

PILES ÉLECTRIQUES

ET

ACCUMULATEURS

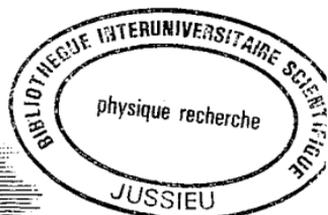
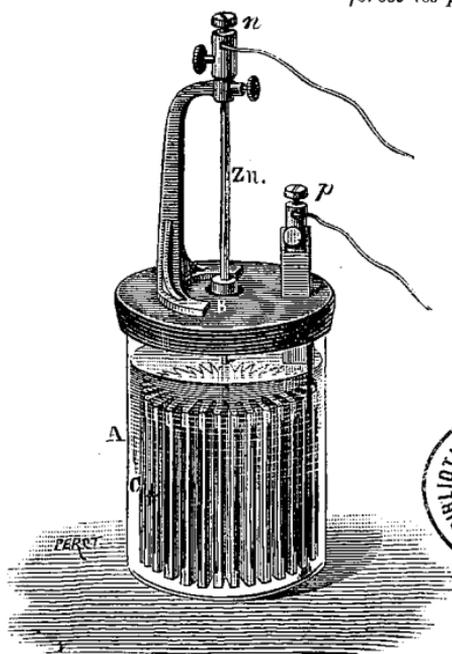
RECHERCHES TECHNIQUES

PAR

ÉMILE REYNIER

*Il étudie la nature, moins pour
en démêler les énigmes que pour
en approprier à notre usage les
forces les plus cachées*

J. BERTRAND.



PARIS

LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES

MATHÉMATIQUES, PHYSIQUE, CHIMIE, ÉLECTRICITÉ, ETC.

J. MICHELET

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

1884

PRÉFACE

Ce livre est la réunion des *Recherches Techniques* sur les piles primaires et secondaires que j'ai récemment fait connaître dans diverses publications périodiques, notamment les *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences, les *Séances* de la Société Française de Physique, *l'Électricien*, *La Nature*, *Le Génie civil*, etc.

Je me suis flatté de l'espoir que ce Recueil serait bien accueilli, maintenant que l'attention des physiciens et des ingénieurs revient aux *Piles Électriques* longtemps délaissées, et aux *Accumulatèurs*, dont l'apparition sur la scène industrielle avait d'abord soulevé une opposition irréfléchie.

Les *Piles Primaires*, qu'aucuns croyaient destinées à disparaître devant les électromoteurs mécaniques ou thermiques, commencent à reprendre faveur. Les travaux qu'on réunit ici apportent quelques documents nouveaux à leur étude.

Une première *Note* donne les *forces électromotrices maxima et minima* d'une trentaine de combinaisons voltaïques composées de deux électrodes et d'un seul liquide. Quelques-uns de ces couples, autrefois mesurés

par d'autres physiciens, m'ont donné des *maxima* plus grands et des *minima* plus petits que ceux trouvés par mes devanciers : ce fait semble démontrer l'efficacité des dispositifs institués en vue d'obtenir des valeurs, sinon exactes, au moins très approchées, des grandeurs à mesurer.

Le dispositif à *maxima* possède une constance relative ; j'ai proposé de l'employer comme *Etalon de force électromotrice*.

L'attaque locale des Zincs de pile, dans divers liquides, a fait l'objet d'expériences concluant à l'emploi des *Alliages* zinc et mercure. Cette conclusion commence à recevoir le suffrage des praticiens.

Beaucoup de moyens, plus ou moins heureux, ont été employés ou proposés pour la séparation des électrolytes dans les appareils électrochimiques à deux liquides ; ces *Cloisons Poreuses* ont été passées en revue. Chemin faisant, on a décrit un certain nombre de piles intéressantes.

Les *forces électromotrices* attribuées aux *couples du genre Daniell* ont été révisées sur vingt-deux combinaisons différentes. Ces mesures révèlent des écarts de 14 pour 100 dans la force électromotrice pour des différences chimiques qu'on pourrait croire peu importantes à première vue.

Combien de fois a-t-on accusé la *Pile* d'être un électromoteur trop coûteux ? Il y a mieux à faire que de répéter ce lieu commun : c'est de calculer et comparer, méthodiquement, le *Prix de revient de l'Énergie* livrée par les meilleures combinaisons voltaïques : tel est l'objet de la septième *Note*. On a démontré que la pile peut, dans certaines conditions, fournir du travail à raison de 2 francs

le cheval-heure (270 000 kilogrammètres) : c'est le coût du travail fourni par les chevaux de trait, dans les meilleures conditions d'exploitation. L'obstacle principal à l'emploi des *Piles* n'est donc pas dans le prix qu'elles font payer leurs services.

Cette étude et les suivantes comportent la connaissance des *Équivalents Electrochimiques*. On a dressé le *Tableau* des poids intéressés par 1 *coulomb* et par 3 600 *coulombs* (1 ampère-heure), pour les corps ou composés chimiques usuels. Ces chiffres, utiles dans tous les calculs relatifs à l'électrochimie, épargneront aux électriciens des calculs fastidieux. On les a fait précéder d'un exposé succinct des *Définitions* et des *Lois* relatives à l'analyse et à la synthèse chimiques.

La dernière *Note*, relative aux *Piles Primaires*, est une évaluation de la *Dépense de travail faite par les microphones* du Réseau Téléphonique de Paris. L'intérêt de cette étude n'est pas exclusivement spéculatif ; les conclusions sont susceptibles d'application.

J'ai affecté de ne pas séparer l'étude des *Piles Primaires* des *Recherches Techniques* relatives aux *Accumulateurs Électriques*. Entre les uns et les autres, il n'y a qu'une différence d'ordre pratique. Il ne faut pas craindre de répéter cette proposition ancienne et connue, mais encore trop peu sentie : *les Accumulateurs sont des Piles*.

Mais toutes les *Piles* ne sont pas des *Accumulateurs*. Ceux-ci sont des cas particuliers de celles-là.

Considérés à ce point de vue, les *Accumulateurs* perdent tout à coup le caractère spécial, un peu mystérieux, qui a retardé leurs progrès en les dérochant longtemps aux recherches des techniciens.

En leur appliquant résolument les moyens d'investigation employés pour les autres *piles*, j'espère avoir apporté de la netteté à mes études sur *les Variations de la force électromotrice* dans les piles secondaires, sur *la Théorie Chimique des Accumulateurs* et les *Conséquences Pratiques* de cette théorie. Ces études sont précédées d'une revue des principaux *systèmes d'accumulateurs* anciens et nouveaux.

On n'a pas négligé les applications. *L'Éclairage Électrique par Accumulateurs* est étudié sur l'installation du Théâtre des Variétés; cet éclairage a disparu, mais nous ne devons pas laisser perdre les enseignements qu'il a fournis. *La Traction par Accumulateurs* est l'objet d'un travail assez développé. Enfin, on a effleuré la question de *la Distribution de l'Énergie par les Accumulateurs*, à propos du projet de Nantua.

Rapprochées les unes des autres dans un ordre convenable et reliées par une *Table Analytique*, ces *Recherches* forment un ensemble auquel l'unité de vues donne une certaine cohésion.

Paris, mai 1884.

E. R.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE⁽¹⁾

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

- ACADÉMIE DES SCIENCES. — *Comptes rendus des Séances.* — Gauthier-Villars. — Paris.
- ANNUAIRE, publié par le Bureau des Longitudes. — Gauthier-Villars. — Paris.
- ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES. — *Compte rendu de la 11^e session.* — La Rochelle, 1882. — Paris, 1883.
- L'ÉLECTRICIEN. — *Revue générale d'Électricité.* — G. Masson. — Paris.
- LE GÉNIE CIVIL. — Société du Génie civil. — Paris.
- JOURNAL DE PHYSIQUE. — Gauthier-Villars. — Paris.
- LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE. — *Revue générale d'Électricité.* — Cornélius Herz. — Paris.
- LES MONDES. — *Revue scientifique, publiée par l'abbé Moigno.* — Paris.
- LA NATURE. — *Revue des Sciences.* — G. Masson. — Paris.
- SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE. — *Procès-verbaux et Comptes rendus des Séances.* — Gauthier-Villars. — Paris.
- SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE. — *Compte rendu des réunions organisées à l'occasion de l'Exposition Internationale d'Électricité, 4, 5 et 6 octobre 1884.* — Imprimerie Mouillot. — Paris, 1884.

OUVRAGES SPÉCIAUX

- BEQUEREL (A.-C.). — *Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme.* — Firmin Didot. — Paris, 1834 à 1840.
- BEQUEREL ET EDMOND BEQUEREL. — *Résumé de l'Histoire de l'Électricité et du Magnétisme.* — Firmin Didot. — Paris, 1858.
- BEQUEREL ET EDMOND BEQUEREL. — *Traité d'Électricité et de Magnétisme.* — Firmin Didot. — Paris, 1856.
- BERTHELOT (M.). — *Essai de Mécanique Chimique, fondée sur la Thermo-chimie.* — Dunod. — Paris, 1879.
- BLAVIER (E.-E.). — *Des Grandeurs Électriques et de leur mesure en unités absolues.* — Dunod. — Paris, 1881.
- BLONDIOT (René). — *Recherches expérimentales sur la capacité de Polarisation Voltaïque.* — Thèse de doctorat. — Gauthier-Villars. — Paris, 1881.
- BRANDELY aîné. — *Manuel de Galvanoplastie.* — Roret. — Paris, 1873.
- THE BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE. — *Reports of the Committee on electrical Standards.* — Spon. — London, 1873.
- CAZIN (A.) et ANGOT (A.). — *Traité Théorique et Pratique des Piles Électriques.* — Gauthier-Villars. — Paris, 1881.

(1) On peut se procurer toutes ces Publications à la Librairie J. Michelet.

- EVERETT. — *Units and Physical Constants*. — Macmillan. — London, 1879.
- FAVRE (P.-A.). — *Mémoire sur la Transformation et l'Équivalence des Forces Chimiques*. — *Extrait des Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences*. — Imprimerie nationale, 1875.
- FOUCAULT (Léon). — *Recueil des Travaux Scientifiques, publié par M^{me} veuve Foucault, sa mère, mis en ordre par C.-M. Gariel*. — Gauthier-Villars. — Paris, 1878.
- GORDON (J.-E.-H.). — *Traité expérimental d'Électricité et de Magnétisme*, traduit et annoté par J. Raynaud. — J.-B. Baillière et fils. — Paris, 1881.
- HOSPITALIER (E.). — *Formulaire Pratique de l'Électricien, 2^e année*. — G. Masson. — Paris, 1884.
- JOUFFRET (E.). — *Introduction à la Théorie de l'Énergie*. — Gauthier-Villars. — Paris, 1883.
- LA RIVE (A. de). — *Traité d'Électricité Théorique et Appliquée*. — J.-B. Baillière. — Paris, 1854.
- LATIMER CLARK and ROBERT SABINE. — *Electrical Tables and Formulae*. — Spon. — London, 1871.
- LEPLAY (Hippolyte). — *L'Osmose et l'Osmogène Dubrunfaut*. — Bureaux de la Sucrierie Indigène et Coloniale. — Paris, mai 1883.
- MASCART (E.). et JOUBERT (J.). — *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme*. — G. Masson. — Paris, 1882.
- DU MONCEL (comte Th.). — *Exposé des Applications de l'Électricité*, 3^e édition. — Lacroix. — Paris, 1872 à 1878.
- NIAUDET (Alfred). — *Machines Magnéto-Electriques Gramme*. — Hippolyte Fontaine. — Paris, 1875.
- NIAUDET (Alfred). — *Machines Electriques à courant continu*, 2^e édition. — J. Baudry. — Paris, 1881.
- NIAUDET (Alfred). — *Traité Élémentaire de la Pile Électrique*, 2^e édition. — J. Baudry. — Paris, 1880.
- PLANTÉ (Gaston). — *Recherches sur l'Électricité, 1859-1879*. — Réimpression. — Aux bureaux de la Revue de la Lumière Électrique. — Paris, 1883.
- POUILLET. — *Éléments de Physique expérimentale et de Météorologie*, 7^e édition. — Hachette et C^{ie}. — Paris, 1856.
- RENAULT (Bernard). — *Vérification expérimentale de la réciproque de la Loi de Faraday sur la décomposition des électrolytes*. — Thèse de doctorat. — Gauthier-Villars. — Paris, 1867.
- REYNIER (Emile). — *La Traction Électrique par Accumulateurs, appliquée aux tramcars de Paris*. — J. Michelet. — Paris, octobre 1883.
- WITZ (Aimé). — *Cours de Manipulations de Physique*. — Gauthier-Villars. — Paris, 1883.

TABLE DES CHAPITRES

	Pages.
I. Sur la mesure des forces électromotrices maxima et minima dans les couples à un seul électrolyte. — Variation de la force électromotrice dans ces couples. Couple à maxima. Couple à minima. Tableaux numériques.....	4
II. Pile-étalon pour la mesure des forces électromotrices. — Qualités que doit posséder un étalon de force électromotrice. Les étalons actuellement en usage. Etalon Reynier. Sa construction. Son emploi. Constance relative de ce couple. Instructions pratiques	9
III. Expériences sur l'attaque locale des zincs en circuit ouvert. — Obstacle apporté à l'emploi des couples énergiques par l'attaque locale des zincs. Procédés proposés pour atténuer cet inconvénient. Emploi des alliages solides de zinc et de mercure. Expériences faites dans divers liquides. Observations et conclusions	16
IV. Vases poreux et cloisonnements. — Séparation des électrolytes dans les appareils électrochimiques. — I. <i>Cloisons animales</i> : Premier appareil cloisonné de Becquerel, prototype des piles Daniell. Emplois de la baudruche, des intestins, vessies, cuirs et peaux ; leurs inconvénients. Etoffes de laine. — II. <i>Cloisons en matière végétale</i> : Cloisons de bois ; leur préparation et leur emploi. Toiles ; leur conductibilité. Incrustations dans les piles Daniell. Emploi des papiers bitumé et albuminé. Pile Carré. Dispositifs de M. Trouvé : piles humides ; batterie de 500 couples tubulaires. Commodité de ces piles pour l'étude des hauts potentiels. — III. <i>Cloisons en substances minérales</i> : L'amiante. Le plâtre. Les céramiques poreuses. Résistance des vases poreux en porcelaine ; leur emploi ; leur destruction par les alcalis caustiques. — IV. <i>Vases poreux quasi-prismatiques profonds, en papier parcheminé, formés sans assemblage</i> : Le parchemin végétal ; son origine et sa fabrication. Emploi dans l'osmogène Dubrunfaut. Industrie du parchemin végétal. Dimensions et poids du parchemin végétal à l'état naturel, desséché et humide. Construction des vases poreux en parchemin végétal. Ancienne pile Reynier. Résistances des vases poreux en parchemin. Expériences. Cloisonnements. Piles au sulfate de cuivre à zinc cloisonné. Le cloisonnement du zinc dans les piles au bichromate de potasse. — V. <i>Vases poreux et cloisonnements de forme pointue</i> : Pliages divers.....	24

V.	Sur la force électromotrice des piles du genre Daniell. — Variation de la force électromotrice avec la composition des liquides. Expériences sur 22 couples différents. Tableau des forces électromotrices correspondantes. Supériorité du zinc amalgamé. Cause probable des divergences présentées par les chiffres qu'on attribue à Poggendorff, Joule, Regnault, Wiedemann, etc. Nécessité de réviser les résultats des expériences anciennes.....	58
VI.	Tableau des équivalents électrochimiques, pour servir aux calculs relatifs aux analyses ou aux synthèses opérées par procédés électriques. — Définitions et Lois. Equivalent électrochimique de l'eau d'après M. Mascart. Tableau des équivalents électrochimiques pour les corps et composés chimiques usuels.....	63
VII.	Sur le prix du travail fourni par les piles hydro-électriques. — Méthode suivie. — I. Détermination de la dépense théorique: Coefficients d'utilisation physique et chimique. — II. Couple de Volta. — III. Piles du genre Daniell; piles au vert-de-gris: Composition du vert-de-gris; économie résultant de son emploi. — IV. Piles au bichromate de potasse. — V. Piles de Lalande et Chaperon, montées à la potasse ou à la soude. — VI.....	71
VIII.	Sur le travail des piles Leclanché en service sur le réseau téléphonique de Paris. — Evaluation de la dépense d'énergie d'un microphone par la pesée des zincs de la pile. Expériences faites à Paris, sur le réseau de la Société générale des Téléphones. Batteries des postes étudiés; piles Leclanché, leur montage. Durée des expériences. Résultats. Valeur du plus grand travail des piles à microphone. Combien il faudrait de couples Leclanché pour faire fonctionner une lampe à incandescence. Travail utilisé. Travail à fournir pour desservir par accumulateurs le réseau téléphonique de Paris.....	89
IX.	Accumulateurs électriques. — Considérations sur l'accumulateur Planté et ses dérivés. Tentatives faites pour remplacer le plomb. Couple secondaire cuivre—Charbon—Sulfate de zinc. M. Maïche et la suppression des accumulateurs. Accumulateur zinc-manganèse. Accumulateur de M. Varley. Essais de M. Gramme: Voltamètres à électrodes de charbon. Emploi du plomb pour une seule électrode. Condensateur voltaïque de M. d'Arsonval. Accumulateur de M. Sutton. Avantages des accumulateurs au cuivre et au zinc. Recherches de l'auteur. Accumulateur au zinc modèle Nantua. Modèles nouveaux. Données physiques et données de construction. Accumulateur genre Planté. Accumulateur industriel au zinc amalgamé. Capacités théorique et pratique d'un accumulateur. Solidité et durée. Légèreté de l'accumulateur industriel. Comparaisons des capacités d'emmagasinement des principaux systèmes d'accumulateurs.....	94

- X. Sur les variations de la force électromotrice dans les accumulateurs. — M. G. Planté a constaté et expliqué ces variations. Surélévation de la force électromotrice pendant la charge; c'est une cause de perte, Coefficient de baisse. Mesure des valeurs absolues et relatives de la force électromotrice. — I. *Dispositif expérimental*: Méthode de l'égalé déviation. Etalon. Galvanomètre. Régime de décharge. Pile de charge. — II. *Force électromotrice des accumulateurs genre Planté*: Constantes de la pile de charge. Mesures pendant et après la charge. Force électromotrice effective d'un accumulateur genre Planté. — III. *Forces électromotrices des accumulateurs au cuivre et au zinc*: Résultats des expériences. — IV. *Conclusions*: Facteur de perte. Surélévation fugitive de la force électromotrice. Coefficients de baisse. Pertes à subir dans la pratique... 112
- XI. Essai sur la théorie chimique des accumulateurs. — Revue des théories diverses antérieurement proposées. L'auteur admet la sulfatation des deux électrodes. — I. *Opinion de M. Planté*. — II. *Opinion de M. Faure*. — III. *Travaux de MM. Gladstone et Tribe*: Constatation de la présence du sulfate de plomb. Etat des électrodes après la décharge. Réactions. Démonstration directe de la réduction du sulfate de plomb. Explications des progrès spontanés de la formation par le repos des couples, et de la destruction des lames positives. Suroxydation électrolytique du sulfate de plomb pendant la décharge. Explication des décharges résiduelles. — IV. *Expériences de M. Frankland; ses conclusions*. — V. *Etude chimique des accumulateurs au cuivre et au zinc*: Equations chimiques de la décharge. Analogie chimique entre les piles primaires et les piles secondaires. Pile au peroxyde de plomb de de la Rive. La thermochimie intervient dans le débat. Conclusions..... 124
- XII. Conséquences pratiques de la théorie chimique des accumulateurs. — Poids à donner aux éléments constitutants d'un accumulateur. Calcul des poids théoriques; majoration de ces poids. Comparaison des poids possibles avec ceux des appareils livrés par le commerce. — I. *Accumulateurs genre Planté*: Equation de la décharge. Poids théoriques et pratiques. — II. *Accumulateurs au cuivre*: Equation de la décharge. Poids théoriques et pratiques. — III. *Accumulateur au zinc*: Equations de la décharge. Poids théoriques et pratiques. — IV. *Conclusions*..... 139
- XIII. L'éclairage électrique avec accumulateurs au théâtre des Variétés. — Nombre de lampes employées et leur répartition. Accumulateurs; nombre, poids, groupage. Forcé motrice. Dépense du moteur à gaz. Machines shunt-dynamo. Couplage des machines avec les accumulateurs. Débit des dynamos et des batteries d'accumulateurs. Rendement. Perte dans les conducteurs. Constantes des lampes Swan; pouvoir éclairant. Rendement des accumulateurs. Quan-

