur coudés ouverts au coude

et tordus, extrémité en porte-à-faux des jumelles infléchie, poteaux ayant cédé, montants de herse tordus.

La tourelle centrale s'était déformée violemment.

La cause de ces accidents n'était pas douteuse : elle tenait au poids de la ligne d'acier, pour laquelle les supports étaient d'un type insuffisant. Il aurait fallu les remplacer par des supports de plus grande dimension correspondant à une augmentation des deux cinquièmes de la dépense initiale, ce qui représente une économie équivalente due à l'emploi des fils de bronze.

En outre, cette expérience comparative a permis de faire une constatation intéressante.

Avec les lignes ordinaires, la question des sourdines a une grande importance. Avec les lignes en bronze silicieux, elle est simplifiée. Car, sauf les cas exceptionnels où les supports sont posés contre un coffre de cheminée, un pan de bois, etc., la sonorité est presque nulle, tandis qu'avec les fils d'acier, le sourdinage est indispensable presque partout.

Ceci est loin d'être négligeable sous le rapport de la dépense.



Poteaux en fer pour lignes télégraphiques.

LES considérations générales qui ont guidé M. O. André dans la construction de ses poteaux pour réseaux téléphoniques l'ont également conduit à imaginer un système de poteaux en fer spécialement adaptables aux lignes télégraphiques en bronze silicieux.

Celles-ci présentent, comme on le sait, des particularités dont il faut tenir compte dans l'étude d'un type nouveau de supports.

La traction sur le haut du poteau étant faible et la résistance au vent insignifiante, on peut employer des poteaux d'équarrissage moindre et leur donner, en même temps, tout en les espaçant davantage, une hauteur plus grande pour faciliter les grandes portées.

Il s'est donc agi d'établir le plus économiquement possible un support de faible poids et de grande hauteur.

Le prix d'installation d'un support se compose de trois éléments :

- Sa valeur intrinsèque ;
- Son transport à pied d'œuvre ;
- Sa pose.

Il faut encore tenir compte de la facilité plus ou moins grande avec laquelle un poteau se prêtera à l'addition de nouveaux fils, et de la facilité avec laquelle on pourra relever les poteaux renversés par le vent ou remplacer ceux qui auront été détériorés.

Dans le choix du poteau à adopter, il faut tenir compte de tous ces éléments pour apprécier exactement la valeur comparative du type nouveau avec les anciens.

Au point de vue de la valeur d'achat, il est incontestable que les poteaux de pin injecté, ordinairement employés, sont beaucoup plus économiques. Quand il est facile de se les procurer et que des chemins de fer ou des canaux en permettent le transport d'une façon économique, il n'y a pas à hésiter.

Malgré cela, on constate qu'un poteau mis en place coûte près de trois fois son prix d'achat lorsqu'on se trouve dans les meilleures conditions possibles.

Si, au contraire, il s'agit de franchir des contrées dépourvues de voies de communication et si le transport du poteau se complique encore de frais d'embarquement et de débarquement, les frais accessoires augmentent dans de notables proportions.

En outre, dans certains sols, le déchaussement d'un poteau unique est très rapide et le déversement certain à bref délai, si l'on n'a pas la précaution de le caler en pilonnant le sol.

Enfin, dans les terrains où l'humus est abondant, les réactions ammoniacales sur le sulfate de cuivre dont le pin est injecté en annulent assez rapidement l'action préservatrice : le poteau se détruit

et se coupe à son point d'émergence.

Les poteaux métalliques offrent des avantages sérieux dans des cas déterminés, qui deviennent de plus en plus fréquents, surtout dans les pays peu peuplés, où la ligne télégraphique est souvent le premier moyen de communication employé.

Celui que M. O. André a imaginé est caractérisé par les particularités suivantes :

Il se compose de trois brins pareils et superposables, de façon à occuper un volume très faible. Ces trois brins sont réunis entre eux par trois triangles équilatéraux, coudés à leur extrémité de façon que chacun des sommets soit fretté sur le montant sans aucun affaiblissement au point d'insertion; une forte frette réunit le sommet de la pyramide, et un collier triangulaire, dont un des côtés est amovible, porte les deux isolateurs; on peut ajouter successivement le nombre de colliers nécessaires à l'établissement des lignes nouvelles.

L'ensemble des trois brins, grâce à leur courbure et à la dimension des triangles de jonction, constitue une pyramide triangulaire creuse, dont chaque arête se rapproche d'une courbure parabolique. Les trois brins s'écartant brusquement un peu au-dessus du niveau du sol, donnent au système une base très large. Par l'adjonction de palettes ou de triangles d'écartement, on peut donner à l'ensemble une surface telle que par la seule charge du sable ou de la terre reposant sur les brins, le poteau puisse résister dans les sols les

plus mouvants, ce qui permet d'éviter tout scellement.

Si le sol est dur, on peut forer trois trous obliques divergents dans lesquels on engage les extrémités des brins isolément; on opère ensuite le frettage et on fait un scellement ou un blocage autour de chaque brin. Les triangles eux-mêmes fournissent au poseur un point d'appui pour achever le montage et pour placer les isolateurs et le fil.

Quand ces poteaux sont destinés à passer par des défilés difficilement accessibles, à être transportés à dos de chameau ou de mulet, chacun des brins peut être facilement scindé de façon à ce que la longueur *maxima* ne soit pas dépassée. Toutes les pièces étant permutables, le montage est très facile et ne nécessite pas le concours d'ouvriers spéciaux.

La résistance, la légèreté, la sécurité et la facilité de pose de ces supports sont telles que la différence du prix d'achat est très largement compensée par tous ces avantages.



VII

COMPARAISON DES FILS SILICIEUX AVEC LES FILS
DITS « COMPOUND »

LES considérations qui précèdent établissent d'une façon incontestable la supériorité des fils de bronze silicieux sur les fils de fer et d'acier.

Il n'est pas sans intérêt de dire aussi quelques mots sur un genre de fils dont on a fait récemment grand bruit en Amérique, bien que leur invention remonte déjà à plusieurs années.

Nous voulons parler des fils dits *Compound*, qui consistent en un fil de fer ou d'acier recouvert d'un dépôt galvanique de cuivre.

Ces fils ont été, comme on l'a vu, assez sévèrement jugés par M. Preece.

Les fils *Compound* présentent en eux-mêmes certains inconvénients graves : l'inégale dilatation du fer et du cuivre, leur inégale résistance mécanique peuvent produire des déchirements de la pellicule, surtout aux points où le fil est coudé. Il n'est même pas bien certain qu'aux points où la surface est corrodée le contact du fer et du cuivre ne produise, à l'humidité, de petits courants locaux pouvant gêner la transmission.