	Pages.
tité de gaz brûlé quotidiennement; éclairage direct par le gaz. Comparaison. Moyens d'augmenter l'éclairage et de diminuer la dépense. Prix d'installation et coût journalier de l'éclairage par accumulateurs. Economies obtenues par l'emploi des accumulateurs. Qualités de la lumière électrique.....	146
XIV. La traction électrique par accumulateurs, appliquée aux Tramcars de Paris. — Préliminaires. — I. Tramcar électrique. Trajets effectués. Accumulateurs employés. Moteur électrique. Agencement mécanique combiné par M. Raffart. — II. Le tramcar étudié pendant sa marche; manœuvres vicieuses. — III. Evaluation des travaux de traction et d'élévation, et des dépenses de puissance vive. Possibilité d'une récupération partielle. — IV. Travail moteur. Manières de le faire varier. — V. Couplage des accumulateurs. Commutateurs. Changements de marche. Résistances. Usages des divers groupements. Frein électrique. — VI. Diminution de la dépense. Récupérations.....	157
Estimation du prix de revient. — Calculs des divers éléments de la dépense. Méthode employée. — I. Etude sur la traction animale, d'après les documents officiels publiés par la Compagnie générale des Omnibus de Paris. — II. Poids additionnel des accumulateurs. Majoration. Récupérations mécanique et électrique. Dépense en chevaux-heure. — III. Calcul du travail à dépenser pour charger les accumulateurs. Rapport du travail utilisé au travail dépensé. Force motrice. Coût. — IV. Poids d'accumulateurs nécessaire. Poids de la locomotive. Recharge des accumulateurs. Nombre de locomotives nécessaires pour le service d'une voiture. Prix de chaque locomotive. Amortissement. — V. Coût de la traction pour une journée de tramcar, avec les accumulateurs. L'économie réalisée sur la traction animale est de 35 pour 100. Avantages spéciaux.....	179
XV. Sur un projet de distribution de l'énergie électrique dans la ville de Nantua. — Expériences de Nantua. Canalisation et distribution. Longueur de la ligne. Conducteurs aériens. Lampes Edison, Reynier, et à arc voltaïque. Différence de potentiel entre les conducteurs. Montage des foyers. Emploi de voltamètres. Travail utilisé. Machine shunt dynamo. Les accumulateurs et leur vertu régulatrice. Projet de cahier des charges. Compteurs. Canalisation et tarification.....	190
TABLE ANALYTIQUE.....	199

TABLE DES FIGURES

	Pages.		Pages.
1 Pile à maxima.....	2	26 Vase poreux pointu.....	56
2 Pile à maxima.....	4	27 Pile à zinc cloisonné.....	59
3 Étalon Reynier.....	11	28 Pile au bichromate de potasse.	81
4 Couple historique de Becque- rel.....	26	29 Pile hermétique de MM. de Lalande et Chapron.....	82
5, 6, 7, 8 Pile de M. F. Carré..	30	30 Pile à spirale id....	83
9 Pile humide de M. Trouvé...	34	31 Pile en forme d'auge id....	84
10 Pile tubulaire id. ...	36	32 Pile Leclanché.....	90
11 Batterie humide id. ...	37	32 bis, 33, 34 Accumulateur modèle Nantua.....	101
12 Vase poreux en papier parche- min.....	44	35 Accumulateur Reynier.....	102
13 Développement.....	45	36 Accumulateur genre Planté..	105
14 Vase poreux rectangulaire...	—	37 Accumulateur industriel....	106
15 Vase octogonal.....	46	38 Accumulateur Planté (1860)..	109
16 Développement.....	47	39 Accumulateur Faure (1881)..	110
17 Autre modèle.....	—	40 Tramcar électrique (élévation)	160
18 Ancienne pile Reynier.....	48	41 Tramcar électrique (plan)...	161
19 Électrode zinc.....	—	42, 43, 44 Accumulateur Faure (1882).....	164
20 Électrode cuivre.....	49	45 Machine dynamo-électrique..	166
21 Pile au sulfate de cuivre....	50	46 Commutateur Planté.....	174
22 Pile genre Daniell.....	51	47, 48, 49, 50 Lampe Reynier...	192
23 Pile forme benne, <i>au vert- de-gris</i>	52	51 Machine dynamo-électrique à électros dérivés.....	195
24 Zinc amalgamé cloisonné....	53		
25 Développement d'un double vase poreux.....	55		

ABRÉVIATIONS

<i>amalg.</i> amalgamé.	<i>k.</i> kilogramme.
<i>c. c.</i> centimètre cube.	<i>kgm.</i> kilogrammètre.
<i>c. g. s.</i> centimètre-gramme-seconde.	<i>m.</i> mètre.
<i>c. q.</i> centimètre carré.	<i>mgr.</i> milligramme.
<i>d. q.</i> décimètre carré.	<i>mm.</i> millimètre.
<i>f. e. m.</i> force électromotrice.	<i>p.</i> page.
<i>fr.</i> franc.	<i>solut.</i> solution.
<i>gr.</i> gramme.	<i>vol.</i> volume.

NOTES
SUR
LES PILES ÉLECTRIQUES
ET
LES ACCUMULATEURS

SUR LA MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES
MAXIMA ET MINIMA,
DANS LES COUPLES A UN SEUL ÉLECTROLYTE (1).

On sait que la force électromotrice des couples à *un seul électrolyte* (2) est très variable : elle diminue par la fermeture du circuit et augmente par le repos de la pile ; pour une même combinaison voltaïque, elle paraît plus élevée avec une électrode positive dont la surface est très grande rela-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 12 novembre 1883.

(2) L'expression de « pile à un seul électrolyte », adoptée ici, a été proposée par le très regretté Alfred Niaudet, pour remplacer l'expression ancienne de *pile à un seul liquide*, dont le sens est trop général, car elle semble comprendre les couples à sels ou oxydes insolubles, qui sont des piles à deux électrolytes.

tivement à celle de l'électrode négative. Aussi les forces électromotrices *apparentes* de ces couples changent-elles avec la construction de la pile, les circonstances des expériences et les méthodes de mesure employées.

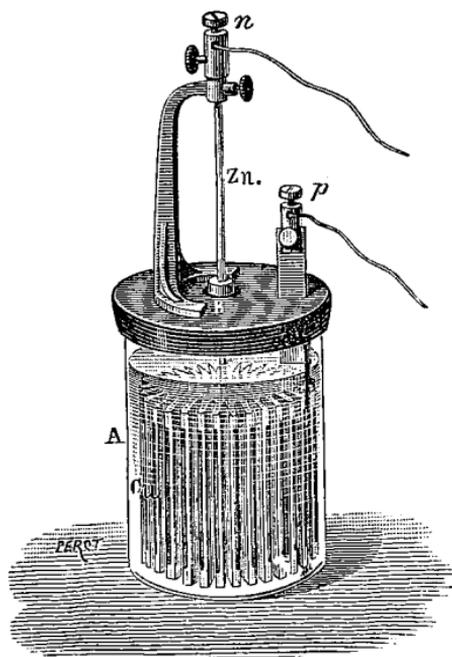


Fig. 1.

PILE A MAXIMA (A. Simmen).

Parmi toutes les valeurs que peut prendre la force électromotrice d'un couple, il y en a deux qu'il faut connaître : la plus grande et la plus petite. Je crois avoir réussi à obtenir avec certitude la mesure de ces grandeurs extrêmes, au moyen des deux modèles de pile qui vont être décrits. Chacun de ces deux modèles peut être monté avec divers liquides et des électrodes positives et négatives variées.

Le *couple à maxima* (fig. 1) possède une électrode posi-

tive Cu, plissée et ajourée, développant une surface efficace de 30^{de}, c'est-à-dire trois cents fois plus grande que celle de l'électrode négative. Celle-ci se compose d'un fil de 3^{mm} de diamètre, plongeant au centre du récipient; on peut la soulever hors du liquide et l'y maintenir, au moyen d'une vis de pression agissant sur le manchon dans lequel elle est guidée. Une pièce isolante B, fixée sur l'électrode, prévient toute dérivation par le couvercle et sert de butée quand on soulève le fil négatif pour mettre la pile au repos.

Ce couple, dont la capacité est de 800^{cc}, a une résistance de 0^{ohm}, 2 à 4 ohms, selon le liquide employé : valeur négligeable quand la résistance totale du circuit galvanométrique atteint plusieurs milliers d'ohms; sa force électromotrice perd moins d'un centième de sa valeur par un travail de deux heures à l'intensité de *un milliampère*. On peut donc considérer la pile comme constante, pendant le peu de minutes nécessaires à une mesure de potentiel par les méthodes galvanométriques connues.

Le couple à minima (*fig. 2*) a les mêmes dimensions extérieures que le précédent; mais c'est l'électrode négative qui possède ici la plus grande surface, 5^{de} environ. L'électrode positive est un fil de 0^{mm}, 5 de diamètre, dont la surface immergée a moins de 1^{de}. Les résistances de cette pile sont à peu près les mêmes que celles du couple à maxima.

Pour mesurer la force électromotrice minima du couple, on met les deux fils qui vont au galvanomètre en communication avec les deux bornes d'une clef de court circuit; on ferme la clef pendant plusieurs heures, puis on l'ouvre, et

l'on fait aussitôt une mesure qui donne une valeur très approchée, sinon exacte, de la différence de potentiel cherchée. L'électrode positive de ce couple ayant une très petite surface, les produits d'oxydation formés par l'action de l'air ne s'élaborent qu'en faible quantité; ils sont complètement

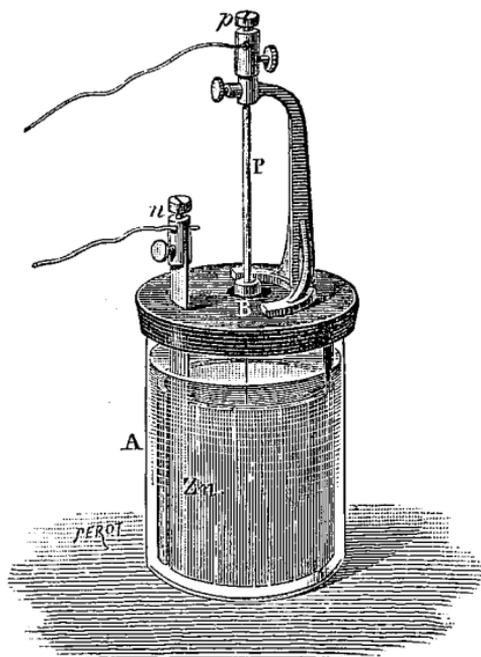


Fig. 2.

PILE A MINIMA (A. Simmen).

réduits par la fermeture en court circuit et ne se reforment pas assez vite pour troubler sensiblement la mesure. A l'ouverture de la clef, *le couple ne renferme point de corps autres que ceux contenus dans sa définition.*

Avec ces deux modèles de pile, j'ai mesuré les forces électromotrices maxima et minima d'un certain nombre de com-

binaisons voltaïques à un seul électrolyte (1). Les chiffres obtenus sont rapportés dans les tableaux suivants :

FORCES ÉLECTROMOTRICES MAXIMA

DÉSIGNATION DES PILES			FORCES ÉLECTROMOTRICES en volts	
LIQUIDES	ÉLECTRODE NÉGATIVE	ÉLECTRODE POSITIVE		
<i>Eau acidulée sulfurique.</i> vol.	Zinc ordinaire.	Charbon.	1,22	
	Zinc amalgamé.	»	1,26	
	Zinc ordinaire.	Plomb.	0,53	
	Zinc amalgamé.	»	0,684	
Eau..... 1000	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,94	
Acide sulfurique monohydraté... 2	Zinc amalgamé.	»	1,072	
	Zinc ordinaire.	Fer.	0,429	
	Zinc amalgamé.	»	0,476	
	Zinc amalgamé.	Zinc ordinaire.	»	
<i>Solution de chlorure de sodium.</i> gr.	Fer.	Cuivre.	0,49 à 0,51	
	Zinc ordinaire.	Charbon.	1,08	
	»	Cuivre.	0,78	
	Zinc amalgamé.	»	0,82	
Eau..... 400	Zinc ordinaire.	Fer.	0,378	
	Zinc amalgamé.	»	0,469	
Chlorure de so- dium..... 200	Zinc ordinaire.	Plomb.	0,503	
	Zinc amalgamé.	»	0,52	
	Fer.	Cuivre.	0,27 à 0,25	
	Plomb.	»	0,27 à 0,25	
<i>Chlorure de zinc.</i> gr.	Eau..... 4000	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,85
	Chlorure de zinc. 410	Zinc amalgamé.	»	0,86
<i>Sulfate de zinc.</i> gr.	Eau..... 4000	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,998
	Sulfate de zinc... 500	Zinc amalgamé.	»	1,04
<i>Soude à la chaux.</i> gr.	Eau..... 400	Zinc ordinaire.	Cuivre.	1,06
	Soude à la chaux. 250	Zinc amalgamé.	»	1,09

(1) Les mesures ont été faites par la méthode de l'égalé déviation, décrite plus loin dans l'étude sur les variations de la force électromotrice dans les accumulateurs. (Voir p. 445.)

FORCES ÉLECTROMOTRICES MINIMA

DÉSIGNATION DES PILES			FORCES ÉLECTROMOTRICES en volts
LIQUIDES	ÉLECTRODE NÉGATIVE	ÉLECTRODE POSITIVE	
<i>Eau acidulée sulfurique.</i>	Zinc ordinaire.	Iridium.	0,270
	Zinc amalgamé.	»	0,289
	Zinc ordinaire.	Platine.	0,5
	Zinc amalgamé.	»	0,561
	Zinc ordinaire.	Or.	< 0,456
	Zinc amalgamé.	»	0,428
	Zinc ordinaire.	Argent.	< 0,098
	Zinc amalgamé.	»	0,108
	Zinc ordinaire.	Charbon.	0,04
	Zinc amalgamé.	»	0,226
	Zinc ordinaire.	Plomb.	0,444
	Zinc amalgamé.	»	0,452
	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,194
	Zinc amalgamé.	»	0,272
<i>Solution de chlorure de sodium.</i>	Zinc ordinaire.	Fer.	0,309
	Zinc amalgamé.	»	0,323
	Zinc amalgamé.	Zinc ordinaire.	0,09
	Zinc ordinaire.	Iridium.	0,052
	»	Platine.	0,034
	»	Or.	< 0,028
	»	Charbon.	< 0,040
	»	Argent.	0,043
	»	Cuivre.	0,025
	»	Fer.	0,046
»	Plomb.	0,044	
Eau. 1000			
Acide sulfurique monohydraté... 2			
Eau. 1000			
Chlorure de so- dium..... 250			

RÉCAPITULATION

DÉSIGNATION DES PILES			FORCES ÉLECTROMOTRICES en volts.	
LIQUIDES	ÉLECTRODE NÉGATIVE	ÉLECTRODE POSITIVE	MAXIMA	MINIMA
	Zinc ordinaire.	Iridium.	"	0,270
	Zinc amalgamé.	"	"	0,289
	Zinc ordinaire.	Platine.	"	0,5
	Zinc amalgamé.	"	"	0,561
	Zinc ordinaire.	Or.	"	< 0,156
	Zinc amalgamé.	"	"	0,128
	Zinc ordinaire.	Argent.	"	< 0,098
	Zinc amalgamé.	"	"	0,108
<i>Eau acidulée sulfu- rique.</i>				
vol.	Zinc ordinaire.	Charbon.	1,22	0,04
Eau..... 1000	Zinc amalgamé.	"	1,26	0,226
Acide sulfuri- que mono- hydraté.... 2	Zinc ordinaire.	Plomb.	0,55	0,144
	Zinc amalgamé.	"	0,684	0,152
	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,94	0,194
	Zinc amalgamé.	"	1,072	0,272
	Zinc ordinaire.	Fer.	0,429	0,309
	Zinc amalgamé.	"	0,476	0,323
	Zinc ordinaire.	Zinc ord.	"	0,09
	Fer.	Cuivre.	0,49 à 0,51	"
	Zinc ordinaire.	Iridium.		0,052
	"	Platine.		0,034
	"	Or.		< 0,028
	"	Charbon.	1,08	< 0,040
<i>Solution de chlorure de sodium.</i>	"	Argent.		0,043
	"	Cuivre.	0,78	0,025
gr.	Zinc amalgamé.	"	0,82	"
Eau..... 1000	Zinc ordinaire.	Fer.	0,378	0,046
Chlorure de sodium.... 200	Zinc amalgamé.	"	0,469	"
	Zinc ordinaire.	Plomb.	0,503	0,044
	Zinc amalgamé.	"	0,52	"
	Fer.	Cuivre.	0,27 à 0,25	"
	Plomb.	"	0,27 à 0,25	"
<i>Chlorure de zinc.</i>				
gr.	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,85	"
Eau..... 1000	Zinc amalgamé.	"	0,86	"
Chlorure de zinc..... 110				
<i>Sulfate de zinc.</i>				
gr.	Zinc ordinaire.	Cuivre.	0,998	"
Eau..... 1000	Zinc amalgamé.	"	1,04	"
Sulfate de zinc 500				
<i>Soude à la chaux.</i>				
gr.	Zinc ordinaire.	Cuivre.	1,06	"
Eau..... 1000	Zinc amalgamé.	"	1,09	"
Soude à la chaux..... 250				

D'après les considérations exposées plus haut, il me semble que la force électromotrice *minima* d'un couple à un seul électrolyte doit être considérée comme la force électromotrice *vraie* du système ; la surélévation de cette force jusqu'au maximum résulterait principalement de l'addition spontanée de produits d'oxydation formés par l'intervention de l'air, produits dont l'action ne devrait pas être confondue avec les énergies chimiques mises en jeu dans le couple proprement dit. Je me permets de signaler cette observation aux physiciens qui cherchent à établir des concordances entre les forces électromotrices des piles et les données de la Thermochimie.

PILE-ÉTALON

POUR LA MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES (1).

Toute pile constante, dont la f. e. m. est connue, peut servir de témoin dans la mesure des différences de potentiel; mais, pour constituer un *étalon* sûr et commode, un couple doit posséder un ensemble de qualités qu'on ne trouve réunies dans aucune des piles destinées aux usages courants.

Il faut qu'une pile-étalon ait une f. e. m. constante, non influencée par les variations de la température; son montage, simple et commode, doit ne comporter que des matériaux faciles à obtenir ou à préparer

Pour se prêter aux mesures par les méthodes galvanométriques, qui sont très employées et parfois seules employables, le couple-type doit être apte à fournir un courant faible (un milliampère au plus). Il est utile alors que sa résistance soit assez petite pour être négligeable en présence des résistances de 1000 à 20000 ohms que comportent les circuits galvanométriques. Enfin, on pourrait souhaiter, par surcroît, que la f. e. m. de l'appareil fût précisément égale à un volt, pour simplifier les calculs : cette dernière condition

(1) *Société Française de Physique*, séance du 16 novembre 1883;

Société d'Encouragement, procès-verbal de la séance du 11 janvier 1884;

L'Électricien, du 1^{er} décembre 1883;

La Nature, du 8 décembre 1883.

est la moins importante; dans beaucoup de cas, elle n'est même d'aucune utilité.

On sait que les étalons actuels ne possèdent point toutes ces qualités. Le couple Daniell, dans la forme connue sous le nom d'étalon du *Post-Office*, m'a paru être le moins imparfait de tous. Mais il comporte deux liquides; la constitution du couple s'altère par le mélange des liqueurs pendant la fermeture du circuit, et l'on n'évite ce mélange, en circuit ouvert, qu'au prix d'une manipulation dont on aimerait à se dispenser. Les sulfates de cuivre et de zinc du commerce sont acides, mais pas toujours au même degré; on peut craindre que ces différences d'acidité ne changent la f. e. m. attribuée à l'appareil (1).

L'étalon zinc-cadmium a les mêmes qualités et les mêmes défauts que le précédent.

La pile au chlorure d'argent de M. Warren de La Rue est d'une préparation délicate; en circuit ouvert, son zinc se recouvre d'une couche d'oxychlorure qui rend très grande la résistance du couple. Quant à l'étalon Latimer-Clark, il ne peut pas fournir de courant, et par conséquent n'est utilisable que pour les mesures de potentiel par l'électromètre ou par le condensateur.

L'appareil que je propose comme *étalon de force électromotrice* est en fonction dans mon laboratoire depuis plu-

(1) J'ai constaté qu'une faible addition d'acide sulfurique dans l'un ou l'autre compartiment d'un couple Daniell influe sensiblement sur sa f. e. m. (Voir la note sur la f. e. m. des piles du genre Daniell, p. 60.)

sieurs mois ; après un usage prolongé, j'ai cru reconnaître en lui l'absence des défauts qu'on trouve dans ses aînés.

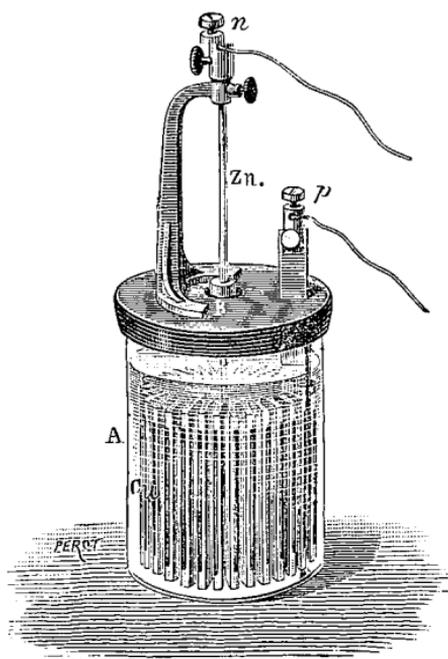


Fig. 3.

ÉTALON REYNIER

Pour la mesure des forces électromotrices (A. SIMMEN).

Surface de l'électrode cuivre.....	30 d. q.
— de l'électrode zinc amalgamé.....	0,3 d. q.
Liquide : 800 c. c. dissolution de sel marin, 200 p.	
de sel pour 1 000 d'eau.	
Force électromotrice	0,82 volt.
Résistance.....	1 à 2 ohms.

C'est un couple de Volta, zinc-cuivre (*fig. 3*), construit dans les formes et dimensions de l'appareil que j'ai décrit déjà sous le nom de *pile à maxima* (voir la *Note* précédente). On sait que, dans ce modèle, le rapport des surfaces positive et négative est environ 300 ; c'est ce très grand

développement relatif de l'électrode positive qui assure la constance du couple.

La force électromotrice de l'étalon dépend naturellement du liquide qui le garnit; elle n'est pas la même avec le zinc *amalgamé* qu'avec le zinc ordinaire. Voici les valeurs trouvées avec différents liquides :

Eau acidulée sulfurique.....	}	Zinc ordinaire.....	0,94 volt
		— amalgamé.....	1,072 —
Solution de sel marin.....	}	Zinc ordinaire.....	0,78 —
		— amalgamé.....	0,82 —
Solution de chlorure de zinc	}	Zinc ordinaire.....	0,85 —
		— amalgamé.....	0,86 —
Solution de sulfate de zinc.....	}	Zinc ordinaire.....	1,00 —
		— amalgamé.....	1,04 —
Solution de soude caustique.....	}	Zinc ordinaire.....	1,06 —
		— amalgamé.....	1,09 —

Avec le zinc ordinaire et la dissolution de sulfate de zinc, la f. e. m. est égale à *un volt*. MM. Ayrton et Perry avaient déjà noté cette différence de potentiel du système zinc-cuivre-sulfate de zinc; mais n'ayant point donné à ce couple une disposition qui lui permit de débiter un courant, ils n'ont pu le proposer comme étalon que pour les mesures par les méthodes à *circuit ouvert*.

Malgré la propriété qu'elle a de donner *le volt*, je ne préfère pas la dissolution de sulfate de zinc, parce que la pile aurait, avec ce sel, l'un des défauts que je reprochais tout à l'heure à l'étalon Post-Office : ces variations d'acidité de la liqueur qui peuvent inspirer des doutes sur la valeur exacte de la f. e. m. du couple. J'ai d'ailleurs remarqué que le zinc *ordinaire* donne partout des résultats plus variables que le zinc *amalgamé*.

Le liquide que j'ai choisi, au moins provisoirement, est la

dissolution de *sel marin*. Ce sel étant un produit comestible, on est sûr de l'obtenir toujours parfaitement neutre. On fait dissoudre 200 parties de sel dans 1000 parties d'eau et l'on filtre la dissolution sur du papier.

La f. e. m. du couple zinc *amalgamé*, cuivre, eau salée, est 0,82 volt à la température de 13 à 15 degrés centigrades ; j'ai retrouvé cette valeur dans toutes les mesures que j'ai faites, en comparaison avec un étalon P. O. auquel j'attribuais 1,079 volt. Sa résistance est 1 à 2 ohms, valeur négligeable devant les résistances de 1000 à 20 000 ohms qu'on peut donner aux circuits galvanométriques.

Fermé sur une résistance de 820 ohms seulement, l'étalon perd moins d'un centième de sa force en une heure. On peut donc admettre qu'il ne varie pas sur un circuit très résistant, pendant le peu de minutes nécessaires à une lecture. Il se prête ainsi aux mesures par les méthodes galvanométriques ; il peut, *à fortiori*, servir aux mesures par l'électromètre ou par le condensateur : dans ces circonstances, sa fixité est absolue.

La constance relative de ce couple s'explique aisément : Quand l'intensité du courant est très faible, la formation des produits d'oxydation, par l'action de l'air, sur la surface considérable du cuivre, l'emporte sur l'action réductrice de l'électrolyse, et maintient la force électromotrice à sa valeur *maxima*. La très petite quantité de zinc (1) dissoute pendant

(1) Un courant de *un milliampère* dissout 0,00002 gramme de zinc par minute, et réduit un poids de cuivre un peu moindre.

le travail ne modifie guère la composition du liquide, dont le volume est relativement grand.

Quand la lecture est faite, on met l'appareil dans la position de repos, en soulevant son zinc hors du liquide ; il reste ainsi indéfiniment semblable à lui-même, toujours prêt à témoigner dans une mesure de potentiel.

Pour me rendre compte de l'influence de la température, et aussi pour contrôler la justesse de mes rhéostats, j'ai prié M. Hospitalier de vouloir bien mettre à ma disposition, pendant quelques heures, l'excellente collection d'instruments de mesure qu'il possède en son laboratoire de *l'École de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris*.

Une première mesure, faite à la température de 17 degrés centigrades, a redonné la valeur de 0,82 volt. On a chauffé l'étalon à 40 degrés, puis refroidi jusqu'à 5 degrés. A ces deux températures, j'ai trouvé des différences tellement petites qu'on peut les attribuer à des erreurs de lecture ; elles n'indiqueraient même pas nettement le sens de la variation, si toutefois il y en a une.

Ainsi la f. e. m. de l'étalon doit être considérée comme constante, malgré les changements de la température ambiante.

Tels sont les résultats de mes vérifications. Je désirerais qu'elles fussent contrôlées par d'autres expérimentateurs, avec des méthodes variées. Et si l'on reconnaît au nouvel étalon les qualités que je me suis efforcé de lui donner, j'inviterai les électriciens à s'en servir jusqu'à ce que les progrès de la science en aient fait découvrir un meilleur.

Instructions relatives à l'emploi de la Pile-Étalon.

1° Faire une dissolution de sel marin à raison de 200 parties, en poids, de sel bien sec, pour 1000 d'eau.

Filtrer.

2° Verser la dissolution dans le récipient de l'étalon, en évitant de mouiller le couvercle. Le niveau du liquide doit submerger de 2 à 3 millimètres le bord supérieur de l'électrode positive.

3° Le zinc sera toujours bien *amalgamé*; on le réamalgamera au besoin. Quand le zinc a été réamalgamé, on le lave à grande eau avant de le remettre en place, pour ne pas introduire dans l'étalon des corps étrangers à sa définition.

4° *Soulever le zinc hors du liquide aussitôt après une lecture faite*, et le laisser toujours dans cette position de repos quand il n'est pas en fonction. Au prix de cette précaution si simple, on aura constamment à sa disposition un *étalon invariable*. A peine sera-t-il nécessaire d'ajouter, tous les deux ou trois mois, un peu d'eau filtrée pour réparer les pertes dues à l'évaporation.

5° Si l'on veut essayer l'étalon avec différents liquides, il faut laver à grande eau les électrodes et le récipient avant d'introduire un liquide nouveau.

EXPÉRIENCES

SUR L'ATTAQUE LOCALE DES ZINCS EN CIRCUIT
OUVERT (1).

Toutes les piles primaires usuelles ont le zinc pour électrode négative.

L'attaque locale des zincs par les liqueurs acides ou cuivriques est un obstacle à l'emploi des couples énergiques, elle augmente beaucoup leur dépense pendant le travail et les épuise, même en circuit ouvert. C'est donc travailler à l'amélioration des piles que d'étudier les moyens d'empêcher, d'atténuer au moins, les réactions inopportunes du zinc sur les liquides qui le baignent.

Les procédés les plus efficaces et les plus connus sont l'emploi du zinc pur, qui est peu pratique, et l'amalgamation de l'électrode, opération désagréable et coûteuse, qu'il faut renouveler souvent.

J'ai proposé et employé le *cloisonnement* des zincs (2); ce procédé est assez efficace, surtout contre l'action des sels de cuivre; mais il accroît la résistance des piles et n'est pas applicable à toutes les combinaisons voltaïques.

Les amalgames de zinc, liquides ou pâteux, sont incommodes et fort coûteux; pourtant, on les a parfois recom-

(1) *L'Électricien* du 1^{er} octobre 1883.

(2) Voir la note : *Vases poreux et cloisonnements*, p. 30.

mandés comme économiques, parce qu'ils permettent d'utiliser les rognures de zinc : singulière économie qui consiste à mettre en manipulation plusieurs kilos de mercure à 5 francs, pour tirer parti d'un kilo de débris à 40 centimes !

Il m'est revenu que Leclanché avait tenté, autrefois, l'emploi des ALLIAGES SOLIDES *de zinc et de mercure*. On ne sait pas s'il a réussi à les fabriquer à bas prix ; rien ne témoigne qu'il en ait pratiqué ou proposé l'usage.

D'autres électriciens ont recherché ces alliages. Mais M. J. Duboscq et M. Dronier sont les seuls, à ma connaissance, qui aient su les obtenir. M. Dronier en a montré et vendu à l'Exposition universelle de Paris (1878). Depuis, il a laissé cette affaire et abandonné ses procédés au domaine public.

D'ailleurs, ni M. Dronier, ni aucun des inventeurs et des auteurs qui ont travaillé ou écrit sur les piles n'ont donné, sur l'usure locale des zincs diversement préparés, baignés dans diverses liqueurs, des chiffres d'expérience comparatifs. Il m'a paru utile de traiter cette question.

J'ai donc prescrit une série d'expériences sur des zincs nus et amalgamés, en contact avec les liquides les plus usités, pour déterminer l'importance de l'action locale dans chaque combinaison. Ces expériences ont été exécutées avec beaucoup de soin, dans mon laboratoire, par mon préparateur M. Merlhes, et au laboratoire de la Société générale des Téléphones, par M. André Reynier. Les résultats obtenus de part et d'autre présentent une concordance satisfaisante ; on peut accorder confiance aux chiffres obtenus.

On a employé, dans tous les essais, des zincs cylindriques,

modèle Leclanché : diamètre 10 millimètres, longueur 165 millimètres, poids moyen 90 grammes. Les zincs nus sont en fil tiré au banc ; les amalgamés sont de la même sorte ; on a fait l'amalgamation en plein mercure, après un dégraissage à la potasse et un décapage à l'eau acidulée sulfurique.

Les zincs prennent, dans le mercure, une augmentation de poids d'un demi-gramme environ ; mais on ne peut pas déduire de là le poids du mercure retenu, car le bain amalgamant retient, d'autre part, une quantité de zinc inconnue.

Les zincs en alliage ont les mêmes dimensions ; ils présentent la composition suivante (en poids) :

Zinc.....	96
Mercure.....	4

Ces zincs alliés m'ont été obligeamment préparés par M. Dronier. La fabrication consisté à jeter, dans un poids connu de zinc en fusion, la quantité voulue de mercure, laquelle se répartit instantanément dans toute la masse du zinc ; on coule ensuite l'alliage dans des moules. Certaines précautions sont à prendre pour éviter les projections de métal et les soufflures.

Chaque liquide a été essayé séparément avec trois zincs : un ordinaire nu, un amalgamé et un allié à 4 pour 100.

La quantité de liquide baignant chaque zinc était assez grande (1 litre), pour que l'action ne fût pas interrompue ni trop ralentie avant la fin de l'expérience. Dans les essais qui ont été prolongés pendant plusieurs jours, on a renouvelé le liquide après chaque période de vingt-quatre heures. Les zincs étaient immergés sur une longueur de 10 à 12 centimètres ; surface de contact = 31 à 38 centimètres carrés.

Pour rendre les résultats comparables, on a ramené à l'heure et au centimètre carré le poids perdu par chaque zinc. On a noté la durée de chaque expérience ; circonstance importante, car l'ordre des poids perdus par deux zincs différents s'intervertit parfois quand on prolonge leur séjour dans certains liquides.

Le tableau ci-contre résume les principaux résultats obtenus.

Résultats des expériences faites pour apprécier l'importance de l'attaque locale des zincs diversement préparés, immergés dans divers liquides.

COMPOSITION DES LIQUIDES			DURÉE des expériences.	USURE MOYENNE en milligrammes par heure et par centimètre carré.		
				nu 990	amalg. »	allié »
Eau..... en volume	900	1	990	»	»	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> à 66 degrés..... —	100	72	»	18	2,2	
Eau..... en volume	900	1	639	»	»	
Acide sulfurique <i>au soufre</i> , 66 degrés..... —	100	96	»	0,09	0,1	
Eau..... en volume	900	1	78	»	»	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> <i>préparé à l'huile par le</i> <i>procédé d'Arsonval.</i> .. —	100	3 72	337 »	» 0,2	» 0,27	
Eau..... en volume	900	1	1265	»	»	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> 66 degrés..... —	100	24	»	4	2,7	
Nitrate de soude, grammes par litre...	10	48	»	24	8,7	
Eau..... en volume	900	21	67	0,14	0,76	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> , 66 degrés..... —	100	93 237	» »	0,71 0,61	0,62 0,46	
Sulfate d'ammoniaque, gram. par lit.	50	434	»	0,55	0,40	
Eau..... en poids	1000	24	28	»	»	
Bisulfate de potasse..... —	100	72	»	0,09	0,04	
Eau..... en poids	1000	24	21,7	inappré- ciable.	inappré- ciable.	
Bisulfate de potasse..... —	100	72	»	»	»	
Sulfate d'ammoniaque..... —	50	72	»	»	»	
Eau..... en volume	900	1	1566	1415	»	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> , 66 degrés..... —	100	1 30'	»	»	798	
Sulfate de cuivre, en gram. par litre.	50	1 30'	»	»	»	
Eau..... en poids	1000	24	39	15	19	
Sulfate de cuivre..... —	150	48	»	26	28	
Eau..... en poids	1230	0 30'	2603	»	»	
Bichromate de potasse..... —	200	1 30'	»	634	»	
Acide sulfurique <i>ordinaire</i> , 66 degrés..... —	470	3	»	»	445	
Acide chlorhydrique <i>du commerce</i>		0 15' 24	6555 »	» 61	» 41	
Eau..... en volume	800	1	1519	»	»	
Acide chlorhydrique <i>du</i> <i>commerce</i> —	200	72	»	0,87	0,3	

Les chiffres de ce tableau et l'examen des zincs donnent lieu à quelques observations.

La protection obtenue par le mercure est beaucoup plus grande qu'on ne le croit généralement. Dans certains liquides, l'usure du zinc amalgamé est cinquante fois, cent fois..., dix mille fois moindre que celle du zinc ordinaire.

Le zinc allié au mercure est, en général, meilleur que le zinc amalgamé, *surtout dans les expériences de longue durée*. Sur le zinc amalgamé, la première couche superficielle est riche en mercure; mais, à mesure que l'attaque gagne des couches plus profondes, la proportion de mercure diminue, et aussi la protection obtenue. C'est le contraire qui a lieu avec l'alliage, lequel s'enrichit visiblement en mercure à mesure que son poids diminue. (Il est évident qu'en circuit fermé la supériorité de l'alliage se manifesterait après un temps beaucoup plus court.) Les alliages sont plus cassants que le zinc amalgamé, et ils le deviennent davantage par l'usure, ce qui confirme la précédente observation.

C'est avec raison que l'acide sulfurique au soufre est préféré à l'acide ordinaire; pourtant, quand celui-ci est préparé à l'huile par le procédé d'Arsonval (1), il vaut presque l'acide au soufre, et peut le remplacer très économiquement. L'acide à l'huile, quoique décanté et filtré trois fois sur de l'amiante, retient des corps gras qui d'abord enduisent les zincs et les protègent un peu. Cette protection diminue vite.

(1) Voir le *Formulaire pratique de l'électricien*, par E. Hospitalier; G. Masson, Paris.

Aussi l'usure des zincs *ordinaires* dans l'acide à l'huile s'accélère-t-elle avec rapidité quand on prolonge l'expérience.

La présence de l'acide nitrique libre (dans les mélanges eau acidulée et nitrate de soude) augmente considérablement l'attaque des zincs.

L'addition d'un peu de sulfate d'ammoniaque, dans l'eau acidulée ou dans une dissolution de bisulfate de potasse, atténue beaucoup l'usure des zincs. Je ne sais pas pourquoi.

L'addition du sulfate de cuivre dans l'eau acidulée augmente énormément l'action locale ; le *cloisonnement* du zinc est indispensable dans de pareils mélanges.

L'utilité de l'amalgamation du zinc dans les couples du genre Daniell a été souvent contestée : l'expérience démontre que le mercure réduit la perte de moitié dans une solution de sulfate de cuivre à 150 pour 1000.

Dans le mélange chromique, l'emploi du zinc ordinaire est presque impraticable ; l'usure du zinc amalgamé s'y accélère rapidement. Seul, l'alliage zinc et mercure permettrait un contact longtemps prolongé. Tandis que le zinc amalgamé perd vite son éclat pour prendre une teinte noirâtre, l'alliage devient de plus en plus brillant, jusqu'à usure complète.

Il reste brillant aussi au contact des liqueurs cuivriques.

Dans les autres liquides, les zincs alliés se criblent de piqûres. Ces nombreux petits trous se creusent très profondément dans le mélange nitrique.

L'ensemble de ces observations démontre que les *alliages zinc et mercure* doivent être généralement préférés au zinc

ordinaire et même au zinc amalgamé; leur emploi contribue à l'économie des couples et atténue leur inconstance. Le coût de *zincs alliés*, fabriqués avec des rognures de bonne sorte, serait moindre que celui des zincs amalgamés, dont il faut souvent renouveler la surface avec grande dépense de mercure et de main-d'œuvre.

Aussi faut-il engager les électriciens qui construisent ou emploient des piles primaires, à substituer au zinc amalgamé les alliages solides de zinc et mercure, dont l'emploi présente des avantages très nets.

La Note qu'on vient de lire, publiée pour la première fois dans *l'Électricien* du 1^{er} octobre 1883, a ramené l'attention des spécialistes sur les *zincs alliés*, qui semblaient abandonnés depuis les tentatives de M. J. Duboscq (1870) et de M. Dronier (1878). Les alliages zinc et mercure sont maintenant en expérience à la *Société Générale des Téléphones*, aux *Usines du Creusot*, chez MM. de Branville et C^{ie}, constructeurs de la *pile de Lalande et Chaperon*, etc. M. Radiguet les a adoptés pour ses piles au bichromate de potasse; M. A. Simmen les emploie dans les *piles économiques au vert-de-gris*.

La fabrication des *zincs alliés* présentait autrefois des difficultés, et même certains dangers. Mais j'ai récemment institué des procédés qui, pratiqués en grand par MM. Paul Crochet et C^{ie}, fournissent sans nul inconvénient des zincs homogènes.

Les formes données à ces électrodes fondues ont été étudiées au point de vue d'une meilleure répartition du métal; de sorte que les zincs, de modèles variés, fournis par l'usine Crochet, joignent à la supériorité intrinsèque de la matière l'avantage d'une forme rationnelle procurant une utilisation plus complète.

VASES POREUX ET CLOISONNEMENTS (1).

Il est souvent difficile de réaliser convenablement la séparation des électrolytes liquides dans les appareils électrochimiques, piles ou bains.

La cloison parfaite serait celle qui procurerait une séparation chimique complète, sans être un obstacle au contact physique des électrolytes, et aux réactions utiles du système; elle devrait, de plus, être solide, rester inaltérée par les substances actives et résiduelles, et s'offrir à bas prix, en toutes formes et dimensions.

En l'absence d'une solution complète et générale de ces difficultés, il faut, dans chaque cas particulier, faire choix du moyen le moins défectueux parmi ceux qui ont été essayés ou proposés; il est donc utile de les connaître tous, avec leurs propriétés et leurs défauts. En les passant en revue avec moi, le lecteur que cette question intéresse pourra bénéficier des recherches déjà faites et s'épargner ainsi des tâtonnements longs et coûteux.

(1) Voir *l'Électricien* du 15 décembre 1883, des 1^{er} janvier et 15 mars 1884.

I

CLOISONS ANIMALES

Certains auteurs rapportent que Volta construisit des couples avec un seul métal et deux liquides, séparés par une cloison poreuse ; je n'ai pu retrouver là-dessus aucun document précis. Quoi qu'il en soit, les couples à un seul liquide ont servi exclusivement, pendant près de trente années, aux recherches des physiciens.

C'est en 1829 que Becquerel découvrit le principe fécond des piles constantes à deux liquides. L'idée d'employer des vases poreux, qui nous semble maintenant si naturelle, ne paraît pas lui être venue tout d'abord. Ses deux liquides, baignant chacun une électrode, étaient versés dans deux vases distincts ; ils communiquaient entre eux au moyen d'un siphon garni d'une mèche de coton ou d'absbeste. Quelquefois, les liquides occupaient les deux branches d'un tube en U, et leur contact s'opérait à travers un tampon poreux d'argile mouillée.

Un peu plus tard, Becquerel mit les deux liquides dans un même récipient (*fig. 4*) « divisé en deux compartiments au » moyen d'un diaphragme de baudruche, appliqué soigneusement sur les parois avec du mastic, et dans chacun » desquels on verse une solution de même nature ou de » nature différente (1) ». C'est dans cet appareil que fut

(1) Becquerel et Edmond Becquerel, *Électricité et magnétisme*, t. I, p. 199.

monté le premier couple zinc, sulfate de zinc, cuivre, nitrate de cuivre, prototype de la pile Daniell, qui ne fut inventée que six ans plus tard.

La *baudruche* est une pellicule mince, détachée du péritoine des herbivores ; elle constitue une cloison souple et peu résistante, mais très fragile. Les acides et les alcalis concentrés la détruisent rapidement. On ne peut s'en servir

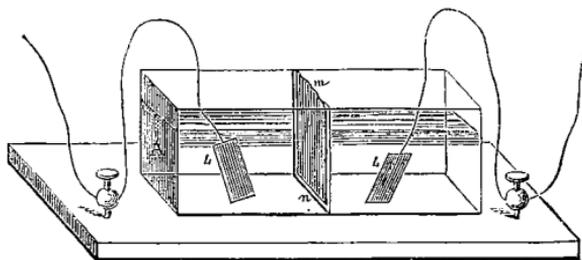


Fig. 4.