D'ailleurs, voyons comment se comporte le fil au point de vue purement électrique.

Nous avons eu sous les yeux des renseignements relatifs à un fil *Compound* américain, dont

l'âme était formée d'un fil d'acier n° 11 B W G, recouvert de 120 livres de cuivre précipité par mille de longueur.

Le prix de revient de ce fil est, paraît-il, de 75 dollars le mille, et sa résistance électrique est de 5^{ohms}48 par mille, comme il est calculé ci-après.

Examinons les sections, le poids et les résistances de chacune des portées du fil.

Le diamètre de l'âme, correspondant au n° 11 de la jauge de Birmingham, est de 3^{mm}05.

Le dépôt de cuivre, à raison de 120 livres par mille, correspond à une couronne de cuivre de 0^{mm}32 d'épaisseur.

Le poids de l'âme est par mille de	91 kil. 700
Celui du cuivre, 120 livres.	54 360
Soit, au total.	146 kil. 060

La couronne de cuivre équivaut, en se basant sur le meilleur cuivre théorique, à 6^{ohms}43 par mille.

L'âme en acier a une résistance de 38^{ohms}61.

D'après la formule des courants dérivés, la résistance x de l'ensemble des deux métaux de résistance R, R' formant le fil Compound est donnée par la formule :

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R'}$$

d'où $x = 5^{\text{ohms}}48$ par mille.

Or, le fil de bronze silicieux ayant une résis-

tance de 5^{ohms} 40 par mille aurait seulement 2 millimètres 26 et pèserait 70^{kil.}79, tandis que le Compound Wire a un diamètre de 4 millimètres 34 et un poids de 146^{kil.}060.

Quant au prix de revient, il est de 75 dollars, soit 375 francs par mille; il est bien supérieur au prix de vente du bronze silicieux, qui, au prix très élevé de 5 francs le kilogr., ne coûterait que 303 fr. 45 le mille.


Encore faut-il remarquer que pour comparer raisonnablement ces prix, il faudrait tenir compte que le meilleur cuivre, celui du lac Supérieur, revient naturellement meilleur marché en Amérique qu'en France, où il nous arrive grevé de frais de transport, de transbordement, etc.

La question des fils Compound nous paraît donc absolument tranchée.



VIII

APPLICATION DES FILS DE BRONZE SILICIEUX
AU TRANSPORT DE LA FORCE
PAR L'ÉLECTRICITÉ

 COTÉ de la télégraphie et de la téléphonie, une industrie nouvelle s'est révélée dans les dernières années. C'est le *transport de la force par l'électricité*.

Il n'est, pour ainsi dire, pas d'établissement industriel où l'on n'ait à se poser ce problème : fractionner en divers points la force motrice produite au centre de l'usine, la répartir et la diviser entre les divers appareils qui doivent lui emprunter le mouvement.

Tant que la distance n'est pas très grande, les arbres de transmission suffisent ; les câbles téléodynamiques interviennent pour les portées plus considérables. En certains cas, l'eau ou l'air comprimés sont également employés.

Lorsqu'il s'agit de plus grandes distances, l'électricité vient se prêter, avec sa docilité habituelle, à la résolution du problème.

On sait que le transport de la force à distance par l'électricité est fondé sur la *reversibilité* des machines dynamo-électriques.

Posé en 1873 par M. H. Fontaine, à l'Exposition de Vienne, ce principe a donné à M. Marcel Deprez l'occasion de développer, dans des travaux de premier ordre, les ressources de son ingénio-

sité d'inventeur, servies par une connaissance profonde des règles de la mécanique rationnelle.

Les expériences mémorables de Munich, de la Gare du Nord, de Grenoble ont eu un retentissement considérable dans le monde scientifique.

En substance, l'expérience consiste à emprunter à une force motrice initiale quelconque la mise en mouvement d'une première machine dynamo-électrique, dite *génératrice*, et de lancer le courant produit, par l'intermédiaire d'un fil conducteur, dans une seconde machine dynamo-électrique dite *réceptrice*.

Celle-ci se met alors en mouvement et restitue une partie de l'énergie absorbée à l'origine.

Elle devient ainsi elle-même une nouvelle source de force motrice, qui peut être placée à une distance quelconque de la première.

Dans un tel problème, si la distance joue un rôle important, c'est par la résistance de la ligne conductrice qui réunit les deux machines génératrice et réceptrice.

« Il est bien vrai, dit M. Franck Géraldy (1), que
« la résistance est un élément dont on dispose.
« Ainsi que l'a écrit un peu naïvement un savant
« éminent : « La résistance du circuit extérieur
« peut être rendue très petite, même pour de
« grandes distances, en prenant du fil très gros. »
« Il n'y a rien de plus certain, cela est même par
« trop clair; mais l'auteur en question a immédiate-

(1) Lumière Électrique du 14 Juillet 1883.

« ment ajouté le correctif. « C'est, dit-il, une
« question de dépense, d'installation. » Eh oui,
« c'est cela, voilà justement la difficulté, c'est que
« pour réduire la résistance il faut payer. Si l'ar-
« gent, qui est notre meilleur conducteur, ne coû-
« tait que 10 centimes le kilogramme, il n'y aurait
« presque pas de questions de transport : on met-
« trait une belle barre d'argent de gros diamètre
« entre les deux stations, et, quelle que fût la dis-
« tance, les machines fonctionneraient presque
« comme au contact. Par malheur, au prix où
« sont les métaux, il faut compter et compter
« sévèrement les kilos; pour cela il faut savoir
« diminuer la quantité de métal, par conséquent
« user de fils minces, augmenter la résistance entre
« les machines et pouvoir cependant la franchir.
« C'est la question même du transport électrique
« de la force.

« *Cette résistance est donc le véritable élément à*
« *connaître.* Au point de vue électrique, c'est celle
« qui donne la valeur de la solution; au point de
« vue économique, en la combinant avec la dis-
« tance, il est possible de calculer, au moins ap-
« proximativement, le prix de l'installation, et par
« conséquent d'estimer son utilité pratique. »

Or, nous avons dit que les fils fabriqués par M. Lazare Weiller ont une conductibilité très voisine de celle de l'argent, tout en conservant une résistance mécanique qui permet de les employer en lignes aériennes.

Ils apportent donc au transport de la force un appoint de première importance, puisque grâce à eux on peut substituer à un métal qui coûte 200 fr. le kilo un métal à peu près aussi conducteur, qui coûte plus de cinquante fois moins et qui possède une ténacité supérieure à celle du fer.