COUPLE HISTORIQUE DE BECQUEREL (1829).

qu'avec de grandes précautions, pour séparer des liqueurs à peu près neutres ; aussi son emploi est-il devenu fort rare, même dans le laboratoire.

Un morceau d'intestin de bœuf, fermé inférieurement par un tesson de bois ou de verre ficelé, constitue un vase poreux à peu près cylindrique (1).

La vessie de porc, de bœuf ou de mouton, fournit aussi un vase poreux peu résistant (2). Pour donner de la solidité à ce récipient, on le prépare de la manière suivante : la vessie,

(1) Daniell.

(2) Idem.

coupée aux deux tiers de sa hauteur, est mise à tremper pendant douze heures dans de l'eau tenant en dissolution $12/1000$ d'acide tannique ; on la fixe ensuite par ses bords sur un châssis de bois ciré, au moyen d'une ficelle (1).

Les vases poreux en boyau ou en vessie ont rendu de grands services à la galvanoplastie dans ses débuts ; ils sont peu employés aujourd'hui. Les acides, les alcalis et même les liqueurs neutres les détériorent vite ; hors du liquide, ils se putréfient et deviennent la proie des insectes. D'ailleurs on ne pourrait pas les obtenir en nombre indéfini, ni dans toutes les formes et dimensions voulues.

Avec du cuir de 3 à 5 millimètres d'épaisseur, *tanné à sec et sans apprêt avec des corps gras*, on obtient des vases poreux solides, qui durent longtemps si l'on a soin de les tenir toujours immergés ; mais ils sont coûteux et très résistants.

La peau, chamoisée ou non, est trop perméable aux liquides ; on ne peut l'employer que pour des expériences courtes, avec des électrolytes ayant peu de tendance à s'osmoser.

Les sels d'argent, d'or, de platine, et généralement tous ceux qui sont réduits par les matières organiques, ne doivent pas être mis au contact des diaphragmes de provenance animale.

Les étoffes de laine (flanelle, escot, drap, feutre) ont à peu

(1) Brandely, *Galvanoplastie*, t. I, p. 24.

près les qualités et les défauts des tissus végétaux dont il sera question tout à l'heure; ils s'emploient de la même manière, mais non dans les mêmes circonstances : mieux que le chanvre et le lin, la laine résiste aux acides; mais elle est détruite par les alcalis caustiques.

II

CLOISONS EN MATIÈRES VÉGÉTALES

Le bois mince (de $1/2$ à 3 millimètres d'épaisseur) est médiocrement résistant et sépare assez bien. Avant de l'employer comme diaphragme, il faut le débarrasser de la sève et des matières résineuses par une immersion prolongée dans une lessive caustique bouillante, peu concentrée.

Un cylindre de bois creusé, un roseau, peuvent constituer des vases poreux utilisables dans certains cas.

Pour obtenir des capacités plus grandes, on construit des caisses parallélépipédiques; mais il est difficile de bien ajuster les panneaux, et surtout d'empêcher qu'ils ne gauchissent. Le bois n'est pas un corps homogène; il présente des nœuds, des endroits faibles d'où peuvent partir des fentes qui mettent le vase hors de service.

Le bois est attaqué par l'acide nitrique, et par l'acide sulfurique concentré.

Les toiles de chanvre et de lin très serrées sont des diaphragmes peu résistants. La qualité dite *toile à voile* est d'assez bon usage dans les liqueurs neutres ou modérément

acides ; les alcalis caustiques ne la détruisent que lentement, mais ils lui font subir un *retrait* qui diminue sa surface de moitié. Quand la toile est trop perméable, on peut la doubler ou la tripler.

On fabrique avec de la toile des vases poreux de tous formats. Les coutures doivent être faites avec du fil de chanvre ou de lin, enduit de poix. Si la toile est clouée sur une carcasse de bois, on emploie des clous de cuivre et l'on bitume les joints.

Dans les piles du genre Daniell, la toile finit généralement par s'incruster de cuivre ; il se forme alors des couples locaux parasites qui appauvrissent la liqueur et accroissent rapidement les dépôts métalliques, lesquels finissent souvent par fermer le couple sur lui-même. Cet accident provient de ce que la toile est un peu conductrice ; il faut donc éviter qu'elle ne touche l'une ou l'autre électrode.

Le papier et le carton bitumés (1), le papier *albuminé* (2), ont été jadis employés pour faire des diaphragmes ; on préfère maintenant le *papier parcheminé*.

Il est difficile de coudre ou de coller le papier avec du bitume ou du ciment ; on le cloue sur des châssis de bois, et l'on jointe les assemblages.

M. Carré (1868) a fait, pour une pile au sulfate de cuivre à faible résistance (*fig. 5, 6, 7 et 8*), un vase poreux « en papier d'albumine, chauffé dans une vapeur, à la tempéra-

(1) Becquerel.

(2) F. Carré.

ture de 230 degrés, collé ensuite à la gomme laque, de manière à former un cylindre dont la base est un tesson de

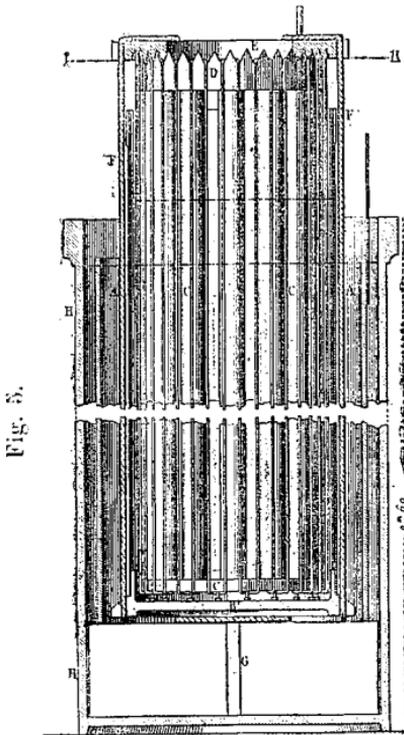


Fig. 5.

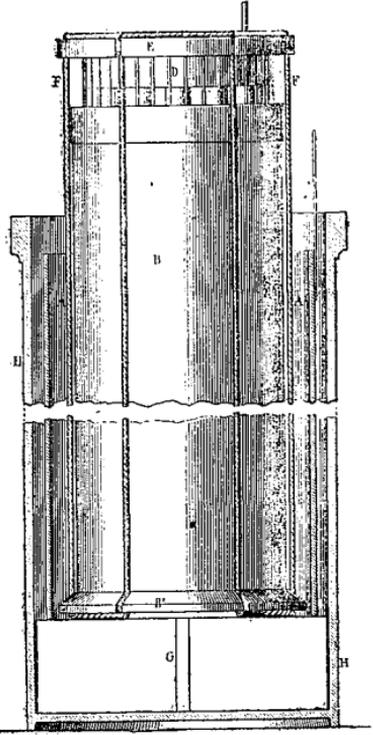


Fig. 6.

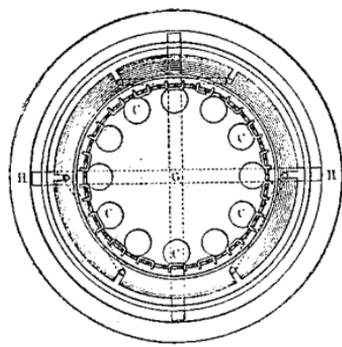


Fig. 7.

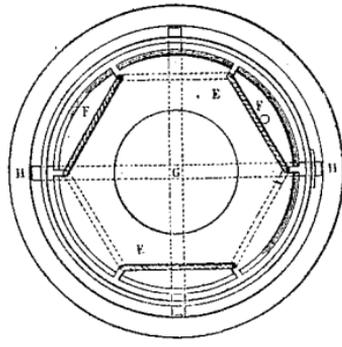


Fig. 8.

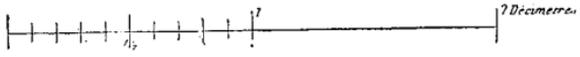


Fig. 5, 6, 7 et 8.
 PILE AU SULFATE DE CUIVRE
 de M. Ferdinand Carré.

Fig. 5. — Section verticale partielle de la pile.

Fig. 6. — Élévation partielle de la même.

Fig. 7. — Section horizontale.

Fig. 8. — Vue en dessus.

A. Cylindre en zinc amalgamé.

B. Diaphragme cylindrique en papier parchemin ou en papier albuminé.

B'. Godet en terre cuite sur lequel est collé le cylindre en papier.

C. Cage cylindrique formée de bâtons verticaux de sapin, assemblés sur un fond de même matière muni de saillies à sa circonférence; ces bâtons sont réunis, dans le haut, à une couronne métallique *D* dont le bord supérieur est denté.

Des fils de cuivre de 0,0008 environ de diamètre, tendus entre les dents de la couronne *D* et les saillies du fond de la cage *C*, forment autour de cette cage un réseau conducteur sur lequel vient se déposer le cuivre revivifié.

E. Disque annulaire recouvrant la couronne métallique *D*.

F. Ficelle goudronnée consolidant le tout, et passant dans des entailles dont sont munis le godet *B'* et le disque *E*.

Les cristaux de sulfate de cuivre sont placés à l'intérieur de la cage *C* et sur toute sa hauteur; il en résulte que la solution est toujours saturée partout, quelle que soit l'activité de la pile.

G. Croisillon supportant le godet *B'* ainsi que le cylindre de zinc *A*; il sert à les isoler de la boue métallique qui tombe au fond, et à préserver le diaphragme en papier des incrustations.

H. Vase extérieur enveloppant l'appareil et recevant la boue.

porcelaine; comme il est fragile, on le soutient par un système de ficelles qui permettent d'enlever le vase poreux et tout ce qu'il contient, quand on veut démonter la pile (1). »

On sait maintenant confectionner des vases poreux en papier, sans collage ni couture; nous y reviendrons.

Avant de quitter les séparations en papier, il faut signaler la disposition ingénieuse adoptée depuis longtemps (2) par M. G. Trouvé dans ses piles humides: ces couples méritent une description spéciale.

(1) Jamin, *Bulletin de la Société d'encouragement*, février, 1869.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 22 décembre 1873.

La figure 9 montre l'un des modèles construits par l'inventeur.

Les électrodes zinc et cuivre, de forme circulaire, sont séparées par de nombreuses rondelles de papier buvard. La moitié inférieure de cette colonne de papier, celle qui est contiguë au cuivre, est fortement imprégnée de sulfate de cuivre, par une immersion dans une solution concentrée et bouillante de ce sel; la moitié supérieure contiguë au zinc est faiblement imprégnée de sulfate de zinc par immersion dans une solution étendue et froide.

L'ensemble est monté sur une tige centrale en laiton, soudée à l'électrode inférieure en cuivre; cette tige, isolée latéralement par une gaine de caoutchouc, traverse toutes les rondelles de papier et l'électrode supérieure en zinc, pour venir se suspendre au centre d'un disque d'ardoise, servant de couvercle au récipient de verre qui renferme le couple.

La tige centrale, filetée à sa partie supérieure, est le pôle positif du couple; une tige latérale, émergeant pareillement du couvercle, est en communication avec l'électrode zinc: c'est le pôle négatif.

Si l'on dessèche la pile, les deux électrodes se trouvent isolées l'une de l'autre, et l'appareil, *inerte quoique chargé*, conserve indéfiniment sa provision de matières actives.

Par une simple exposition à l'air, le papier et les sels qu'il contient s'humectent, le sulfate de zinc surtout, et la pile peut fonctionner. Sa résistance est alors très grande.

Pour la mettre franchement en activité, il suffit de la

tremper dans l'eau, puis de la laisser égoutter dans sa position normale avant de la replacer dans son récipient. Le papier buvard reste imprégné de sulfates dissous, et la pile, quoique ne contenant pas de liquides libres, peut fournir un courant d'intensité suffisante pour les besoins de l'horlogerie électrique ou de la télégraphie.

Enfermée dans un vase de verre, la pile garde longtemps son eau d'imbibition; elle est très constante. Sa durée est fort grande, parce que les sels ne peuvent se mélanger comme dans les couples à liquides libres.

C'est seulement à la surface que les deux sulfates pourraient progresser l'un vers l'autre, véhiculés par l'humidité ambiante; mais l'inventeur a paré à cet inconvénient en disposant ses papiers par rondelles de douze disques chacune, et de deux diamètres alternativement différents, de sorte que la génératrice de la colonne spongieuse est une ligne brisée, infranchissable pour les sels voyageurs.

Quand il s'agit d'une pile de plusieurs couples, il n'est pas nécessaire que chacun d'eux ait un récipient; on en met un certain nombre dans la même boîte, fixés au couvercle commun, en prenant des dispositions convenables pour les couples et les isolements.

Le dispositif Trouvé empêche radicalement la diffusion du sulfate de cuivre du côté zinc, si onéreuse dans les autres formes de la pile Daniell; il est certainement applicable à quelques autres combinaisons voltaïques primaires ou secondaires.

Voici les données de construction relatives au modèle de la figure 9.

Diamètre des électrodes.....	9 centimètres.
Distance entre les électrodes.....	5 —
Cet espace est rempli par.....	12 disques.
Les disques sont composés chacun de.....	25 papiers.
Soit en tout.....	300 —
Poids du sulfate de cuivre occlus ($\text{SO}^4\text{Cu}, 5 \text{HO}$)....	300 grammes.
Poids du sulfate de zinc occlus ($\text{SO}^4\text{Zn}, 7 \text{HO}$).....	20 —

300 grammes de sulfate de cuivre correspondraient théoriquement à une émission totale de 235 000 coulombs; mais la

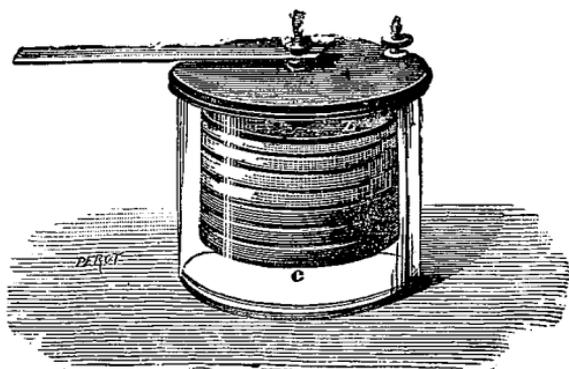


Fig. 9.

PILE HUMIDE DE M. TROUVÉ (*Trouvé*).

pile est pratiquement épuisée avant d'avoir fourni cette quantité. Son débit étant faible, elle peut travailler continuellement pendant plusieurs mois; en service intermittent, on l'a vu fonctionner deux années. Le papier dure aussi longtemps que l'électrode zinc; on le remplace en même temps qu'elle.

En allongeant la pile, on accroît à la fois sa capacité de travail et sa résistance; en l'élargissant, on n'accroît que sa capacité et l'on diminue sa résistance.

La résistance n'a été mesurée sur aucun modèle; on sait

pourtant qu'elle est plus grande que celle des piles à liquides libres de dimensions correspondantes.

La f. e. m. doit être environ 1,068 volt. D'après mes récentes mesures sur la f. e. m. des couples Daniell (1), il y aurait avantage à remplacer le zinc ordinaire par du zinc amalgamé, et le sulfate de zinc par du sel marin: la f. e. m. monterait vers 1,145 volt.

La pile Trouvé est assez connue dans la forme qui vient d'être décrite, car l'inventeur l'a répandue à un grand nombre d'exemplaires et en trois ou quatre formats, pour l'horlogerie électrique, la télégraphie militaire et les usages médicaux.

Mais il existe une autre forme de pile humide, plus simple et, à mon avis, plus intéressante, qui mérite d'être décrite. C'est celle représentée figure 10.

Ici, chaque couple se compose simplement d'un tube de verre rempli de rondelles de papier buvard imprégnées comme il a été dit, et de deux disques, l'un de cuivre, l'autre de zinc, placés aux deux bouts de la colonne de papier. Le tube est fermé à chacune de ses extrémités par un bouchon de liège que traverse un fil de cuivre soudé à la rondelle correspondante.

Les dimensions de ces couples sont variables; ceux que j'ai vus ont 1 centimètre de diamètre intérieur et 10 centimètres de longueur; demandés en grand nombre, ils seraient obtenus au prix de 0 fr. 25 l'un.

On pourrait, dans un espace restreint, monter un grand

(1) Voir p. 60.

nombre de ces couples, pour former une pile de haute tension, très bien isolée, constante, durable et d'un prix modique. La meilleure manière de la monter serait peut-être de suspendre les éléments verticalement, à des cadres horizontaux. Mais pour la commodité du transport et de l'usage,

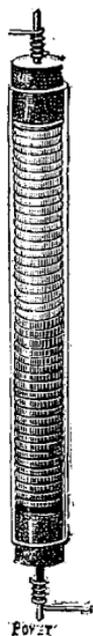


Fig. 10.

PILE HUMIDE
DE M. TROUVE
modèle tubulaire

(Trouvé.)

M. Trouvé préfère les caser par groupes dans des boîtes maniables. La figure 11 représente le projet d'une pile humide de 500 couples ainsi montée. La caisse aurait environ 80 centimètres de longueur et 20 de largeur.

On sait l'intérêt que présentent les batteries de tension pour l'étude de l'électricité à haut potentiel. Mais le montage d'une pile d'un grand nombre de couples est si coûteux, l'isolement en est si difficile, que peu de physiciens ont pu jusqu'à présent s'offrir une batterie de plusieurs milliers de volts ;

on cite M. Gassiot avec ses couples zinc, platine, eau, et M. Warren de La Rue avec ses piles au chlorure d'argent (1).

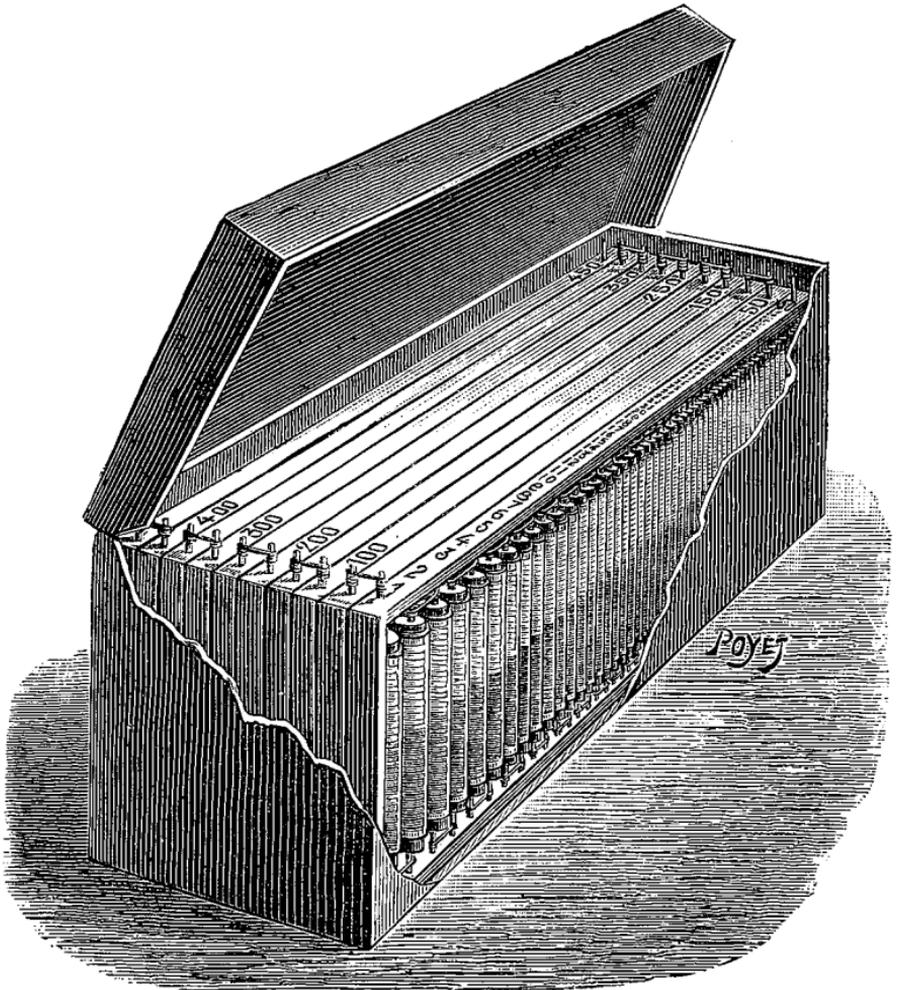


Fig. 11.

BATTERIE HUMIDE DE M. TROUVÉ
composée de 500 couples tubulaires (*Trouvé*).

N. B. — C'est par erreur que les couples sont représentés tous, le pôle positif en bas; le couplage en tension exige le retournement alternatif des éléments.

(1) La batterie secondaire de 800 couples avec laquelle M. Gaston

Grâce aux couples tubulaires, les hauts potentiels pourraient être étudiés commodément par les électriciens moins fortunés, et recevoir peut-être des applications pratiques.

C'est surtout à ce point de vue que je voulais signaler la pile humide de M. Trouvé dans sa forme simple, la plus économique et la moins connue.

III

CLOISONS EN SUBSTANCES MINÉRALES

L'argile, le kaolin, le sable, le grès et généralement toute substance pulvérulente non attaquée par les liquides à séparer, peuvent, à l'état de couches plus ou moins épaisses, de tampons plus ou moins serrés, fonctionner comme diaphragmes poreux, dans des cas restreints. Généralement, les cloisons doivent être solides et affecter une forme de récipient.

L'*amiante* résiste à l'acide nitrique concentré. On fait maintenant du papier et du carton en amiante presque pur. La fabrication de ces feuilles est en progrès continu; il convient de ne pas les perdre de vue, car elles pourront s'offrir un jour comme d'utiles matériaux pour la construction des cloisons perméables.

Planté exécute ses magnifiques expériences ne doit pas entrer en ligne ici, car elle donne des effets de *quantité* qui ne pourraient être obtenus avec les piles très résistantes de M. Trouvé.

Le *plâtre* a l'avantage de se prêter économiquement à la confection des vases de toutes formes; malheureusement il est peu perméable, très résistant, et se délaye dans la plupart des liqueurs, notamment dans celles qui contiennent de l'acide sulfurique libre.

Les *céramiques poreuses*, telles que la terre de pipe, la terre à alcarazas, les creusets, donnent des vases poreux qui résistent aux acides, même concentrés. Mais on emploie surtout maintenant les vases poreux cylindriques en porcelaine incomplètement cuite, qu'on trouve dans le commerce abondamment et à bas prix, en toutes capacités, depuis 0,05 litre jusqu'à 2 litres. Les dimensions supérieures et les formes autres que la cylindrique sont obtenues plus difficilement, avec moins de régularité.

Les vases en porcelaine dégourdie ont le défaut d'être trop résistants; les grands le sont proportionnellement plus que les petits, parce qu'on est obligé de donner plus d'épaisseur à leurs parois. Il en résulte qu'à dimensions égales, un grand couple de Daniell, par exemple, sera de trois à six fois plus résistant avec un vase poreux de porcelaine qu'avec un vase de papier modèle Carré. Un autre défaut, moins grave, des vases de porcelaine, est de s'incruster de cuivre; mais l'action est lente et le remplacement du vase peu coûteux, quand il est petit.

Malgré leur résistance trop grande, les vases poreux en porcelaine dégourdie sont presque exclusivement employés aujourd'hui dans les piles électriques à liqueurs acides ou

neutres. Les acides sulfurique ou nitrique, l'eau régale, ne les attaquent point.

Les alcalis caustiques, au contraire, les altèrent assez vite.

Dans la pile zinc, soude, cuivre, sulfate de cuivre, l'attaque de la porcelaine par la soude, et la cristallisation interne du sulfate de soude, détruisent les vases poreux en quelques heures. Ces accidents ont nécessité l'invention des vases poreux en septums souples, sans assemblage, dont il va maintenant être question.

IV

VASES POREUX QUASI-PRISMATIQUES PROFONDS, EN PAPIER PARCHEMINÉ, FORMÉS SANS ASSEMBLAGE

On appelle *papier parcheminé* ou *parchemin végétal* du papier qui a pris l'aspect et la consistance du parchemin animal, au moyen d'un traitement par l'acide sulfurique.

Le papier à traiter doit être composé de cellulose presque pure (tel le papier Berzélius, qui laisse très peu de cendres), et exempt d'encollage. On le plonge pendant une demi-minute environ dans de l'acide sulfurique à 66 degrés étendu d'un demi-volume d'eau; puis on le rince aussitôt à plusieurs eaux.

Le papier parchemin a été inventé, en 1846, par MM. Poulmarède et Figuier (1). Gaine et Hoffmann ont étudié après eux la fabrication de ce produit, et Neumann, chimiste al-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIII, p. 918.

lemand, vint en installer une fabrique à Saint-Denis (Seine), en 1860.

Mais le parchemin végétal ne commença à devenir un produit industriel important qu'à dater de 1863, époque où notre compatriote Dubrunfaut inventa l'*osmogène*. Le parchemin de Neumann était alors bien imparfait, et Dubrunfaut dut travailler à son amélioration.

« En suivant les conseils continus de M. Dubrunfaut, dit M. Hippolyte Leplay, M. Neumann perfectionna peu à peu sa fabrication, et dès 1868 il livrait, pour l'osmose en activité dans une dizaine de sucreries, du papier parchemin dont les défauts avaient à peu près complètement disparu.

« M. Neumann continua de fournir exclusivement le papier parchemin dans toutes les sucreries de France et de Belgique, où les osmogènes Dubrunfaut furent installés, jusqu'à la fin de l'année 1870, où sa fabrication fut détruite par le siège de Paris.

« M. Neumann porta alors son industrie en Belgique, et la fabrication du papier parchemin fut installée dans la papeterie de la Société de Mont Saint-Guibert, qui jusqu'en 1876 a alimenté exclusivement tous les osmogènes Dubrunfaut répandus de plus en plus dans la fabrication du sucre de betterave, particulièrement en France, en Belgique, en Hollande.

« Depuis cette époque, il s'est formé en Belgique, en Allemagne et en Autriche, avec le développement de l'osmose, de nouvelles fabriques de ce papier.

« En France, où est née l'osmose, une seule maison, MM. Bécoulet et Cie, se livre à cette fabrication et y a atteint rapidement le plus grand degré de perfection.

« Le papier parchemin a l'aspect, la couleur, la translucidité du parchemin animal. Il est comme lui tantôt corné, tantôt fibreux et très cohérent; on peut le plier plusieurs fois en sens inverse sans le briser; sa résistance à la rupture est cinq fois plus forte que celle du papier et les $\frac{2}{3}$ de celle du parchemin animal. Il est très hygrométrique et gagne en souplesse et en ténacité par l'absorption de l'humidité; plongé dans l'eau, il devient mou et gras au toucher; l'eau ne filtre pas à travers; il est imputrescible.

« La feuille de papier parchemin, telle qu'elle est livrée par le fabricant pour l'osmogène Dubrunfaut de 50 cadres, a les dimensions suivantes :

Longueur.....	mètre.
Largeur.....	1,00
	0,64

elle pèse 97^{gr}, 50.

« Desséchée à 100 degrés pendant vingt-quatre heures, elle perd en eau 11^{gr}, 20; par conséquent, à l'état sec, elle pèse 86^{gr}, 30. La feuille de papier parchemin séchée à 100 degrés et pesant à l'état sec 86^{gr}, 30, plongée dans l'eau froide pendant cinq minutes, et ensuite mise entre des doubles de papier buvard pour enlever l'eau de la surface, pèse 132^{gr}, 5. Elle a donc absorbé en eau 132,50 — 86,30 = 46,20 grammes, soit 54,6 pour 100.

« En absorbant cette quantité d'eau, la feuille de papier par-

chemin augmente de volume dans les proportions suivantes :

	mètre.
Sa longueur, qui était de 1 mètre, devient.....	1,04
Sa largeur, qui était de 64 centimètres, devient.	0,67

« Le papier parcheminé pour osmogènes est livré par les fabricants en feuilles de dimensions semblables à celles des cadres composant l'osmogène (1) ».

On l'obtient aussi en rouleaux de longueur indéfinie, de largeurs et épaisseurs variées.

Le papier parchemin s'offre ainsi à la fabrication des vases poreux, comme un septum d'excellente qualité, commode, abondant et économique.

J'ai réussi à rendre son emploi très pratique par un procédé de pliage qui permet d'obtenir, sans assemblage, des capacités à peu près prismatiques, avec les feuilles et les rouleaux du commerce.

Le procédé est simple :

Soit à obtenir un vase poreux de base et hauteur déterminées (*fig. 12*).

Le calibre de la feuille de papier est d'abord obtenu de la manière suivante : sur une feuille plane de bois ou de métal, on trace la base du vase, puis on mène des parallèles à chacun des côtés de ce polygone, à une distance égale à la hauteur du vase; ces parallèles forment un polygone semblable à celui de la base, mais beaucoup plus grand. C'est

(1) *L'Osmose et l'Osmogène Dubrunfaut dans la fabrication et le raffinage des sucres*, par Hippolyte Leplay. Paris, bureaux de la Sucrierie indigène, mai 1883.

le développement géométrique du récipient. On découpe ce grand polygone, qui est le calibre du papier — et en son milieu, on évide le petit polygone de la base, ou bien on perce des trous correspondant à ses sommets.



Fig. 12.

VASE POREUX EN PAPIER PARCHEMINÉ

modèle rectangulaire (*Reynier*).

Le calibre étant posé sur la pièce de papier, on trace le contour extérieur que l'on découpe — et l'on marque le polygone de la base (*fig. 13*).

D'autre part, on a préparé un solide en bois, ayant extérieurement les dimensions intérieures du récipient à construire, mais un peu plus haut : c'est le *calibre* du vase poreux. Sur la feuille de papier découpée tout à l'heure, on pose, debout, le calibre de bois, en appliquant sa base sur le polygone central; puis on relève le papier tout autour, de manière à appliquer sur les quatre faces verticales du calibre, les panneaux 1, 2, 3, 4 (*fig. 13*); on les y maintient au besoin à l'aide de pièces de bois posées à cheval sur le septum.

Ce qui reste de papier forme alors quatre cornes saillantes, dont on marque les plis diagonaux. Ces cornes doivent en-

suite disparaître en plis superposés, qui couvrent une face du vase sur deux (*fig. 12*), ou bien on les fait tourner autour du récipient (*fig. 14*).

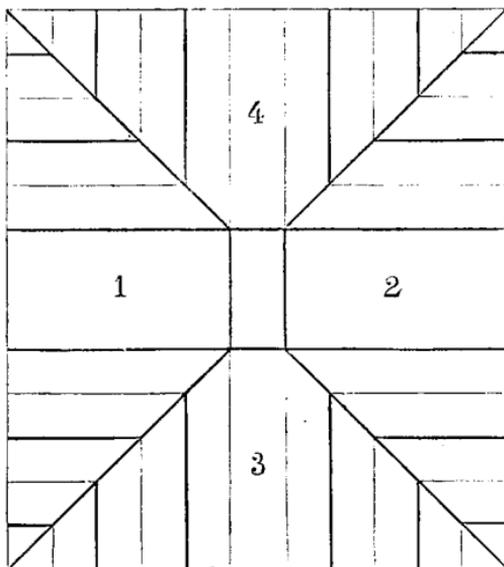


Fig. 13.

DÉVELOPPEMENT DU VASE POREUX (*fig. 12*).

Le vase étant ainsi formé, on marque fortement tous les plis en passant les mains sur les angles et sur les faces du calibre.

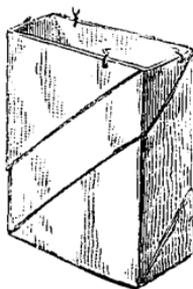


Fig. 14.

VASE POREUX

modèle rectangulaire, pliage tournant (*Reynier*).

Il est bon de mouiller préalablement le parchemiu et de le

laisser sécher sur le moule, en l'y retenant par des jarretières de caoutchouc. Le papier, élargi par l'eau, *retraite* en séchant et se tend sur le calibre, dont il épouse exactement la forme. Le moule doit avoir de la *dépouille* (c'est-à-dire être de forme pyramidale, un peu plus large à la partie supérieure qu'à la base) pour faciliter le démoulage.

Quand le calibre est retiré du vase, on arrête tous les plis par des agrafages ou des coutures pratiquées sur les bords.

Ce procédé est applicable à la fabrication de vases poreux prismatiques de diverses formes. Les figures 15 et 17 montrent deux vases poreux octogonaux, obtenus de la même manière : le vase figure 15 est à plis alternés et superposés, son développement est indiqué figure 16; le vase figure 17 est à plis tournants.

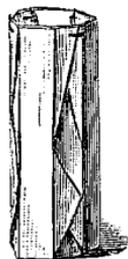


Fig. 15.

VASE POREUX EN PAPIER PARCHEMINÉ
modèle octogonal (*Reynier*).

Tout vase dont le développement peut tenir dans les rouleaux de papier du commerce est faisable par les moyens indiqués; mais il faut remarquer que la quantité de papier à dépenser en plis augmente beaucoup plus que la hauteur

du vase, de sorte que le système est d'un emploi plus avantageux pour les prismes, dont la hauteur n'est pas très grande relativement à la base.

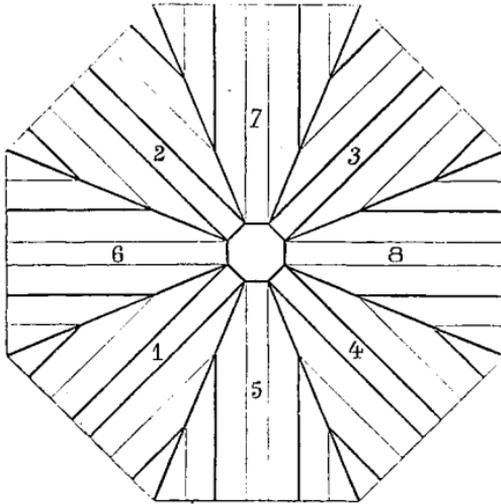


Fig. 16.

DÉVELOPPEMENT DU VASE POREUX (*fig. 15*).

Il ne faut pas croire, pourtant, que tout le papier compris en dehors du développement géométrique du vase soit nui-



Fig. 17.

VASE POREUX

modèle octogonal, pliage tournant (*Reynier*).

sible, ni même inutile; les expériences que j'ai faites avec

mes piles zinc, soude, cuivre, sulfate de cuivre (1), montrent que les surfaces repliées sont actives.

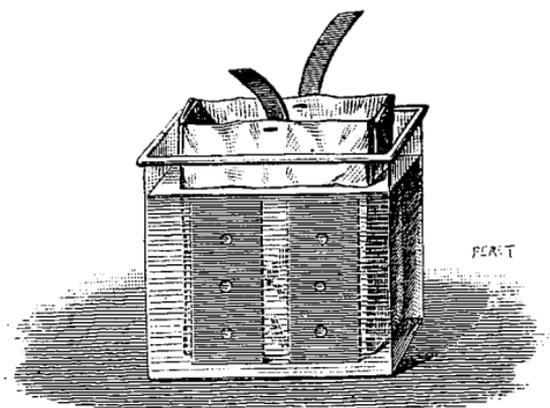


Fig. 18.

ANCIENNE PILE REYNIER

Zinc amalgamé, soude, cuivre, solution acidulée de sulfate de cuivre.	
Hauteur.....	0 ^m ,20
Capacité.....	3 litres.
Force électromotrice.....	1,47 volt.
Résistance.....	0,07 ohm.

Cette pile était montée comme l'indique la figure 18 : le zinc

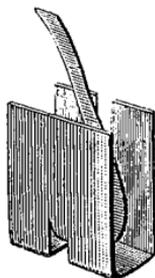


Fig. 19.

ÉLECTRODE ZINC.

(fig. 19) à l'intérieur du vase poreux contenant la dissolution

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 28 juin 1880.

de soude caustique, le cuivre (*fig. 20*) dans le vase extérieur, renfermant la dissolution de sulfate de cuivre acidulée. Dans ces conditions, il semble que les actions voltaïques devraient se propager presque exclusivement par les grandes faces du vase poreux, et je les avais d'abord laissées libres, en accumulant les plis sur les petites faces. Plus tard, j'essayai de

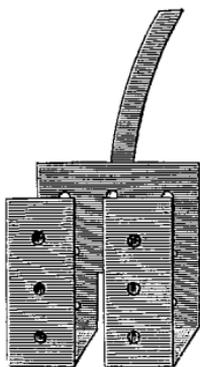


Fig. 20.

ÉLECTRODE CUIVRE.

couvrir d'un vernis imperméable tous ces plis superposés, mais la résistance de la pile en fut notablement augmentée : ce fait démontra que les surfaces repliées fonctionnent utilement.

Voici une autre expérience prouvant qu'une surface plissée présente une résistance moins grande qu'une surface simple.

On a monté deux piles du modèle figure 18, l'une avec un vase poreux en toile de chanvre pliée comme l'indiquent les figures 12. et 13, l'autre en toile *cousue* sans pli : le premier couple était beaucoup moins résistant que le second.

Ces expériences indiquent qu'il est au moins inutile de s'appliquer à laisser lisses certaines faces du vase poreux. Dans les couples dont les deux liquides réagissent utilement l'un sur l'autre, le pliage tournant des figures 14 et 17 est à la

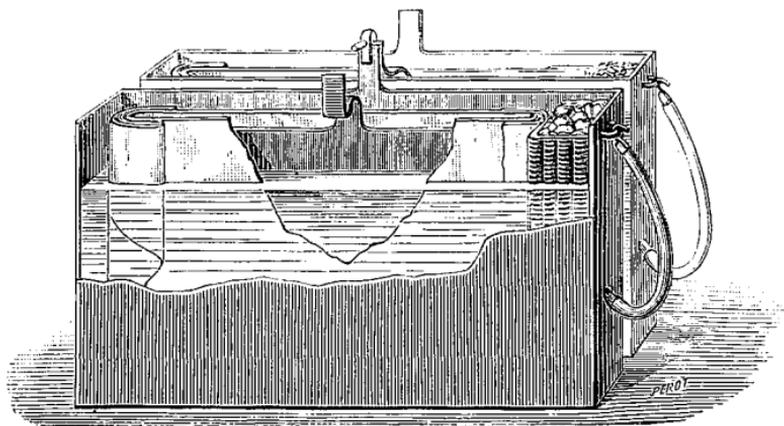


Fig. 21.

PILE AU SULFATE DE CUIVRE
à zinc cloisonné.

Longueur extérieure.....	0 ^m ,44
Largeur.....	0 ^m ,05
Hauteur.....	0 ^m ,22
Force électromotrice.....	1,05 volt
Résistance.....	0,15 ohm

fois plus commode et plus solide que le pliage alterné des figures 12 et 15.

Avant de quitter ce genre de récipients perméables, je dois signaler un cas particulier intéressant : celui d'un vase à base rectangulaire de largeur très petite. La capacité d'un tel vase poreux est presque nulle ; l'électrode le remplit à peu près. J'ai donné à ce genre de récipient très étroit le nom de *cloisonnement*.

On voit dans la pile figure 21 un zinc ainsi *cloisonné*. Le vase-cloisonnement est formé en pliant le papier directement sur l'électrode, celle-ci tenant lieu de calibre et restant à demeure dans le vase formé sur elle. Les pliages sont les mêmes que ceux indiqués figure 12, à cette différence près qu'on

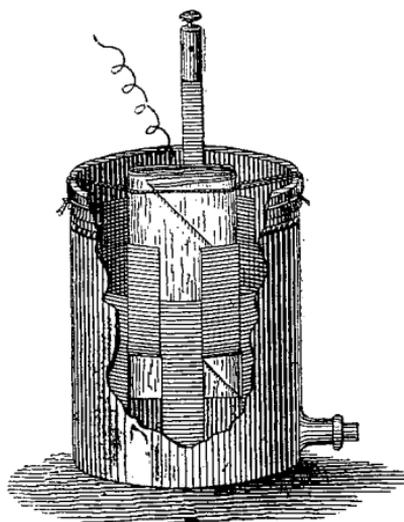


Fig. 22.

PILE AU SULFATE DE CUIVRE
à zinc cloisonné, électrode cuivre ajourée.

fait déborder les plis de chaque côté de l'électrode en manière de bourrelet, à cause de l'étroitesse des panneaux 3 et 4 du développement. On peut aussi adopter un pliage tournant, analogue à celui de la figure 14.

Dans certaines combinaisons voltaïques à deux liquides où le zinc plonge dans une solution de sel de zinc, l'emploi des électrodes négatives cloisonnées permet de réduire le service de la pile au renouvellement d'un seul liquide.

La pile se réduit alors à un récipient contenant le liquide positif, et dans lequel plongent, côte à côte, l'électrode positive et l'électrode négative cloisonnée. La petite quantité de liquide emprisonnée sur le zinc par le cloisonnement est bientôt chargée de sel de zinc; la pile fonctionne comme un

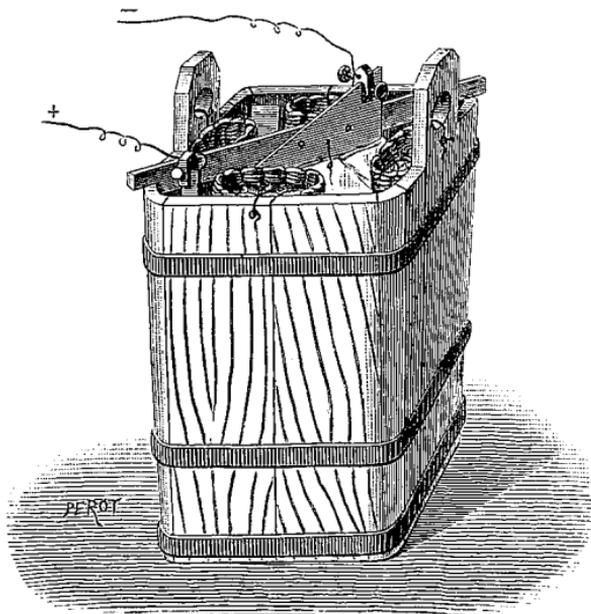


Fig. 23.

PILE AU SULFATE DE CUIVRE

à zinc cloisonné, modèle à récipient de bois cerclé, façon tonnellerie (*Simmen*).

Hauteur totale.....	0 ^m ,50
Longueur et largeur maxima.....	0 ^m ,32
Contenance.....	17 litres
Force électromotrice.....	1,05 volt
Résistance.....	0,07 ohm

couple à deux liquides, l'excès de sel étant éliminé, à mesure de sa production, par une action d'*osmose* dont le courant électrique règle automatiquement l'intensité.