Ces avantages ont frappé M. Marcel Deprez et ses collaborateurs, qui lors de l'expérience de Grenoble substituèrent au fil télégraphique employé jusqu'alors un fil de bronze silicieux de 2^{mm} de diamètre.

Et les résultats obtenus ont été à ce point satisfaisants, qu'on s'est encore adressé à M. Lazare Weiller à l'occasion de la nouvelle expérience qui est en ce moment en préparation et qui réalisera le transport de *cent* chevaux de force entre Creil et Paris.



Expériences de Creil.

CETTE expérience, qui fera époque dans l'histoire des applications industrielles de l'électricité, est préparée conformément au programme suivant :

Etant donné à la gare de Creil une force motrice initiale de 200 chevaux environ, recueillir à la gare de Paris 100 chevaux, en employant comme organes intermédiaires du transport :

1° Une machine dynamo-électrique génératrice,

fournissant un courant de 20 ampères sous une tension de 7,500 volts;

2° Une ligne de bronze silicieux comportant un fil d'aller et de retour et formant une longueur totale de 113 kilomètres;

3° Deux machines dynamo-électriques réceptrices.

La ligne de bronze silicieux est aérienne, posée sur des poteaux et isolée seulement sur une partie de son étendue, 75 kilomètres environ.

Elle est formée d'une corde tressée comportant 7 brins de bronze silicieux ayant chacun 1^{mm} 9 de diamètre et correspondant ensemble, après câblage, à un fil unique de 5^{mm} de diamètre.

Le poids total de cette ligne sera de 20 à 25,000 kilos, et sa résistance électrique atteindra moins de *cent* ohms.

Sa résistance à la rupture dépassera 860 kilos.

Ces indications sommaires montrent qu'il s'agit là d'une expérience d'importance capitale, et le choix du conducteur, fait par les membres d'une commission supérieure composée d'ingénieurs éminents, témoigne de la valeur qui est universellement reconnue aux fils de bronze silicieux.



IX

DESCRIPTION DE L'USINE

DE M. LAZARE WEILLER

CETTE description a été publiée d'abord dans l'*Engineering*, puis dans le journal français l'*Electricien*. Il n'est pas sans intérêt de la reproduire ici, pour montrer le soin que M. Lazare Weiller a apporté aux côtés accessoires de sa fabrication.



L'usine de la Fresnaye est située dans un des faubourgs d'Angoulême, à une distance de plusieurs kilomètres de l'habitation de son propriétaire. Une ligne téléphonique réunit les deux établissements; elle est naturellement formée d'un fil de bronze silicieux, et présente cette particularité intéressante que, sur plusieurs points de son trajet, elle offre plusieurs portées, de poteau à poteau, égales à 200, 250 et 300 mètres.

Nous ne nous étendrons pas longuement sur les procédés de fabrication et de tréfilage des bronzes phosphoreux et silicieux. Ces opérations comportent des tours de main et des procédés spéciaux que M. Weiller ne juge pas à propos de faire connaître.

C'est donc plutôt les côtés accessoires de son

industrie que son industrie elle-même que nous nous proposons de faire connaître, et en particulier les appareils électriques d'éclairage et de mesure, installés de la façon la plus complète. Nous donnerons à cet égard quelques renseignements propres à guider ceux des industriels qui voudraient s'inspirer de l'exemple qui leur est offert par cette usine modèle.



Organisation générale.

L'ÉTABLISSEMENT de M. Weiller se compose de deux corps de bâtiment principaux dont la *figure 55* donne le plan d'ensemble.

On y voit, à gauche du dessin, un édifice rectangulaire terminé par deux ailes en saillie, long de 90 mètres, large de 16 et divisé en cinq parties, qui sont : 1° la salle des machines E; 2° la salle des laminoirs D; 3° la tréfilerie, en deux ateliers B et C; 4° la forge; 5° les fours à recuire A.

Le second corps, disposé transversalement à la suite du premier, en est séparé par un intervalle de 10 mètres. Il a 12 mètres de largeur, 18 mètres de profondeur et contient la fonderie.

Ces deux bâtiments sont entièrement construits en pierres blanches du pays; ils sont percés de

larges baies qui laissent un libre passage à l'air et à la lumière.

Devant ces bâtiments s'étend une vaste cour autour de laquelle sont répartis les bâtiments accessoires. L'un d'eux contient le laboratoire de

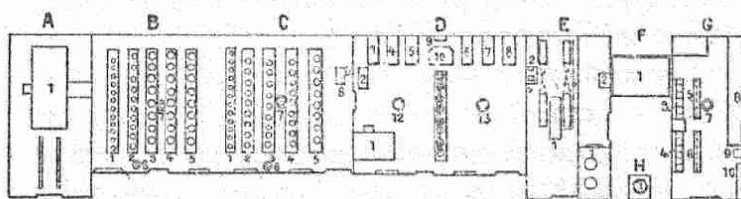


FIG. 55.

chimie, où se font les analyses des cuivres et des bronzes. Dans une annexe du laboratoire sont préparés les composés servant à la désoxydation du bronze (phosphures ou siliciures); sur le côté se trouvent la salle de dessin et les bureaux.

Enfin, en face de la fonderie et à trente mètres de distance environ, s'élève un chalet de bois que M. Weiller a fait venir tout construit de Norwège, et dans lequel sont installés les appareils qui servent à la mesure de la résistance électrique et de la résistance mécanique des fils, ainsi qu'un cabinet de travail.

Ajoutons aussi la mention d'un laboratoire de chimie organisé avec le même soin qui a présidé au reste de l'installation, et qui, en raison de l'importance des opérations chimiques dans l'usine de

M. Weiller, présente les ressources d'un laboratoire modèle.

La fonderie constitue à elle seule une usine indépendante, dans laquelle sont fabriqués les lingots et pièces mécaniques de bronze phosphoreux. Elle fournit, en outre, les 2,000 kilos d'alliage en barres qui passent quotidiennement aux laminoirs et à la tréfilerie pour la fabrication des fils.

Elle comprend douze fourneaux (portés aujourd'hui à quinze) en deux groupes de six (3, 4) séparés par une grande cheminée produisant le tirage. En avant est la fosse (5, 6) qui contient les lingotières, dans lesquelles se font les coulées. En 1 se trouve le séchoir des moules; 8 est la table des mouleurs et 10 un établi; 9 est la cisaille; 7 est l'emplacement d'un régulateur électrique faisant partie de l'éclairage d'ensemble, dont nous parlerons ci-après.

Les laminoirs et les bancs de tréfilerie occupent la partie centrale du grand bâtiment.