Le cloisonnement du négatif est applicable à divers couples. Je l'ai employé avec succès dans la combinaison zinc, sulfate de zinc — cuivre, sulfate de cuivre : la pile se composait simplement d'un zinc cloisonné et d'un vase de cuivre dont le fond était intérieurement garni d'un plancher de bois. La figure 21 montre comment la pile était agencée pour

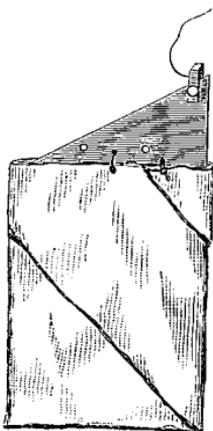


Fig. 24.

ZINC AMALGAMÉ *cloisonné*
appartenant à la pile fig. 23 (Simmen).

le renouvellement quotidien du liquide (eau et sulfate de cuivre en cristaux) (1).

Les figures 22 et 23 montrent deux autres modèles de pile au sulfate de cuivre; le cloisonnement du zinc y est fait à pliage tournant. Le modèle figure 23 convient bien aux travaux qui réclament un courant constant et ininterrompu : telles les opérations électrochimiques, la *formation* et la *charge* des accumulateurs.

(1) Voir *la Nature*, du 1^{er} avril 1882.

En remplaçant le sulfate de cuivre cristallisé ordinaire par le sulfate impur, appelé le *vert-de-gris des doreurs* (résidu de décapage abondant à Paris), j'ai rendu ces piles plus économiques que toutes les autres (1).

Dans les piles au bichromate de potasse, il serait fort utile de cloisonner le zinc ; mais je n'ai pu trouver aucune cloison souple qui résistât à l'action oxydante du mélange chromique : pas même les cartons d'amiante ni les tissus de crin pur.

La variété des formats et épaisseurs du papier parchemin offre de grandes ressources à la fabrication des vases poreux et des cloisonnements ; la faculté qu'on a de superposer deux ou plusieurs épaisseurs de papier permet en outre de modifier leur perméabilité. Deux feuilles minces superposées n'offrent pas plus de résistance qu'un seul papier d'épaisseur double, et protègent mieux les deux liqueurs contre leurs réactions locales parasites.

Cette observation s'appliquera aux vases en papier, d'un genre différent, qui vont être décrits dans le chapitre suivant.

(1) Voir p. 77.

V

VASES POREUX ET CLOISONNEMENTS DE FORME POINTUE.

Les vases poreux quasi prismatiques peuvent être fabriqués rapidement en quantités importantes, et livrés à bas prix ; mais pour les expériences de laboratoire, leur construction réclame un outillage qui pourrait embarrasser les

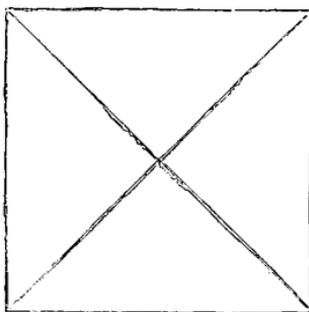


Fig. 25.

DÉVELOPPEMENT DU DOUBLE VASE POREUX (*fig. 26*).

expérimentateurs. Voici un procédé plus simple, pour obtenir des vases poreux sans assemblage, de formes moins commodes — mais susceptibles pourtant d'être utilisés.

Une feuille de papier carrée (*fig. 25*), pliée en quatre selon ses deux diagonales, donne une paire de vases poreux triangulaires communicants (vue de profil, *fig. 26*).

Ce double vase s'emploie de diverses manières. Les deux poches peuvent recevoir deux électrodes de même nom, en regard de chacune desquelles on place, dans le liquide exté-

rieur, deux électrodes du nom contraire. Il est bon d'attacher ensemble les deux cornes du double vase, pour l'empêcher de bâiller.

On peut aussi fixer ensemble, par leur bord supérieur, trois parois, en laissant la quatrième libre, comme on le fait pour les filtres de la même forme. Le vase poreux n'a plus alors qu'un seul compartiment à deux parois, dont l'une est plus perméable que l'autre.

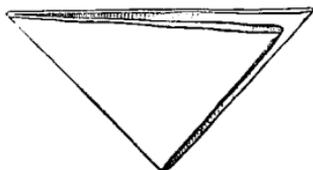


Fig. 26.

PAIRE DE VASES POREUX COMMUNIQUANTS

obtenue avec une feuille de papier carrée, pliée en quatre, suivant ses deux diagonales.

Ces vases poreux de forme pointue n'ont pas une capacité fixe ; leurs parois très mobiles obéissent à la résultante des pressions qu'elles subissent à l'intérieur et à l'extérieur — et la capacité se règle automatiquement, de manière que les niveaux des deux liquides soient ceux qui correspondent à leur mutuel équilibre. Si l'on met peu ou point de liquide à l'intérieur, le vase s'aplatit ; si l'on en met beaucoup, il s'ouvre : il peut donc fonctionner comme cloisonnement, aussi bien que comme vase poreux proprement dit.

Le vase devra être soutenu dans le liquide pour que sa pointe ne touche pas le fond ; il est bon de consolider cette pointe fragile par un mastic.

Le vase poreux double, plié en deux selon la bissectrice de l'angle droit, devient un récipient quadruple.

En repliant un peu les deux cornes supérieures et la pointe, le vase prend une forme tronquée qui le rapproche de la forme rectangulaire.

La souplesse de ces vases permet de les rouler et de les contourner de diverses façons, selon le besoin.

Il est surprenant que les propriétés de cet objet si simple et si familier : une feuille de papier pliée en quatre, n'aient pas été plus tôt aperçues et utilisées pour la confection des vases poreux.

Tels sont les principaux *Vases poreux et cloisonnements* connus.

D'importantes questions se rattachent à celle de la confection des cloisons perméables : par exemple, les capacités relatives à donner aux compartiments d'une pile, l'utilité des séparations dans les opérations électrolytiques, le rôle des cloisonnements dans les accumulateurs, etc. Mais ces questions diverses réclameraient une étude spéciale pour chaque cas particulier. J'ai dû les laisser de côté dans cette étude générale, et borner mon travail à la revue des moyens matériels employés pour séparer les électrolytes liquides dans les appareils d'analyse ou de synthèse électrique.

SUR LA FORCE ÉLECTROMOTRICE
DES PILES DU GENRE DANIELL (1).

Il est d'usage de comprendre dans la désignation générale de piles Daniell tous les couples à deux liquides qui réduisent du cuivre sur leur électrode positive.

Ces piles sont constantes ; avant l'adoption du système C. G. S., on les a souvent employées comme unité de force électromotrice.

Pour traduire en volts les mesures ainsi obtenues, il faut connaître le montage du couple type, car la f. e. m. d'une pile Daniell varie avec la composition des liqueurs et avec l'état du zinc.

J'ai expérimenté, en les combinant deux à deux, les liquides suivants :

Dans le compartiment cuivre :

1^o Dissolution de sulfate de cuivre, saturée ;

2^o Dissolution de sulfate de cuivre, acidulée par l'addition de $\frac{1}{20}$ (en volume) d'acide sulfurique monohydraté.

Dans le compartiment zinc :

1^o Dissolution de sulfate de zinc, 500 parties de sel (en poids) pour 1000 d'eau ;

(1) *L'Électricien*, du 1^{er} mars 1884.

2° Dissolution de sulfate de zinc, acidulée à $\frac{1}{20}$ par l'acide sulfurique ;

3° Dissolution de sel marin, 200 parties de sel (en poids) pour 1000 d'eau ;

4° Dissolution de sel marin, acidulée à $\frac{1}{20}$ par l'acide sulfurique ;

5° Eau acidulée sulfurique à $\frac{1}{20}$ (en volume).

J'ai mesuré aussi des couples à *zinc cloisonné*, cette électrode étant simplement plongée dans la liqueur cuivrique avec son cloisonnement de papier parcheminé (*fig. 27*) (1).

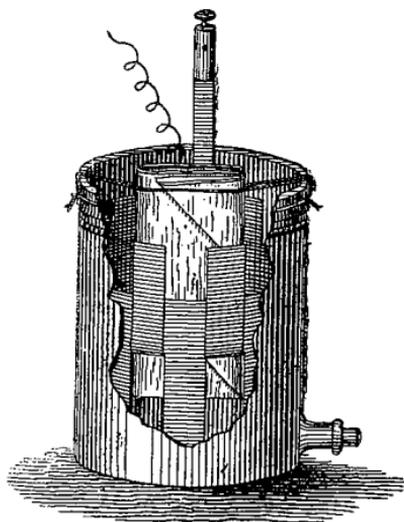


Fig. 27.

PILE AU SULFATE DE CUIVRE
à zinc cloisonné.

(1) Voir p. 51.

Chaque pile a été expérimentée successivement avec un zinc ordinaire et un zinc amalgamé. J'ai composé ainsi 22 couples différents.

On aurait pu varier davantage les combinaisons de liquides, notamment en substituant aux sulfates de cuivre et de zinc d'autres sels de ces métaux, tels que les nitrates, les chlorures, etc.; mais il fallait borner ce travail. Les 22 combinaisons voltaïques étudiées sont les plus usitées; leurs forces électromotrices sont enregistrées dans le tableau ci-contre.

Sur la force électromotrice des piles du genre Daniell.

LIQUIDES		FORCES Électromotrices	
COMPARTIMENT CUIVRE	COMPARTIMENT ZINC	ZINC amalgamé	ZINC ordinaire
Solut. de sulf. de cuiv. saturée.	Solution de sulfate de zinc.	volt 1,079	volt 1,068
— — —	— — — acidulée.	1,105	1,06
— — — acidulée.	— — — sulfate de zinc.	1,03	1,025
— — —	— — — acidulée.	1,066	1,03
Solut. de sulf. de cuiv. saturée.	Solution de sel marin.	1,145	1,14
— — — acidulée.	— — —	1,115	1,09
— — —	— — — acidulée.	1,125	1,03
Solut. de sulf. de cuiv. saturée.	Eau acidulée sulfurique. . .	1,134	1,05
— — — acidulée.	— — —	1,119	1,027
Solut. de sulf. de cuiv. saturée.	<i>Cloisonnement.</i>	1,10	1,04
— — — acidulée.	<i>Cloisonnement.</i>	1,05	1, »

Le zinc amalgamé donne toujours des chiffres moins variables que le zinc ordinaire : fait depuis longtemps reconnu par

le *Post-Office* de Londres, qui prescrit l'amalgamation du zinc dans ses étalons. Le mercure procure, presque partout, une surélévation de force électromotrice et diminue considérablement les actions locales parasites (1). Il est donc avantageux, à tous les points de vue, de toujours amalgamer le zinc, dans les piles du genre Daniell comme dans les autres.

Les mesures ont été prises peu de temps après le montage des couples.

Dans la première combinaison du tableau, la f. e. m. demeure à peu près fixe : c'est à bon droit que le *Post-Office* a choisi cette combinaison comme étalon.

Les autres couples varient après quelque temps de montage, surtout ceux qui sont acidulés d'un seul côté, et les piles à *cloisonnement*.

Plusieurs de mes chiffres sont en désaccord avec ceux qu'on attribue à Poggendorff, Joule, Regnault, Wiedemann ; ces divergences doivent en partie provenir d'erreurs ou de malentendus commis dans le choix des coefficients adoptés pour la traduction *en volts* des résultats obtenus par ces physiciens. Il y a des écarts allant jusqu'à 12 pour 100 dans les valeurs des forces électromotrices, entre des combinaisons en apparence si peu différentes, que certains expérimentateurs ont pu, *à priori*, se croire autorisés à les adopter

(1) Voir p. 20.

indifféremment comme unité ; d'où une incertitude assez grande sur les valeurs des f. e. m. exprimées en daniells, quand le couple-type n'est pas exactement défini.

Il est donc utile de reviser, par des mesures directes, les résultats des expériences anciennes : mon travail a pour but de contribuer à cette revision.

TABLEAU DES ÉQUIVALENTS ÉLECTROCHIMIQUES

POUR SERVIR AUX CALCULS RELATIFS AUX ANALYSES
OU AUX SYNTHÈSES
OPÉRÉES PAR PROCÉDÉS ÉLECTRIQUES.

Pour faire usage des chiffres contenus dans ce *Tableau*, il faut se rappeler les faits et les définitions suivants :

I. — Quand un courant électrique traverse un composé chimique, à l'état liquide ou à l'état dissous, il le résout en deux composants, simples ou complexes : l'un se porte au pôle positif, l'autre au pôle négatif.

L'acte de la décomposition par le passage du courant s'appelle *électrolyse* ou *électrolytation* ;

Le corps décomposé s'appelle *électrolyte* ;

Les deux conducteurs plongés dans l'électrolyte sont des *électrodes* ;

L'électrode reliée au pôle positif de la source électrique s'appelle *électrode positive* ou *anode* ; l'électrode reliée au pôle négatif s'appelle *électrode négative* ou *cathode* ;

Les produits de la décomposition sont les *ions* ;

L'ion qui va à l'anode s'appelle *anion* ; l'ion qui va à la cathode s'appelle *cation*.

II. — Les ions peuvent réagir sur les électrodes ou sur l'électrolyte : alors ils apparaissent à l'état de combinaison, de dissolution, d'occlusion . . .

III. — Le nombre d'équivalents chimiques d'un électrolyte

qui sont décomposés par le passage d'un courant électrique est proportionnel à la *quantité* d'électricité qui l'a traversé (Faraday). Donc :

IV. — Le poids d'électrolyte décomposé par une même quantité d'électricité, *un coulomb* par exemple, est proportionnel à l'équivalent chimique de l'électrolyte.

Le poids d'un corps, composé ou simple, électrolysé ou libéré par *un coulomb*, s'appelle l'*équivalent électrochimique* de ce corps.

V. — Un coulomb décompose 0^mgr,09373 d'eau (1). Par conséquent :

L'équivalent électrochimique de l'eau est 0^mgr,09373, et l'équivalent électrochimique de l'hydrogène est 0^mgr,010415.

VI. — Les équivalents électrochimiques des corps se calculent en multipliant 0^mgr,010415, par leurs équivalents rapportés à l'hydrogène. Ces calculs, faciles mais fastidieux, seront épargnés aux électriciens par le *tableau* ci-dessous, qui donne les équivalents électrochimiques des corps simples et composés usuels.

VII. — Étant connue la *quantité* d'électricité qui a traversé un système électrochimique quelconque (pile, accumulateur, bain d'électrolyse, etc.), on peut aisément calculer les poids respectivement intéressés, pour chacun des corps compris dans la chaîne électrolytique : le calcul consiste à mul-

(1) Mascart, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 11 juillet 1881.

Le chiffre antérieurement trouvé par M. Weber correspond à 0,09376, et celui trouvé par M. Kohlraush à 0,094689.

multiplier, par le nombre de coulombs, l'équivalent électrochimique du corps considéré.

VIII. — La quantité d'électricité est souvent donnée en fonction de l'intensité (ampères) et du temps (heures), ou en *ampères-heure*. Un ampère-heure = 3600 coulombs.

Dans une colonne du *Tableau* on a inscrit les poids correspondants à un *ampère-heure*. Ces poids ont été obtenus en multipliant l'*équivalent chimique* de chaque corps par le poids d'hydrogène correspondant à 3600 coulombs. On aurait pu l'obtenir aussi en multipliant l'équivalent électrochimique par 3600.

IX. — Dans le calcul du poids des *ions*, il faut se rappeler que, si les deux éléments ne sont pas combinés à équivalents égaux, c'est l'*anion*, ou élément comburant, qui gouverne l'analyse (E. Becquerel).

Un coulomb libère *généralement* un équivalent électrochimique d'*anion*, et un poids de *cation* égal à celui qui est combiné à un équivalent électrochimique d'anion.

Exemple : on obtient un équivalent de cuivre pour un de chlore, dans l'électrolyse du chlorure cuivrique Cu Cl , et deux équivalents de cuivre pour un de chlore, dans celle du chlorure cuivreux $\text{Cu}^{\circ} \text{Cl}$.

Cette règle souffre de nombreuses exceptions; notamment dans l'électrolyse des sels polybasiques.

N. B. *Le présent tableau, qu'on imprime ici pour la première fois, peut contenir des erreurs de calcul ou d'impression. Je recevrai avec reconnaissance les rectifications qu'on voudrait bien m'adresser au profit des réimpressions ultérieures.*

NOMS DES CORPS.	SYMBOLES.	ÉQUIVALENTS.	Équivalents électro-chimiques pour 1 coulomb	Poids intéressé par 1 ampère-heure (3600 coulombs).
Hydrogène.....	H	1	milligram. 0,0104	grammes. 0,0375
Aluminium.....	Al	13,7	0,1425	0,5137
Antimoine.....	Sb	122	1,2688	4,575
Argent.....	Ag	108	1,1232	4,05
Arsenic.....	As	75	0,7800	2,8125
Azote.....	Az	14	0,1456	0,5250
Baryum.....	Ba	68,5	0,7124	2,5687
Bismuth.....	Bi	210	2,184	7,875
Bore.....	B	11	0,1144	0,4125
Brome.....	Br	80	0,832	3
Cadmium.....	Cd	56	0,5824	2,095
Calcium.....	Ca	20	0,208	0,75
Carbone.....	C	6	0,0624	0,2250
Chlore.....	Cl	35,5	0,3692	1,3312
Chrome.....	Cr	26,2	0,2725	0,9825
Cobalt.....	Co	29,5	0,3068	1,1062
Cuivre.....	Cu	31,8	0,3307	1,1925
Étain.....	Sn	59	0,6136	2,2125
Fer.....	Fe	28	0,2912	1,05
Fluor.....	Fl	19	0,1976	0,7125
Iode.....	I	127	1,3208	4,7625
Iridium.....	Ir	98,6	1,0254	3,6975
Magnésium.....	Mg	12,2	0,1269	0,4575
Manganèse.....	Mn	27,5	0,286	1,0312
Mercure.....	Hg	100	1,04	3,75
Nickel.....	Ni	29,5	0,3068	1,1062
Or.....	Au	98,3	1,0223	3,6862
Oxygène.....	O	8	0,0832	0,3
Palladium.....	Pd	53,2	0,5533	1,9947
Phosphore.....	P	31	0,3224	1,1625
Platine.....	Pt	98,6	1,0254	3,6975
Plomb.....	Pb	103,5	1,0764	3,8812
Potassium.....	K	39	0,4056	1,4625
Sélénium.....	Se	39,8	0,4139	1,4925
Silicium.....	Si	21	0,2184	0,7875

NOMS DES CORPS.	SYMBOLES.	ÉQUIVALENTS.	Équivalents électro-chimiques pour 1 coulomb	Poids intéressés par 1 ampère-heure (3600 coulombs).
Sodium.....	Na	23	0,2392	0,8625
Soufre.....	S	16	0,1664	0,6
Strontium.....	Sr	43,8	0,4355	1,6425
Zinc.....	Zn	32,7	0,3401	1,2262
Zirconium.....	Zr	33,6	0,3494	1,26
Eau.....	HO	9	0,0936	0,3375
Bioxyde d'hydrogène.....	HO ²	17	0,1768	0,6375
Acide acétique.....	C ⁴ H ⁴ O ⁴	60	0,6240	2,25
— azotique anhydre.....	AzO ⁵	54	0,5616	2,025
— — monohydraté.....	AzO ⁵ H	63	0,6552	2,3625
— borique.....	BO ³	35	0,364	1,3125
— carbonique.....	CO ²	22	0,2288	0,825
— chlorhydrique (gaz).....	HCl	36,5	0,3796	1,3687
— chlorhydrate.....	ClO ³ ,HO	84,5	0,8788	3,1687
— perchlorique hydraté.....	ClO ⁷ ,HO	100,5	1,0452	3,7687
— chromique.....	CrO ³	50,2	0,5221	1,8825
— cyanhydrique.....	C ² AzH	27	0,2808	1,0125
— iodhydrique.....	HI	128	1,3312	4,8
— iodique.....	IO ⁵	167	1,7368	6,2625
— oxalique.....	C ⁴ H ² O ⁸	90	0,936	3,375
— phosphoreux.....	PO ³ ,3HO	82	0,8528	3,075
— phosphorique anhydre.....	PO ⁵	71	0,7384	2,6625
— — hydraté.....	PO ⁵ ,3HO	98	1,0192	3,675
— sulfureux.....	SO ²	32	0,3328	1,2
— sulfurique anhydre.....	SO ³	40	0,416	1,5
— — monohydraté.....	SO ⁴ H	49	0,5096	1,8375
— tartrique.....	C ⁸ H ⁶ O ¹²	150	1,56	5,625
Oxyde d'aluminium.....	Al ² O ³ ,3HO	78,4	0,8154	2,94
— d'argent (proto).....	AgO	116	1,2064	4,35
— — (sesqui).....	Ag ² O ³	240	2,496	9
— de calcium.....	CaO,HO	37	0,3848	1,3875
— de cuivre (proto).....	Cu ² O	71,4	0,7426	2,6775
— — (bi).....	CuO	39,7	0,4129	1,4887
— d'étain.....	SnO	67	0,6968	2,5125
— — (bi).....	SnO ²	75	0,78	2,8125

NOMS DES CORPS	SYMBOLES.	ÉQUIVALENTS.	Équivalents électro-chimiques pour 1 coulomb	Poids intéressés par 1 ampère-heure (3600 coulombs).
Oxyde de fer (proto).....	FeO	36	0,3744	1,35
— — (per).....	Fe ² O ⁵	80	0,832	3,
— de magnésium.....	MgO,HO	29	0,3016	1,0875
— de manganèse (proto)...	MnO	33,5	0,3692	1,3312
— — (bi).....	MnO ²	43,5	0,4524	1,6312
— de mercure (proto).....	Hg ² O	208	2,1632	7,8
— — (bi).....	HgO	108	1,1232	4,05
— de nickel.....	NiO	37,5	0,39	1,4062
— de plomb (proto) anhydre	PbO	111,5	1,1596	4,1812
— — id. hydraté.	PbO,HO	120,5	1,2532	4,5187
— — (bi)	PbO ²	119,5	1,2428	4,4812
— de potassium, anhydre.	KO	47,1	0,4898	1,7662
— — hydraté..	KO,HO	56,1	0,5834	2,1037
— de sodium, anhydre....	NaO	31	0,3224	1,1625
— — hydraté....	NaO,HO	40	0,416	1,5
— de zinc, anhydre.....	ZnO	40,5	0,4212	1,5187
— — hydraté.....	ZnO,HO	49,5	0,5148	1,8562
Ammoniaque.....	AzH ³ O,HO	35	0,3640	1,3125
Acétate de potassium.....	C ⁴ H ³ O ⁴ K	98,1	1,0202	3,6787
— de sodium.....	C ⁴ H ³ O ⁴ Na	82	0,8528	3,075
Azotate d'argent.....	AzO ⁶ Ag	170	1,768	6,375
— de plomb.....	AzO ⁶ Pb	113,5	1,2012	4,3312
— de potassium.....	AzO ⁶ K	101,1	1,0514	3,7912
— de sodium.....	AzO ⁶ Na	85	0,884	3,1875
Borate de plomb.....	BO ⁴ Pb	146,4	1,5526	5,49
— de potassium.....	BO ⁴ K	82	0,8528	3,075
— de sodium.....	BO ⁴ Na	65,9	0,6854	2,4712
Carbonate de fer.....	CO ³ Fe	58	0,6032	2,175
— de plomb.....	CO ³ Pb	133,5	1,3884	5,0062
— de potassium.....	CO ³ K	69,1	0,7186	2,5912
— de sodium.....	CO ³ Na	53	0,5512	1,9875

NOMS DES CORPS	SYMBOLES.	ÉQUIVALENTS	Équivalents électro- chimiques pour 1 coulomb	Poids intéressé par 1 ampère-Heure (3600 coulombs).
Chlorate de potassium.....	ClO^6K	122,6	milligram. 1,275	grammes. 4,5975
Chlorhydrate d'ammoniaque....	Az H^4Cl	53,5	0,5364	2,0062
Chlorure d'aluminium.....	Al^3Cl^3	132,9	1,3822	4,9837
— d'argent.....	AgCl	143,5	1,4924	5,3812
— de calcium.....	CaCl	55,5	0,5772	2,0812
— de cuivre (proto).....	Cu^2Cl	98,9	1,0286	3,7087
— — (bi).....	CuCl	67,2	0,6989	2,52
— de fer.....	FeCl	63,5	0,6604	2,3812
— — (per).....	Fe^2Cl^3	161,5	1,6796	6,0562
— de magnésium.....	MgCl	47,5	0,494	1,7812
— de manganèse.....	MnCl	63	0,6552	2,3625
— de mercure (proto)....	Hg^2Cl	235,5	2,4492	8,8312
— — (bi).....	HgCl	135,5	1,4092	5,0812
— de nickel.....	NiCl	65	0,676	2,4375
— d'or (proto).....	Au^2Cl	232,5	2,418	9,4687
— — (per).....	Au^2Cl^3	303,5	3,1564	11,3812
— de potassium.....	KCl	74,6	0,7758	2,7975
— de sodium.....	NaCl	58,5	0,6084	2,1937
— de platine.....	PtCl	134,1	1,3946	5,0287
— de plomb.....	PbCl	139	1,4456	5,2125
— de zinc.....	ZnCl	68	0,7072	2,55
Chromate de plomb.....	CrO^4Pb	161,6	1,6806	6,06
— de potassium.....	CrO^4K	97,2	1,0159	3,645
— — (bi)....	$\text{Cr}^2\text{O}^7\text{K}$	147,3	1,5319	5,5237
Cyanure d'ammonium.....	$\text{C}^2\text{Az}^2\text{H}^4$	44	0,4576	1,65
— d'argent.....	C^2AzAg	134	1,3936	5,025
— de mercure.....	C^2AzHg	126	1,3104	4,725
— de potassium.....	C^2AzK	65,1	0,677	2,4412
— de sodium.....	C^2AzNa	49	0,5096	1,8375
— de zinc.....	C^2AzZn	58,5	0,6084	2,1937
Iodure d'argent.....	AgI	236	2,4544	8,85
— d'or.....	AuI	324	3,3696	12,15
— de plomb.....	PbI	230,5	2,3972	8,6437
— de potassium.....	KI	166,1	1,7274	6,2287
— de sodium.....	NaI	150	1,56	5,625

NOMS DES CORPS	SYMBOLES	ÉQUIVALENTS	Équivalents électro-chimiques pour 1 coulomb	Poids intéressé par 1 ampère-heure (3600 coulombs).
Iodure de zinc.....	ZnI	159,5	milligram. 1,6588	grammes 5,9812
Oxalate de potassium.....	C ² O ⁴ K	83	0,8632	3,4125
Phosphate de soude.....	PO ⁵ ,NaO,2HO	120	1,248	4,5
Plombate de potassium.....	PbO ² K,3HO	193,5	2,0124	7,2562
Plombite de potassium.....	PbO ² K	158,5	1,6484	5,9437
— de sodium.....	PbO ² Na	142,5	1,482	5,3437
Sulfate d'aluminium.....	(SO ⁴) ² Al ²	171,4	1,7826	6,4275
— d'ammonium.....	SO ⁴ Az ³ H ⁸	84	0,8736	3,15
— d'argent.....	SO ⁴ Ag	156	1,6224	5,85
— de cadmium.....	SO ⁴ Cd,4HO	140	1,456	5,25
— de cobalt.....	SO ⁴ Co,7HO	140,5	1,4612	5,2687
— de cuivre anhydre.....	SO ⁴ Cu	79,7	0,8289	2,9887
— — cristallisé.....	SO ⁴ Cu,5HO	124,7	1,2969	4,6762
— de fer.....	SO ⁴ Fe,7HO	139	1,4456	5,2125
— de magnésium.....	SO ⁴ Mg,7HO	123	1,2792	4,6125
— de manganèse.....	SO ⁴ Mn,HO	84,5	0,8788	3,1687
— de mercure.....	SO ⁴ Hg	148	1,5392	5,55
— — (trimercurique).	SO ⁴ Hg,2HgO	364	3,7856	13,650
— de nickel.....	SO ⁴ Ni,7HO	140,5	1,4612	5,2687
— de plomb.....	SO ⁴ Pb	151,5	1,5756	5,6644
— de potassium.....	SO ⁴ K	87,1	0,9058	3,2662
— — (bi).....	SO ⁴ K,So ⁴ H	136,1	1,4154	5,1037
— de sodium.....	SO ⁴ Na	71	0,7384	2,6625
— —	SO ⁴ Na,HO	80	0,832	3,
— —	SO ⁴ Na,10HO	161	1,6744	6,0375
— — (bi).....	SO ⁴ Na,SO ⁴ H	129	1,3416	4,8375
— de zinc.....	SO ⁴ Zn	80,7	0,8393	3,0262
— — cristallisé.....	SO ⁴ Zn,7HO	143,7	1,4945	5,3887
Zincate de potasse.....	ZnO,KO	87,7	0,9121	3,2887

SUR LE PRIX DU TRAVAIL FOURNI
PAR LES PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES (1).

On se propose d'établir, par le calcul, les prix de revient du travail fourni par les piles hydro-électriques.

On déterminera d'abord le *prix théorique*, en supposant un fonctionnement parfait et une utilisation totale; puis on obtiendra le *coût pratique approximatif*, en multipliant le prix théorique par deux facteurs : le premier, qu'on pourrait appeler *coefficient d'utilisation physique*, exprime le rapport entre la force électromotrice du couple et la chute de potentiel *utilisée*; le second facteur, ou *coefficient d'utilisation chimique*, étant la proportion entre les poids de matières employées et les poids utilement consommés.

L'utilisation physique ne dépend pas de la nature du couple; on peut donc admettre qu'elle serait la même dans toutes les combinaisons voltaïques, et la supposer égale à 1,3. L'utilisation chimique, au contraire, diffère beaucoup d'une pile à l'autre; on ne pourra l'estimer qu'approximativement, d'après les notions pratiques que nous possédons sur l'importance des pertes à subir, par les actions locales et l'incomplet épuisement des matières.

(1) *L'Électricien* des 15 juillet et 1^{er} août 1883.

Les évaluations obtenues ainsi ne devront être prises qu'à titre de renseignements généraux, car les chiffres de la dépense théorique varient comme les cours commerciaux, et les coefficients d'utilisation changent avec la construction des couples et les conditions de leur emploi. Il faudra donc, dans l'application, remonter aux éléments des calculs pour leur faire subir, au besoin, de judicieuses corrections.

I

On prendra pour base de calcul un travail de 3600 kilogrammètres, soit 1 kilogrammètre par seconde pendant une heure, ou $\frac{1}{75}$ de cheval-heure.

Le travail en kilogrammètres étant exprimé par $W = \frac{QE}{g}$, on a, pour $W = 3600$:

$$Q \text{ (en coulombs)} = \frac{g}{E \text{ (en volts)}} \times 3600.$$

Si un corps, dont l'équivalent chimique est α , est intéressé dans les réactions du couple pour n équivalents, le poids dépensé théoriquement pour 3600 kilogrammètres sera :

$$P = Q \times \alpha \times n \times H = \frac{g}{E} \times n \times 3600 \alpha H, \quad (1)$$

H étant le poids correspondant à 1 coulomb, pour l'hydrogène, dont l'équivalent est 1.

On sait que $H = 0^{\text{mgr}},0104$; en remplaçant le produit $3600 H$ par sa valeur $= 0^{\text{gr}},0375$, l'expression devient :

$$P = \frac{g}{E} \times n \times \alpha \times 0^{\text{gr}},0375. \quad (2)$$

Étant obtenus, par cette formule, les poids de chacun des corps qui agissent chimiquement dans la pile, il suffira de les multiplier par leurs prix respectifs et de les additionner, pour obtenir la *dépense théorique* des couples. Si la pile produit des résidus vendables, on calculera de la même manière leurs prix, qui seront à déduire de la dépense.

Pour appliquer ces calculs à une pile, il faut connaître sa f. e. m., ses réactions chimiques et les cours commerciaux des matières premières et des résidus.

La chimie des piles n'est connue que pour un petit nombre de combinaisons voltaïques, parmi lesquelles nous choisirons :

1° Le couple de Volta : zinc, cuivre, eau acidulée ;

2° Les couples du genre Daniell : zinc, sulfate de zinc—cuivre, sulfate de cuivre ;

3° Les couples zinc, charbon et mélange chromique ;

4° Les piles nouvelles de MM. de Lalande et Chaperon : zinc, potasse ; fer, bioxyde de cuivre.

Il sera d'ailleurs facile d'étendre les opérations à d'autres combinaisons voltaïques.

Pour accélérer les opérations qui vont suivre, dressons la liste des valeurs de $\alpha \times 0^{\text{gr}},0375$, pour les corps intéressés dans les piles à étudier. Ces valeurs ont été calculées ; nous n'avons qu'à les relever dans la dernière colonne du *Tableau* précédent (p. 66 et suivantes).

NOM DU CORPS	FORMULE	EQUIVALENT CHIMIQUE	VALEUR de $\alpha \times 0,0375$
Hydrogène.....	H	1,	grammes 0,0375
Zinc.....	Zn	32,7	1,23
Cuivre.....	Cu	31,8	1,19
Acide sulfurique monohydraté.....	SO ⁴ H	49,	1,84
Sulfate de zinc.....	SO ⁴ Zn,7HO	143,7	5,39
Sulfate de cuivre.....	SO ⁴ Cu,5HO	124,7	4,68
Bichromate de potasse.....	Cr ² O ⁷ K	147,3	5,52
Potasse.....	KO,HO	56,1	2,10
Bioxyde de cuivre.....	CuO	39,7	1,49
Zincate de potasse.....	ZnO,KO	87,7	3,29

Les poids des corps engagés ou libérés seront donc obtenus en multipliant la valeur de $\alpha \times 0,0375$ par le produit $n \times \frac{g}{E}$.

II

COUPLE DE VOLTA : *zinc, cuivre, eau acidulée sulfurique.*

La f. e. m. initiale de ce couple est voisine de 1 volt ; mais elle descend rapidement jusqu'à 0,2 en court circuit (1).

La f. e. m. *effective*, en travail normal, dépend du régime de débit ; elle se tient entre les deux valeurs citées, mais plus près de la seconde que de la première ; soit aux environs de 0 volt,4.

(1) Voir p. 7.

La réaction chimique étant :



on dépense 1 équivalent de zinc et 1 équivalent d'acide sulfurique. L'application de la formule (2) donne, pour un travail de 3600 kilogrammètres :

$$\text{P, poids du zinc} = \frac{9,81}{0,4} \times 1 \times 1 \text{ gr},23 = 30 \text{ gr},13;$$

$$\text{P, poids de l'acide sulfurique} = \frac{9,81}{0,4} \times 1 \times 1 \text{ gr},84 = 45 \text{ gr},08.$$

En estimant le zinc à 0 fr,60 et l'acide sulfurique à 0 fr,15 le kilogramme, on trouve pour la dépense théorique :

$$\text{Prix du zinc} = 0^{\text{k}},030 \times 0 \text{ fr},6 = 0 \text{ fr},0180$$

$$\text{Prix de l'acide sulfurique} = 0^{\text{k}},045 \times 0 \text{ fr},15 = 0 \text{ fr},0068$$

$$\text{Total : } \quad \underline{0 \text{ fr},0248}$$

Dans le couple de Volta, l'attaque locale du zinc par l'eau acidulée sulfurique est très vive, surtout avec du zinc ordinaire; de plus, la pile n'épuise pas complètement son zinc ni son acide. Le coefficient d'utilisation chimique, U_c , peut être évalué à 4; celui d'utilisation physique, U_p , étant 1,3, le coût pratique de 3600 kilogrammètres serait approximativement :

$$0 \text{ fr},0248 \times 4 \times 1,3 = 0 \text{ fr},13.$$

Avec du zinc amalgamé ou, mieux encore, un alliage de zinc et de mercure, la f. e. m. gagnerait quelques centièmes, et les pertes seraient moins grandes; le coût pratique descendrait aux environs de 0,09 pour 3600 kilogrammètres, soit :

$$0 \text{ fr},09 \times 75 = 6 \text{ fr},75 \text{ par cheval-heure.}$$

Ce prix de revient très élevé, joint à l'inconvénient d'un

dégagement d'hydrogène abondant, exclut les couples de Volta de la pratique courante.

III

PILES DU GENRE DANIELL : *zinc, sulfate de zinc—cuivre, sulfate de cuivre.*

La f. e. m. de ces couples varie de 1 volt à 1 volt,08, selon la composition des liqueurs. : en moyenne, 1 volt,04.

La réaction chimique finale se formule ainsi :



Elle engage 1 équivalent de zinc, 1 équivalent de sulfate de cuivre, et libère 1 équivalent de cuivre, D'où :

$$\text{P, poids du zinc} = \frac{9,81}{1,04} \times 1 \times 1 \text{ gr},23 = 11 \text{ gr},60;$$

$$\text{P, poids du sulfate de cuivre} = \frac{9,81}{1,04} \times 1 \times 4 \text{ gr},68 = 44 \text{ gr},13;$$

$$\text{P, poids du cuivre libéré} = \frac{9,81}{1,04} \times 1 \times 1 \text{ gr},19 = 11 \text{ gr},22.$$

Le cours moyen du sulfate de cuivre ordinaire cristallisé est environ 0 fr,60 à Paris. Le cuivre recueilli, de bonne qualité, vaudrait 1 fr,30 le kilogramme; mais il convient de ne l'estimer qu'à 0 fr,60, à cause des pertes, des manipulations et de la dépréciation de l'électrode en cuivre qu'il faut abandonner avec le dépôt. La dépense théorique de la pile, pour 3600 kilogrammètres, est donc :

$$\text{Zinc } 0^{\text{k}},0116 \text{ à } 0 \text{ fr},60 = 0 \text{ fr},00696$$

$$\text{Sulfate de cuivre } 0^{\text{k}},0441 \text{ à } 0 \text{ fr},60 = 0 \text{ fr},02646$$

$$\text{Total : } \underline{0 \text{ fr},03342}$$

Dont il faut déduire :

$$\text{Cuivre } 0^k,0112 \text{ à } 0^{\text{fr}},60 = 0^{\text{fr}},00672$$

$$\text{Reste net : } \underline{0^{\text{fr}},02670}$$

Les couples du genre Daniell usent leur sulfate de cuivre jusqu'à décoloration complète; et *si la pile travaille sans interruption*, les actions locales sont peu importantes; aussi la valeur de U_c peut-elle n'être que 1,5 environ.

La dépense pratique pour 3600 kilogrammètres serait donc :

$$0^{\text{fr}},027 \times 1,3 \times 1,5 = 0^{\text{fr}},053.$$

Soit, pour un cheval-heure :

$$0^{\text{fr}},053 \times 75 = 3^{\text{fr}},97.$$

PILES AU VERT-DE-GRIS.

Les doreurs appellent *eau-forte* un bain d'acide nitrique dans lequel ils décapent le cuivre et ses alliages. Quand l'eau-forte est à peu près saturée de cuivre, *elle ne mord plus*. On la régénère alors par une addition d'acide sulfurique, qui met l'acide nitrique en liberté en formant un sulfate de cuivre impur, improprement appelé *vert-de-gris*.

La composition du vert-de-gris est un peu variable. Voici les résultats d'une analyse faite par M. *Van Heurck* sur un échantillon d'origine parisienne.

Eau vaporisable à 15°C. (humidité et eau de cristallisation).	31,40
Matières volatiles au rouge (eau de combinaison et un peu d'acide nitrique).....	9,10
Oxyde de cuivre.....	30,20
Acide sulfurique par différence.....	29,30

Le sulfate de cuivre normal contient :

Eau.....	36,30
Oxyde de cuivre.....	32,32
Acide sulfurique.....	31,38

L'industrie parisienne produit annuellement plus de 100000 kilogrammes de vert-de-gris, qui est vendu 45 pour 100 moins cher que le sulfate de cuivre ordinaire. Le vert-de-gris peut donc, à Paris, être avantageusement employé dans les piles du genre Daniell, d'autant mieux que les impuretés augmentent la conductibilité du liquide. Par cette substitution, la dépense théorique pour 3600 kilogrammètres devient :

Zinc 0 ^s ,0116 à 0 ^{fr} ,6.....	= 0 ^{fr} ,00696
Vert-de-gris 0 ^s ,044 à 0 ^{fr} ,32.....	= 0 ^{fr} ,01408
Total.....	= 0 ^{fr} ,02104

dont il faut déduire :

Cuivre 0 ^s ,0112 à 0 ^{fr} ,6.....	= 0 ^{fr} ,00672
Reste, net.....	0 ^{fr} ,01432

Et la dépense pratique (en augmentant un peu la valeur de U_c , à cause des impuretés du vert-de-gris) :

$$0^{\text{fr}},0143 \times 1,3 \times 1,6 = 0^{\text{fr}},0297,$$

soit pour un cheval-heure :

$$0^{\text{fr}},0297 \times 75 = 2^{\text{fr}},23.$$

La pile au vert-de-gris est *actuellement* la moins coûteuse des piles. Montée avec mes *zincs cloisonnés* (1), et pourvue d'un agencement convenable, elle a pu se prêter commodément à quelques applications pratiques. Néanmoins, elle est encore assez imparfaite pour laisser désirer quelque chose de meilleur.

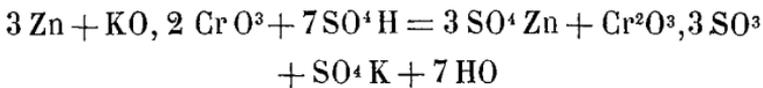
(1) Voir p. 50.

IV

PILES AU BICHROMATE DE POTASSE.

La f. e. m. moyenne des piles au bichromate de potasse sans vase poreux est 1^{volt},9.