Dans la salle des laminoirs le plan général indique :

Le four à recuire (1); les bobines (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8); la transmission et les laminoirs (10 et 11); 12 et 13 sont des lampes électriques, 9 un cadran.

Les deux ateliers de tréfilerie comprennent les bobines (1, 2, 3, 4, 5), des poêles (6), des lampes électriques (7), une machine à faire les pointes (8).

Cette partie de l'usine comprend l'exécution

des travaux spéciaux pour la fabrication des fils téléphoniques et télégraphiques.

Les laminoirs et la tréfilerie sont encadrés dans deux ailes en saillie dont la première contient les fours à recuire, desservis par une petite voie ferrée ; la seconde contient le moteur, qui est une machine fixe de cent chevaux, système Compound, sortie des ateliers de MM. Weyher et Richemond, à Pantin. Les générateurs sont en I et la cheminée en H.

La transmission générale de l'usine est souterraine, et la petite galerie qui la renferme est recouverte de plaques de tôle striée qui préviennent toute chance d'accident.

Avant d'arriver à la grande cour de l'usine, on traverse un jardin faisant partie de l'établissement. Entre le jardin et la cour coule une rivière appelée l'Anguienne, sur laquelle sont établis les lavoirs de l'usine. C'est là que se fait le décapage des fils et ensuite leur lavage.

Ces opérations sont classées parmi les plus importantes ; aussi l'établissement du lavoir est-il formé par une série de bâtiments. Un peu en amont, on a établi sur la rivière une prise d'eau qui traverse, sous un canal recouvert, la grande cour de l'usine. L'eau, à son entrée dans l'usine, passe à travers un filtre et se jette ensuite dans un puits qui alimente la chaudière du moteur.

Avant de se rendre à la chaudière, l'eau du puits est élevée, par une pompe Greindl, dans un grand

bassin de tôle d'un volume de 50 mètres cubes. Ce bassin est placé à une hauteur de 10 mètres et supporté par 12 colonnes en fonte. C'est de ce réservoir que l'eau se rend à la chaudière; puis, en sortant du condenseur, elle retourne, au moyen d'une seconde canalisation, en aval du cours d'eau qui traverse l'usine.



Installations électriques.

LES installations électriques comportent un laboratoire de mesures et un éclairage électrique général.



Mesures électriques.

LA salle des mesures électriques a été montée sous la direction d'un électricien distingué, M. Leblond, professeur d'électricité à l'École des défenses sous-marines de Boyardville.

L'ensemble des appareils qu'elle renferme est représenté par la *figure 56*.

Au milieu de la pièce se trouve un socle en pierre de taille scellé dans le sol et soustrait aux trépidations, surmonté d'une pyramide de bois qui porte un galvanomètre Thomson à miroir. A ce galvanomètre aboutissent les fils des différents

appareils de mesure établis dans la salle. Ces appareils sont fixés sur deux tables placées sur toute la longueur du laboratoire, en avant et en arrière du

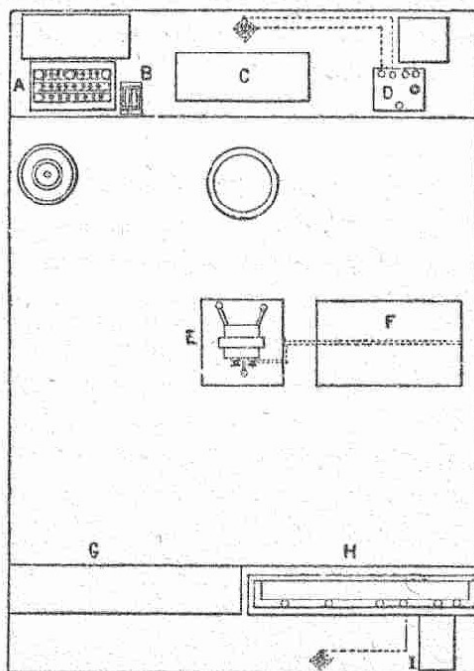


FIG. 56. — Plan du laboratoire. — A, pont de Wheatstone. — B, commutateur. — C, lampe et échelle. — E, galvanomètre. — G, machine d'essai pour la résistance à la rupture. — H, pont de Wheatstone. — I, boîte de résistance.

galvanomètre. Les fils sont isolés et renfermés dans des rainures pratiquées dans le parquet et sur les parois de la pyramide qui supporte le galvanomètre.

A chacun des appareils correspond un commutateur double qui permet de lancer le courant dans

les diverses directions. Au-dessus sont placés des cylindres à cannelures hélicoïdales, sur lesquels sont enroulés les fils soumis aux essais. La circonférence de ces cylindres étant connue, le nombre de tours du fil permet d'en calculer immédiatement la longueur. Ce fil est lui-même placé sur une bobine tronc-conique, d'où il se déroule pour s'enrouler sur les cylindres cannelés.

De cette façon on peut aisément faire des essais sur de très grandes longueurs de fil et les utiliser de nouveau dans l'écheveau auquel appartient le fil essayé. Pour cela il n'y a qu'à faire une opération contraire à la première et dérouler le cylindre pour l'enrouler sur la bobine tronc-conique comme il l'était auparavant.

En face du galvanomètre à miroir et à 0^m60 au-dessus de l'une des tables sur lesquelles sont placés les appareils, est fixée l'échelle graduée avec sa lampe; de cette manière l'opérateur peut lire les déviations du galvanomètre tout en restant placé en face de l'échelle graduée.

Les autres appareils sont des ponts de Wheatstone, boîtes de résistance, etc.

Les principales mesures faites dans ce laboratoire sont les mesures de la conductibilité des divers fils de cuivre, bronze silicieux ou phosphoreux, fers, acier, etc., etc.

Dans une salle voisine s'accomplissent aussi les mesures destinées à rechercher la résistance à la rupture des fils, leur degré d'allongement sur un

poids donné, le nombre de pliages qu'ils peuvent subir, etc., évaluations qui correspondent aux exigences des cahiers des charges des Administrations d'Etat et des Compagnies privées.



Eclairage électrique.

L'ÉCLAIRAGE électrique de l'usine de M. Weiller a été installé par les soins de MM. Sautter et Lemonnier, constructeurs électriques à Paris. En raison de l'activité qui règne dans l'usine, il fonctionne sans interruption depuis deux années, et tout le monde s'en déclare satisfait, tant au point de vue de la lumière produite que de l'économie réalisée sur l'éclairage au gaz.

Les machines électriques sont au nombre de deux : l'une, type F (machine Gramme à électro-plats), alimente cinq régulateurs Gramme; la deuxième est une petite machine Gramme qui met en action 15 lampes à incandescence Swan.

La force nécessaire pour la rotation des machines électriques est prise sur la transmission du moteur général, qui se trouve dans la même pièce, comme on le voit sur notre plan général. L'arbre principal tourne à 100 tours et porte deux poulies : l'une de 0^m96, qui correspond à la grande machine; l'autre de 0^m81, correspondant à la petite.

Elles sont actionnées, comme l'indique la *figure*

57, et tournent la première à la vitesse de 1,300 tours, avec une poulie de 20 centimètres, et la seconde à la vitesse de 2,000 tours, avec une poulie de 10 centimètres.

En nous reportant au rapport déjà bien souvent cité de MM. Allard, Joubert, Leblanc, Pothier et Tresca, nous trouvons que, à la vitesse de 496 tours, la machine F prend environ 8 chevaux et donne par régulateur des intensités de 112 carcel horizontalement, 184 carcel *maxima* et 102 carcel moyenne sphérique.

Ici la force absorbée est un peu inférieure (5 à 6 chevaux) et le résultat photométrique doit aussi être un peu plus petit. Les lampes Swan ont une intensité individuelle d'un bec carcel environ. La machine qui les alimente absorbe un cheval et demi. Les lampes Gramme exigent un courant de

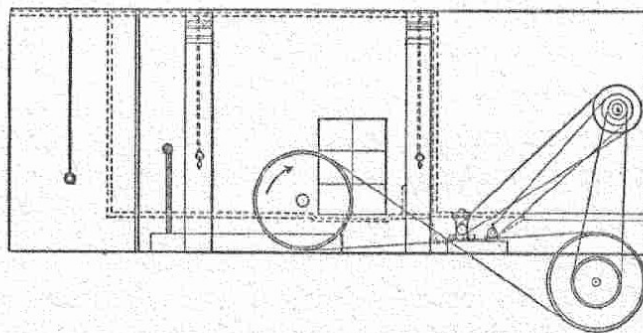


FIG. 57. — Disposition des transmissions pour la commande des machines dynamo-électriques.

16 ampères; les lampes Swan, un courant de 32 ampères.

Répartition des foyers.— Les 5 lampes Gramme

sont ainsi réparties : 1 dans la fonderie; 2 aux laminoirs; 3 aux tréfileries.

La salle des machines contient 4 lampes Swan, qui servent à son éclairage et qui fonctionnent aussi comme témoins permettant au mécanicien de juger de la marche des autres, qui sont réparties dans la salle des mesures et dans les bureaux. Comme, par suite de l'emploi du moteur général, il pourrait se produire, suivant les efforts variables exercés par les outils, des variations assez considérables de vitesse, surtout dans la petite machine électrique, le circuit qui alimente les lampes à incandescence porte un commutateur de résistance qu'on règle à la main, de façon à avoir une intensité lumineuse constante.

L'éclairage électrique produit un pouvoir éclairant total qu'on peut évaluer à 500 carcels pour les cinq régulateurs, 15 carcels pour les quinze Swan, soit 515.

Or, à Angoulême, le gaz coûte 0 fr. 37 le mètre cube. Si l'on compte qu'il donne 1 carcel pour un débit de 140 litres à l'heure, on aura pour la dépense horaire *minima* correspondant à ces 515 becs :

$$515 \times 0,140 \times 0 \text{ fr. } 37 = 2 \text{ fr. } 6677$$

Que coûte l'éclairage électrique?

Force motrice. — L'éclairage électrique prend environ 7 chevaux. Le moteur consomme moins

de 1 kilo par cheval et par heure (900 grammes environ). La consommation est donc, à raison de 30 fr. la tonne, de :

$$\frac{0,900 \times 7 \times 30}{1000} = 0 \text{ fr. } 19$$

La grande machine électrique est graissée trois fois par jour et consomme au total un litre d'huile de 1 fr. 10. La machine fonctionnant douze heures par jour, le graissage coûte 0 fr. 091 par heure. Avec le graissage de la petite machine, c'est environ 0 fr. 10.

Les crayons des régulateurs coûtent 1 fr. 60 le mètre. Les cinq lampes Gramme fonctionnent toute la nuit et on change les crayons toutes les sept heures. L'usure est de 0^m 17 pour le charbon négatif, 0^m 33 pour le positif, soit 0^m 50 pour sept heures. La dépense correspondante par heure est donc de $\frac{0.50 \times 1.60 \times 5}{7} = 0 \text{ fr. } .57$ pour les cinq lampes.

Les petites lampes Swan coûtent 10 francs (1). Si on les compte à une durée de 1,000 heures (durée annoncée), la dépense horaire par lampe serait de 1 centime, soit 0 fr. 15 pour les quinze.

Enfin, il faut compter, pour la surveillance, un ouvrier employé à un autre service, dont le salaire

(1) Elles sont remplacées aujourd'hui par des lampes Edison équivalentes, qui ne coûtent que 7 fr. 50, de telle sorte que le prix de revient indiqué ci-dessus est un maximum.

par heure affecté à l'éclairage peut être évalué à
0 fr. 20.

Donc, en résumé :

	fr.	c.
Force motrice.	0	19
Graissage.	0	10
Crayons.	0	57
Lampes Swan.	0	15
Surveillance.	0	20
<hr/>		
ENSEMBLE.	1	21

Contre 2 fr. 67 d'éclairage au gaz.

On voit que la marge d'économie est largement
suffisante pour tenir compte de l'imprévu et de
l'amortissement des frais de premier établissement.

Ces derniers frais se calculent comme suit :

1. — *Eclairage par régulateurs.*

	francs.
Machine Gramme F.	2.200
5 lampes à 300 francs.	1.500
5 suspensions avec abat-jour et contre-poids	150
5 interrupteurs.	250
90 mètres de câble à 2 francs.	180
Une boîte d'accessoires comprenant :	
Balais de rechange, lunettes, bornes, serre- fils, etc.	100
Un compte-secondes.	80
Un compte-tours.	45
Un ampère-mètre.	160
<hr/>	
	4.665

2. — *Eclairage à incandescence.*

	francs.
Une machine dynamo-électrique.	500
Chaque lampe avec supports nickelés et abat-jour opales à 58 francs, soit pour 15 lampes.	570
600 mètres de câble à 80 centimes	480
	<hr/>
	1.550

Le prix d'achat total est donc de 6,215 francs, auxquels il faut ajouter un millier de francs pour les frais d'installation, de transmission, etc.

L'éclairage électrique a donc coûté 7,215 francs. Or, l'économie faite sur l'éclairage au gaz est de 1,46 par heure.

En comptant 300 jours de travail par an et une moyenne de 8 heures par jour, soit 2,400 heures par an, on voit qu'il suffirait de trois ans au maximum pour l'amortissement du prix d'installation du gaz.

Ces calculs justifient largement le choix des appareils électriques que M. Weiller a fait pour l'éclairage de son usine.

Il y trouve économie, salubrité et facilité de travail.



X

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

DE tout ce qui précède, il résulte que M. Lazare Weiller a créé de toutes pièces à Angoulême une industrie absolument nouvelle, qui, fondée il y a deux ans à peine, a déjà donné des résultats techniques et industriels tout à fait remarquables.

Elle apporte au transport de l'électricité, quel qu'en soit le but, des facilités nouvelles, et l'on ne peut nier que ce soit là un immense service rendu, au moment où le rôle de l'électricité se développe au point qu'on pourra bientôt utiliser son concours dans tous les genres d'industrie.

Le fil qui livre passage à ce fluide mystérieux est de tout point assimilable aux rails des voies ferrées.

De même que ceux-ci permettent de transporter des milliers de voyageurs et de tonnes de marchandises avec une vitesse considérable, les fils combinés aux appareils transmetteurs les plus perfectionnés permettent de transmettre jusqu'à neuf mille mots par heure !

Et malgré ces satisfactions données au besoin de communication, ce besoin grandit tous les jours davantage (1).

(1) La longueur totale des lignes télégraphiques françaises, qui était de 55,000 kilomètres en 1877, s'est élevée à 73,000 kilomètres au 31 Décembre 1883, soit une augmentation annuelle de 5 %.

L'accroissement de longueur des fils a été plus considérable encore pendant

Il est tel aujourd'hui, que les lignes télégraphiques deviennent tout à fait insuffisantes. Les poteaux, surchargés par un nombre considérable de fils, ne peuvent en recevoir davantage. Les fils de fer et d'acier, employés sous des diamètres de plus en plus forts, opposent aux transmissions une résistance impossible à diminuer sans une augmentation de poids qui rendrait impossibles les lignes de très grande longueur.

Le fil de bronze silicieux intervient donc à propos comme un auxiliaire des plus précieux, et nous estimons que son invention peut être classée à bon droit parmi les plus remarquables et les plus utiles dans les applications industrielles de l'électricité.



Un fait économique qui se manifeste depuis plusieurs années avec une régularité constante viendra certainement influencer sur le développement des réseaux de bronze.

Nous voulons parler de l'abaissement du prix du cuivre.

Pour quiconque a suivi avec quelque attention

le cours des six dernières années. Elle a été portée de 145,000 kilomètres à 224,000 kilomètres, soit une augmentation moyenne de 79,000 kilomètres par an ou 9 % par an pendant cette période, tandis que de 1871 à 1877 l'augmentation moyenne annuelle ne dépassait pas 3,656 kilomètres ou 3.06 pour cent.

Cette énumération ne comprend pas les conducteurs souterrains.
(Rapport présenté à M. le Président de la République par M. Ad Cochery, Ministre des Postes et des Télégraphes, p. 88.)

le marché des métaux dans ces derniers temps, il est évident que, soit excès de production, soit découverte de mines nouvelles, le cours des métaux a subi une marche continuellement décroissante.

Ce fait est général; et si l'on se contente de remonter seulement aux trois dernières années on pourra établir la statistique suivante :

Etain Banca.

300 fr.	les cent kilos	au commencement de	1882
255 fr.	—	—	de 1883
230 fr.	—	—	de 1884
200 fr.	—	à la fin de novembre	1884

Soit 33.33 % de diminution.

Plomb.

37 fr.	les cent kilos	au commencement de	1882
34 fr.	—	—	de 1883
30 fr.	—	—	de 1884
26 fr. 50	—	à la fin de novembre	1884

Soit 28 % de diminution.

Zinc.

47 fr.	les cent kilos	au commencement de	1882
43 fr.	—	—	de 1883
40 fr.	—	—	de 1884
39 fr.	—	à la fin de novembre	1884

Soit 17 % de diminution.

Cuivre.

Ce métal nous intéresse plus particulièrement. Si l'on remonte à l'année 1858, on voit que les

bonnes marques de Best Selected du Chili valaient alors 255 fr. environ.

Au commencement de 1882, nous trouvons ce cours abaissé à 190 fr.

Au commencement de 1883, il est à . 180

— de 1884 — 160

A la fin de novembre 1884 — 140

Soit 26 % de diminution en trois ans.

Une baisse d'importance beaucoup plus grande a affecté les cours des cuivres de qualité supérieure : Électrolytiques, Lac Supérieur, etc.



Cette diminution dans le prix de la matière première a naturellement influé considérablement sur le prix des fils fabriqués et leur a permis de soutenir la lutte, à conductibilité égale, contre les fils de fer et d'acier, dont la dépréciation a été moins sensible, en donnant gratuitement au consommateur tous les avantages accessoires que nous avons énumérés déjà plusieurs fois.



XI

APPAREILS DE TRANSMISSIONS TÉLÉGRAPHIQUES

NOUS avons plusieurs fois, au cours de ce travail, dit quelques mots des appareils télégraphiques à transmissions multiples. Nous reproduisons ci-après une notice relative au plus intéressant d'entre eux.



Division des réseaux télégraphiques en trois catégories de lignes.

DANS l'exploitation des réseaux télégraphiques on distingue en général trois catégories de lignes :

1° Les lignes principales ou grandes artères, qui relient entre eux les centres importants, les villes de premier ordre. Elles sont en petit nombre et doivent assurer l'écoulement du *quart* environ du nombre total des dépêches ;

2° Les lignes qui relient ces centres principaux aux villes de second ordre et ces villes de second ordre entre elles. Leur nombre est considérable, et elles transmettent la *moitié* environ du nombre total des dépêches ;

3° Les fils qui relient les petits bureaux. Ils sont en très grand nombre, et ils effectuent la transmission du *quart* du nombre total des dépêches.

Lignes de petit, moyen et grand trafic.

SI on veut classer ces catégories par ordre de trafic, on peut dire que la première catégorie est constituée par les lignes de grand trafic, la seconde par les lignes de moyen trafic, la troisième par les lignes de petit trafic.

Chacune de ces catégories de lignes est pourvue d'un outillage spécial d'appareils de transmission.

Si on prend l'exemple de l'exploitation du réseau français, les lignes de petit trafic sont desservies par l'appareil Morse. Cet appareil suffit largement, son rendement étant de 500 à 600 mots par heure.

Pour les lignes de moyen trafic, on emploie assez généralement l'appareil Hughes; mais dans un certain nombre de cas son rendement, qui est d'environ 1,400 à 1,500 mots à l'heure, est insuffisant, et on est obligé d'augmenter le nombre des fils.

Enfin, pour les lignes de première catégorie, les lignes de grand trafic, on a recours aux appareils dits rapides ou perfectionnés, et on fait concurremment usage du Hughes, du Morse automatique Wheatstone, du Morse multiple Meyer et enfin de *l'imprimeur multiple Baudot*.



Inconvénients résultant de la diversité des appareils.

ON voit donc qu'il y a une grande diversité d'appareils, ce qui présente de graves inconvénients pour l'exploitation.

On comprend, en effet, que cette variété de matériel s'oppose à l'uniformité des installations. Elle est une cause d'encombrement dans les bureaux télégraphiques; les tables sont forcément disposées de telle sorte qu'il y a de la place perdue; il y a enfin des pertes de temps motivées par le passage d'un appareil à l'autre.

D'autre part, le recrutement et l'apprentissage professionnel du personnel manipulant sont plus difficiles et plus longs; d'où résulte une augmentation de dépenses.



But poursuivi par M. Baudot.

LE but poursuivi par M. Baudot dans ses recherches, qui datent de dix ans, était de trouver *un appareil imprimeur rapide, d'un rendement supérieur aux autres et pouvant s'approprier aux exigences les plus diverses d'une exploitation.*

Ce but est aujourd'hui complètement atteint.



Transformation du premier type Baudot.

TOUT le monde connaît l'appareil Baudot qui a figuré à l'Exposition universelle de 1878 et qui a valu à l'inventeur un grand prix et la croix de la Légion d'honneur. C'était *un appareil imprimeur à transmission multiple*. Il était très compliqué. De 1878 à 1881, l'inventeur n'a cessé de perfectionner son système, et à l'Exposition internationale d'électricité de 1881, le premier type avait subi de telles modifications et même une telle transformation, que les électriciens n'ont pas reconnu l'appareil primé de 1878.

Le modèle de 1881, qui à son tour a remporté un diplôme d'honneur, présentait encore une certaine complication. Cette complication était toutefois plus apparente que réelle. Au surplus, le mécanisme ne pouvait pas être tout à fait simple, puisque l'appareil avait une fonction très complexe à remplir; il était *sextuple*, c'est-à-dire qu'il servait à 6 transmissions par le même fil.



Résultats de l'expérience poursuivie pendant quatre ans en France.

LA pratique a démontré l'excellence du système. Pendant quatre ans, l'Administration française l'a appliqué entre *Paris et Bordeaux* et *Paris et Lyon*; le succès de cette

longue expérience a été tel qu'on l'a mis en service sur les lignes de *Paris-Lille*, *Paris-Le Havre*, *Lyon-Marseille*, *Marseille-Bordeaux* et enfin *Paris-Marseille*, avec relais à *Lyon*.

Le type employé est le *multiple quadruple*, sauf sur *Paris-Marseille*, où il est *sextuple*.

Chaque fil peut donner avec le quadruple *six mille* mots à l'heure; avec le sextuple, jusqu'à *neuf mille* !

Mais il ne s'agit encore ici que de l'appareil multiple desservant les lignes de grand trafic, et, comme nous l'avons dit, M. Baudot voulait généraliser l'application de son système; il cherchait un appareil qui pût satisfaire à toutes les exigences et à tous les besoins des trafics les plus différents.

Il a réussi.



Baudot simple, duplex et multiple.

LE dernier type créé réalise le programme de la manière la plus complète et la plus ingénieuse.

S'agit-il de desservir une ligne ordinaire du moyen trafic? L'installation se compose d'un manipulateur et d'un récepteur. L'employé transmet *seul* et fournit un rendement d'environ « 1,500 mots » à l'heure, imprimés au départ et à

l'arrivée en caractères typographiques d'une netteté parfaite.

Le trafic de la ligne augmente-t-il? Une simple manœuvre de commutateur, et l'appareil est installé en *duplex*, prêt à fournir un rendement de « 3,000 mots » à l'heure.

Enfin, ce dernier rendement devient-il lui-même insuffisant? On n'a qu'à atteler, qu'à grouper 2, 3, 4 et même 5 ou 6 récepteurs autour d'un distributeur général, unique, pour constituer un système multiple permettant de fournir un rendement croissant et pouvant atteindre *neuf mille* mots à l'heure.



Baudot à transmission automatique.

MBAUDOT s'est préoccupé enfin de donner satisfaction à un besoin tout particulier, à savoir : les exigences spéciales des dépêches de presse, dont le nombre augmente sans cesse, et qui dans certains pays apportent un contingent considérable au trafic général.

Il a appliqué la transmission automatique à son système, et, sans qu'il soit rien changé au type du récepteur, l'appareil peut effectuer plusieurs expéditions d'une même dépêche, télégramme de presse, circulaire, etc.



Parallèle entre le Hughes et le Baudot.

COMPARONS maintenant le Baudot et l'appareil Hughes. En ce qui concerne l'apprentissage du personnel, il faut deux mois à peine pour former un agent manipulant au Baudot; pour le Hughes il faut un an au minimum.

La manipulation du Baudot est beaucoup moins fatigante: elle est facile, elle laisse absolument libres les yeux de l'employé, tandis qu'au Hughes ses yeux vont constamment du clavier au pupitre et réciproquement.

En ce qui concerne l'entretien et les manœuvres dans le bureau, le Baudot est beaucoup moins encombrant, plus portatif. Il est incomparablement moins sujet aux dérangements que le Hughes. L'impression des caractères et l'avancement du papier s'effectuent sans ces chocs si désagréables et si nuisibles que l'on reproche avec raison à l'appareil Hughes. L'usure des différents organes est par suite moins grande.

Enfin au point de vue du fonctionnement de l'appareil, le Baudot a une supériorité indiscutable. Dans toutes les circonstances, et elles sont nombreuses, où la transmission est troublée par un mélange ou influencée par les fils voisins, la marche du Baudot reste régulière alors que celle du Hughes est interrompue. Les variations du courant, cause de difficultés incessantes dans la transmission au Hughes, n'exercent qu'une influence presque négligeable sur le Baudot. Cela tient

d'une part à la nature même de l'électro-aimant Hughes, et d'autre part à ce fait que le temps assigné à la fonction de l'électro-aimant récepteur du Baudot supporte certains écarts que le Hughes est incapable de supporter.

Le Baudot se comporte merveilleusement en duplex au moyen de toutes les méthodes connues; depuis plusieurs mois, il est en service dans ces conditions entre Paris et Bordeaux. On n'a constaté aucune interruption.

Le Hughes, au contraire, fonctionne difficilement en duplex, et encore ne peut-on essayer que sur les lignes relativement courtes. Cela s'explique, d'ailleurs, pour les motifs exposés au précédent paragraphe.



Parallèle entre le Wheatstone et le Baudot multiple.

SI l'on compare le Baudot multiple au Wheatstone, on constate les avantages suivants : d'abord la nature du signal. Le Baudot donne la dépêche en caractères typographiques, que le destinataire peut lire immédiatement; le Wheatstone fournit la dépêche en caractères conventionnels, en langage Morse, qu'il faut traduire. De là des retards et des erreurs de traduction et de transcription. A l'exception de certains cas particuliers, tels que la transmission des

dépêches de presse, des circulaires, la composition préalable dans le système Wheatstone à l'aide de bandes préparées à l'avance est une cause de retards considérables. On la subit quand on a des besoins spéciaux à satisfaire; mais dans le service ordinaire, c'est un inconvénient grave.



Supériorité du système multiple sur les systèmes duplex, quadruplex, au point de vue de l'utilisation du travail du fil.

IL y a un autre point à mettre en relief; le voici : Un fil desservi en duplex par le Wheatstone donne à peu près le même nombre de dépêches qu'un quadruple Baudot. Si donc le trafic était toujours égal dans les deux sens, un Wheatstone duplex vaudrait comme rendement un quadruple Baudot; mais cette égalité ne se rencontre presque jamais dans l'exploitation télégraphique. Prenons comme exemple la ligne de Paris-Lyon : Il y a beaucoup plus de travail de Lyon vers Paris qu'en sens contraire, de 10 heures du matin à 2 heures de l'après-midi; le soir, c'est l'inverse qui a lieu : on transmet 160 dépêches de Paris à Lyon, alors qu'il ne s'en présente que 40 ou 50 de Lyon vers Paris. Le Baudot suffit, et son rendement est utilisé complètement.

Le Wheatstone ne suffirait pas, et la capacité de transmission de Lyon vers Paris serait inutilisée la moitié du temps. Cette considération s'applique à tous les systèmes : duplex, quadruplex, etc.; elle est tout en faveur des systèmes multiples.



Parallèle entre le Meyer multiple et le Baudot multiple.

ENFIN, le parallèle entre le Meyer multiple et le Baudot multiple est, sans conteste, à l'avantage de ce dernier.

On peut répéter ici, au sujet de la supériorité du signal, ce qui a été dit à propos du Wheatstone. Quant au rendement, on sait que le sextuple Meyer peut donner environ 5,000 mots à l'heure. Nous avons déjà vu que le Baudot peut atteindre le chiffre de 9,000 mots dans le même espace de temps.



Résumé.

ON le voit donc, non seulement les besoins si variés de l'exploitation télégraphique reçoivent complète satisfaction par le même type d'appareil, c'est-à-dire qu'on réalise à l'aide du Baudot le problème *de l'unification du matériel et de l'unification du personnel*, mais encore dans chaque cas particulier, et suivant l'importance des trafics, on a à sa disposition un instrument d'une marche régulière et sûre, d'un rendement plus élevé que celui des autres appareils, et qui présente, en outre, le précieux avantage d'utiliser toute la capacité de travail des agents manipulants.



TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Préface	3
I. — De la conductibilité électrique des métaux et de leurs alliages. — Pouvoir conducteur des métaux et de leurs alliages. — Travaux antérieurs. — Travaux de M. Lazare Weiller. — Observations sur la conductibilité de quelques métaux et alliages. — Argent. — Or. — Platine. — Aluminium. — Fer. — Acier. — Plomb. — Zinc. — Étain. — Conductibilité du cuivre. — Cuivres de diverses provenances. — Influence de l'oxydure et des corps étrangers	5
II. — Des fils de bronze silicieux. — Types de fil de bronze silicieux. — Fils télégraphiques. — Fils téléphoniques. — Éléments des divers fils de bronze silicieux. — Tableaux. — Comparaison avec les fils de cuivre, de fer et d'acier. — Pose des lignes. — Autres avantages. — Inoxydabilité des fils de bronze. — Opinion de M. Preece. — Variations de la conductibilité avec la température. — Flèches. — Tableaux	27
III. — Pose des lignes de bronze silicieux. — Détails pratiques. — Déroulement des fils. — Coques et boucles. — Dévidoirs. — Flèches. — Portées. — Mode de jonction des fils. — Ligatures. — Soudures. — Tendeurs et dynamomètres. — Isolateurs. — Supports. — Conditions imposées par l'Administration. — Résistance électrique. — Effort de rupture. — Machine L. Weiller et Froment-Dumoulin. — Machine Thomasset. — Pliages. — Appareil de M. Lacoine. — Mesure des diamètres. — Jauges. — Micromètres	56
IV. — De l'emploi des fils de bronze silicieux pour les lignes télégraphiques. — Devis comparatifs. — Lignes dans les pays où les transports sont coûteux et difficiles. — Lignes télégraphiques internationales. — Télégraphie militaire	90

V. — De l'emploi des fils de bronze silicieux dans la télégraphie sous-marine. Câbles légers	105
VI. — De l'emploi des fils de bronze silicieux pour les lignes téléphoniques. — Supports O. André pour lignes téléphoniques et télégraphiques. — Poteaux. — Herses. — Pièces communes aux poteaux et aux herses. — Supports d'isolateur. — Haubans rigides. — Tourelle de concentration. — Matériel employé pour la pose des lignes aériennes. — Application au réseau de Reims. — Poteaux en fer pour lignes télégraphiques.	117
VII. — Comparaison des fils silicieux avec les fils dits Compound.	139
VIII. — Application des fils de bronze silicieux au transport de la force par l'électricité. — Expériences de Creil.	142
IX. — Description de l'usine de M. Lazare Weiller. — Organisation générale. — Installations électriques. — Mesures électriques. — Eclairage électrique	147
X. — Conclusions générales.	161
XI. — Appareils de transmissions télégraphiques. — Division des réseaux télégraphiques en trois catégories de lignes. — Lignes de petit, moyen et grand trafic. — Inconvénients résultant de la diversité des appareils. — But poursuivi par M. Baudot. — Transformation du premier type Baudot. — Résultats de l'expérience poursuivie pendant quatre ans en France. — Baudot simple, duplex et multiple. — Baudot à transmission automatique. — Parallèle entre le Hughes et le Baudot. — Parallèle entre le Wheatstone et le Baudot multiple. — Supériorité du système multiple sur les systèmes duplex, quadruplex, au point de vue de l'utilisation du travail du fil. — Parallèle entre le Meyer multiple et le Baudot multiple. — Résumé .	165