On admet que l'ensemble des réactions chimiques effectuées dans ces piles est donné par la formule :



Par conséquent les valeurs de n seraient : 1 pour le zinc,

$\frac{1}{3}$ pour le bichromate et $\frac{7}{3}$ pour l'acide sulfurique. On trouve :

$$\text{P, poids du zinc} = \frac{9,81}{1,9} \times 1 \times 1,23 = 6 \text{ gr, } 35;$$

$$\text{P, poids de l'acide sulfurique} = \frac{9,81}{1,9} \times \frac{7}{3} \times 1,84 = 22 \text{ gr, } 15;$$

$$\text{P, poids du bichromate} = \frac{9,81}{1,9} \times \frac{1}{3} \times 5,52 = 9 \text{ gr, } 49.$$

En cotant le bichromate de potasse à 1^{fr},30 le kilogramme, le prix de revient de 3600 kilogrammètres est théorique-ment :

Zinc 0 ^r ,0063 × 0 ^r ,6	=	0 ^r ,00378
Acide sulfurique 0 ^{tr} ,0221 × 0 ^r ,45	=	0 ^r ,00331
Bichromate 0 ^r ,0095 × 1 ^{fr} ,30	=	0 ^r ,01235
Total	=	<u>0^r,01944</u>

En fait, l'usure du zinc est au moins deux fois plus grande

que la consommation théorique (1), avec une usure de liquide correspondante. Et comme on ne peut pas épuiser complètement le liquide ni user tout le zinc, qui doit d'ailleurs être réamalgamé fréquemment, il convient de porter à 3 la valeur de U_c . Le prix de revient pratique, pour 3600 kilogrammètres, serait donc environ :

$$0^{\text{fr}},0194 \times 1,3 \times 3 = 0^{\text{fr}},076 ;$$

soit, pour un cheval-heure :

$$0^{\text{fr}},076 \times 75 = 5^{\text{fr}},70.$$

Prix très élevé; encore faudrait-il, en bonne comptabilité, tenir compte, ici et ailleurs, de la main-d'œuvre, de l'entretien et de l'amortissement, dépenses accessoires qui sont plus importantes pour les couples au bichromate que pour les autres.

Ainsi, les piles à mélange chromique sont des générateurs d'énergie fort coûteux, et cela n'est pas leur unique défaut. On ne pourrait les appliquer à l'éclairage ou à la locomotion qu'à la condition de produire ou de régénérer les bichromates alcalins à très bas prix, et d'atténuer considérablement l'importance des réactions parasites.

Malgré leur dépense élevée, les piles au bichromate jouissent d'une certaine faveur, auprès des amateurs surtout, parce qu'elles ont une grande énergie et peu d'odeur.

Pour éviter, en circuit ouvert, la vive attaque du zinc qui épuiserait rapidement la liqueur, il est presque indispen-

(1) Voir les expériences de M. E. Hospitalier sur les piles au bichromate de M. Trouvé, dans l'*Electricien* du 1^{er} mai 1883.

sable d'adopter un dispositif permettant de soulever les couples hors du mélange chromique, pour les mettre au repos. Le modèle à treuil de M. Trouvé (*fig. 28*) est l'un des mieux construits.

Au point de vue de l'économie des matières et de leur durée, il y aurait avantage à diminuer la surface des zincs, sans

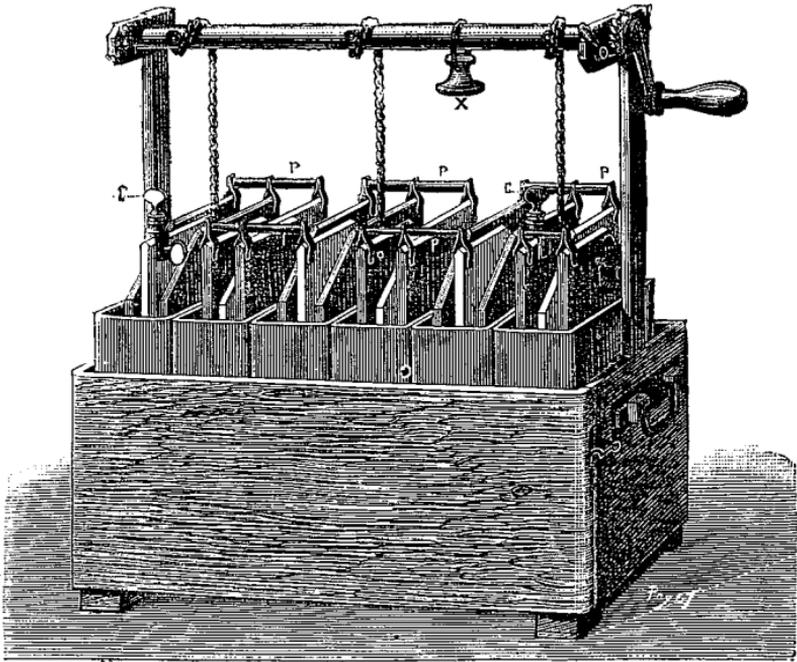


Fig. 28.

PILE AU BICROMATE DE POTASSE
modèle à treuil (*G. Trouvé*).

réduire celles des charbons : la résistance ne serait guère accrue, et les actions locales diminueraient beaucoup. L'emploi du *zinc allié* peut aussi contribuer à réduire la dépense. M. Radiguet l'a déjà substitué au zinc superficiellement

amalgamé, dans des piles au bichromate de potasse à *vase poreux*, fort bien agencées.

V

PILE DE MM. DE LALANDE ET CHAPERON : *zinc amalgamé, solution de potasse; fer, bioxyde de cuivre.*

Cette pile, à laquelle les inventeurs ont donné diverses formes (*fig. 29, 30 et 31*), est énergique, constante,

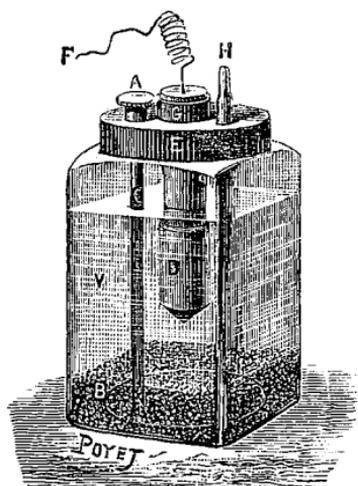


Fig. 29.

PILE DE LALANDE ET CHAPERON (*de Branville et C^{ie}*)
modèle hermétique.

Hauteur. 0^m,160

Largeur. 0^m,08

E. Couvercle fixe adhérent au vase de verre *V*, et percé d'une ouverture centrale pour le passage du cylindre de zinc, *D*.

AB. Conducteur en cuivre traversant le couvercle *E*, et portant à sa partie inférieure un disque de fer ou de cuivre, *B*, recouvert d'oxyde de cuivre.

D. Cylindre en zinc amalgamé, ou en alliage zinc et mercure.

H. Soupape formée par un tube de caoutchouc fendu.

inodore, et ne dépense presque rien en circuit ouvert. Elle a une capacité de travail plus grande qu'aucun autre couple, primaire ou secondaire: 1 kilo de pile de Lalande et Chaperon peut fournir 26000 kilogrammètres, tandis que du même poids d'accumulateur on n'a, *jusqu'à présent*, pu tirer que 7 à 8000 kilogrammètres.

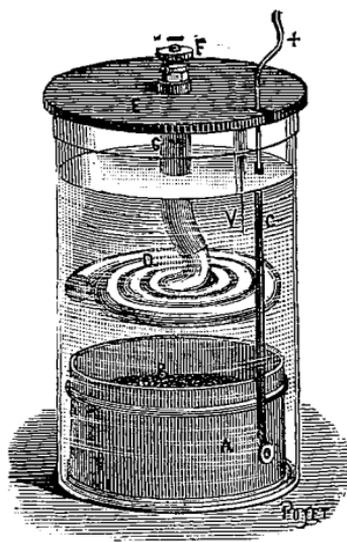


Fig. 30.

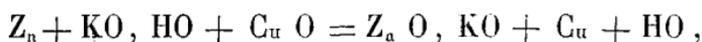
PILE DE LALANDE ET CHAPERON (de Branville et C^{ie})
modèle à spirale.

Hauteur.....	0 ^m ,135
Diamètre.....	0 ^m ,105

- A. Boîte en tôle servant à contenir la potasse solide pendant le transport, et l'oxyde de cuivre quand la pile est montée.
 B. Oxyde de cuivre.
 C. Fil de cuivre recouvert d'un tube de caoutchouc, et rivé sur la boîte A. Ce fil traverse le couvercle et forme le pôle positif.
 D. Zinc amalgamé, protégé sur sa partie verticale par un tube de caoutchouc.
 E. Couvercle mobile.
 F. Borne négative.
 V. Récipient de verre.

Malheureusement, sa dépense est grande, comme on va le voir.

Les réactions de la pile, exprimées par l'équation :



engagent :

1 équivalent de zinc,

1 équivalent de potasse,

1 équivalent de bioxyde de cuivre,

et libèrent :

1 équivalent de cuivre métallique pulvérulent.

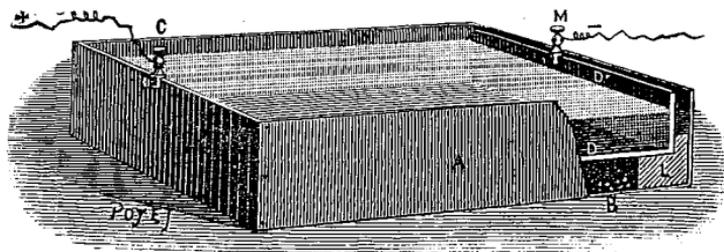


Fig. 31.

PILE DE LALANDE ET CHAPERON (de Branville et C^o)

modèle à auge à grand débit.

Longueur.....	0 ^m ,40
Largeur.....	0 ^m ,20
Hauteur.....	0 ^m ,10

A. Auge en tôle de fer.

B. Couche d'oxyde de cuivre recouvrant le fond de l'auge.

C. Borne positive.

D. Plaque de zinc amalgamé, dont l'extrémité est pliée à angle droit et sort du liquide.

L. Isolateurs supportant le zinc.

M. Borne négative, fixée sur le bord émergeant du zinc.

D'après les expériences faites au laboratoire de M. Hospitalier à l'École de physique et de chimie de la Ville de Paris,

la f. e. m. varie un peu ; au moment du montage, elle est de 0^{volt},98 ; après 8 jours d'abandon en circuit ouvert, elle est réduite à 0^{volt},88 ; une fermeture prolongée en court circuit la fait tomber à 0^{volt},65 ; mais là n'est pas la condition de travail normal. L'expérience de 6 jours relatée ici indique une f. e. m. *effective* moyenne d'environ 0^{volt},8, avec un régime qui était à peu près celui du travail maximum.

Avec cette valeur de E, les valeurs théoriques de P, pour un travail de 3600 kilogrammètres, deviennent :

$$P, \text{ poids du zinc} \dots \dots \dots = \frac{9,81}{0,8} \times 1 \text{ gr}, 23 = 15 \text{ gr}, 1$$

$$P, \text{ poids de la potasse} \dots \dots \dots = \frac{9,81}{0,8} \times 2 \text{ gr}, 1 = 25 \text{ gr}, 7$$

$$P, \text{ poids du bioxyde de cuivre} = \frac{9,81}{0,8} \times 1 \text{ gr}, 49 = 18 \text{ gr}, 3$$

$$P, \text{ poids du cuivre libéré} \dots \dots \dots = \frac{9,81}{0,8} \times 1 \text{ gr}, 19 = 14 \text{ gr}, 6$$

La potasse impure de Croix (Nord), que les inventeurs emploient, est livrée à 0^{fr},70 le kilo ; la teneur de ce produit en alcali caustique étant seulement 0,9, le prix de la potasse est en réalité 0^{fr},70 : 0,9 = 0^{fr},78 le kilo. Le bioxyde de cuivre brut, obtenu par le grillage des battitures, coûtera environ 1^{fr},75 le kilo. Quant au cuivre réduit, malgré qu'il soit moins pur et moins beau que celui fourni par les piles Daniell, on l'estimera à 1^{fr},20, parce qu'il pourrait être utilisé dans la revivification du bioxyde.

Les prix de revient théoriques pour 3600 kilogrammètres seraient donc :

$$\text{Zinc} \dots\dots\dots 0^k,0151 \times 0^{\text{fr}},6 = 0^{\text{fr}},0091$$

$$\text{Potasse} \dots\dots\dots 0^k,0257 \times 0^{\text{fr}},78 = 0^{\text{fr}},0200$$

$$\text{Bioxyde de cuivre} \ 0^k,0183 \times 1^{\text{fr}},75 = 0^{\text{fr}},0320$$

$$\text{Total} \dots \underline{0^{\text{fr}},0611}$$

dont il faut déduire :

$$\text{Cuivre} \dots\dots\dots 0^k,0146 \times 1^{\text{fr}},20 = 0^{\text{fr}},0175$$

$$\text{Reste net} : \underline{0^{\text{fr}},0436}$$

Le coefficient d'utilisation chimique peut être estimé à 1,5 ; le coefficient d'utilisation physique restant fixé à 1,3, on trouve, pour le prix de revient pratique de 3600 kilogrammètres :

$$0^{\text{fr}},0436 \times 1,5 \times 1,3 = 0^{\text{fr}},085 ;$$

Soit, pour un cheval-heure :

$$0^{\text{fr}},085 \times 75 = 6^{\text{fr}},37.$$

Les inventeurs affirment que la soude pourrait, sans inconvénient, être substituée à la potasse, dans les modèles à grand débit ; les réactions seraient les mêmes, et la f. e. m. garderait, paraît-il, la même valeur. Cette substitution procurerait une économie notable. En admettant que certaines sortes de sodes brutes, employables ici, puissent être obtenues à raison de 0^{fr},54 par kilo d'alcali réel, le prix de revient du cheval-heure s'abaisserait à 4^{fr},85 environ.

Ainsi les couples de Lalande et Chaperon, montés à la soude, auraient une dépense intermédiaire entre celles des

piles au bichromate et celles au sulfate de cuivre, sur lesquelles ils ont le grand avantage de ne dépenser presque rien en circuit ouvert.

Les inventeurs espèrent abaisser beaucoup les prix de revient par la mise en pratique de certains procédés de régénération. J'ai moi-même formé, il y a trois ans, des projets analogues pour une pile (1) à la vérité moins simple et moins bonne que celle-ci ; j'ai quitté cette voie dès que j'ai pu entrevoir la praticabilité des *accumulateurs*, qui sont des piles *régénérables sans manipulations*.

Néanmoins, par la reprise et le traitement rationnel de leurs résidus, MM. de Lalande et Chaperon peuvent réussir à abaisser les prix commerciaux des matières consommées, de manière à diminuer notablement la dépense de leur pile *primaire*, qui a beaucoup de qualités et peu de défauts

VI

Il serait intéressant de déterminer les prix de revient du travail sur d'autres piles telles que celles de Leclanché, de Bunzen, de d'Arsonval, de Tommasi ; mais les réactions chimiques effectuées dans ces couples étant incomplètement connues, leur dépense ne peut pas être évaluée par le calcul. Il est temps, d'ailleurs, de clore cette trop longue note que chacun pourrait aisément compléter au besoin.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 28 juin 1880.

Étant donné le prix de revient du kilogrammètre, il est facile d'évaluer approximativement la dépense de tel ou tel récepteur électrique, lampe, moteur, etc. Je laisse au lecteur le soin de faire ces calculs pour les applications qui l'intéressent, et d'en tirer des conclusions.

SUR LE TRAVAIL DES PILES LECLANCHÉ
EN SERVICE
SUR LE RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE DE PARIS.

La quantité d'énergie dépensée par un poste téléphonique est une valeur utile à connaître. Il m'a paru que cette évaluation pourrait être obtenue aisément, par la pesée des zincs, dans les piles Leclanché qui desservent les microphones.

M. Berthon, ingénieur chef des services techniques à la *Société Générale des Téléphones*, à qui j'ai soumis mon projet de mesure, ne s'est point contenté de l'approuver; il s'est empressé d'en assurer la bonne et prompte réussite en mettant gracieusement à ma disposition le réseau téléphonique parisien et le personnel de la Société.

Les expériences ont été faites dans six postes désignés par M. Berthon comme étant des plus actifs; ce sont les appareils n^{os} 27 et 32 du bureau A (avenue de l'Opéra), les deux appareils du Cercle du Louvre et deux postes d'abonné.

Les microphones du bureau A sont des *parleurs Edison* à pastille de charbon; chez les abonnés, les microphones sont du système Ader, à dix charbons, formant 20 contacts.

La pile des postes ordinaires se compose de 3 éléments Leclanché, petit modèle à vase poreux; dans les bureaux centraux, on emploie deux piles de trois couples, modèle à

deux plaques agglomérées (*fig. 32*). Les deux piles se re-
layent en travaillant alternativement une demi-heure chacune.

L'expérience a donc porté sur huit piles de trois couples.
On a préparé avec soin ces 24 éléments : tous les zincs ont
été numérotés et pesés individuellement; chaque couple
a reçu 100 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque et

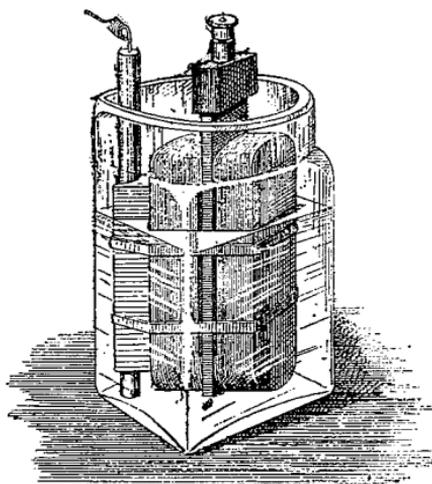


Fig. 32.

PILE LECLANCHÉ

modèle à deux plaques agglomérées (*Barbier*).

400 grammes d'eau ; les charbons ont été garnis à neuf avec
du manganèse de bonne qualité.

Après trente jours de service, les couples ont été ramenés
au laboratoire de la Société des Téléphones, où les zincs ont
été pesés de nouveau.

On a aussitôt remarqué des différences fort grandes dans
les dépenses des diverses piles, et une concordance satisfai-
sante dans les consommations des trois zincs d'une même

batterie. Cette concordance démontre une fois de plus que dans des Leclanché bien préparés, la consommation de zinc est à peu près théorique et peut approximativement servir à la mesure de la quantité d'énergie dépensée.

La consommation la plus grande a été faite par l'appareil n° 27 du bureau A, desservi par deux piles :

PREMIÈRE PILE

	grammes.	
1 ^{er} couple.....	40,50	
2 ^e couple.....	40,50	
3 ^e couple.....	41,00	32,00

DEUXIÈME PILE

1 ^{er} couple.....	41,00	
2 ^e couple.....	40,50	
3 ^e couple.....	41,00	32,50
Total.....		<u>64,50</u>

Le poste ordinaire qui a dépensé le plus est celui de MM. L. et C^{ie} :

	grammes.
1 ^{er} couple.....	47,00
2 ^e couple.....	46,50
3 ^e couple.....	45,50
Total.....	<u>49,00</u>

Le Cercle du Louvre a moins consommé :

PILE DE LA GUÉRITE N° 2

	grammes.
1 ^{er} couple.....	4,50
2 ^e couple.....	5,00
3 ^e couple.....	5,00
Total.....	<u>14,50</u>

L'appareil n° 27 du bureau A, qui a le plus dépensé, est probablement le poste le plus actif de tout le réseau parisien ; les pesées qu'il fournit peuvent donc être prises comme base de l'évaluation du plus grand travail des piles à microphone.

On sait qu'un *coulomb* intéresse 0,00034 gramme de zinc; la *quantité* d'électricité débitée pendant trente jours par la double batterie de l'appareil 27 est donc :

$$\frac{64^{\text{gr}},5}{3 \times 0,00034} = 63235 \text{ coulombs.}$$

Si l'on estime que la somme des durées de fermeture soit de sept heures par journée, l'*intensité moyenne* du courant inducteur serait :

$$\frac{63235 \text{ coulombs}}{30 \text{ jours} \times 7 \text{ heures} \times 3600 \text{ secondes}} = 0,084 \text{ ampère.}$$

En admettant que la f. e. m. *effective* des Leclanché en service soit d'environ 1 volt, le travail total de la double pile serait :

$$63235 \times 3 = 189705, \text{ volt-coulombs}$$

ou $\frac{189705}{9,81} = 19357$ kilogrammètres, en un mois.

Soit 645 kilogrammètres par vingt-quatre heures (1), et 235425 kilogrammètres par an.

Ainsi le travail accompli *pendant une année*, par les piles d'un poste très actif, équivaut à celui d'un *cheval-vapeur pendant cinquante-deux minutes*.

Je répète qu'il s'agit ici du *travail total* du courant inducteur, dans la pile, le microphone et le circuit primaire. L'éva-

(1) Le régime de travail de la pile serait donc un *quarantième de kilogrammètre par seconde*. — Une lampe Swan de 20 bougies dépense 6,25 kgn. par seconde, c'est-à-dire *deux cent cinquante fois plus*. Ainsi, avec quinze cents couples Leclanché du modèle indiqué, on ne pourrait faire fonctionner qu'une seule lampe Swan de 20 bougies, à raison de sept heures par jour, pendant deux mois.

luation de la quantité du *travail utilisé* dans le téléphone récepteur n'a pas encore été tentée; nous savons seulement que ce travail est fort petit : il est assurément une fraction bien faible du travail total.

Cependant, les chiffres tirés de la pesée des zincs sont des renseignements dont on peut déjà tirer parti dans la pratique. Ils donnent les conditions que doit remplir une pile primaire pour desservir un poste téléphonique pendant un temps déterminé.

Et si l'on voulait, par exemple, étudier les conséquences techniques et économiques de la substitution des accumulateurs aux piles primaires sur le réseau téléphonique d'une ville, on pourrait, de ces chiffres, déduire approximativement la quantité de force motrice à dépenser pour assurer la charge de tous les couples secondaires.

Les 3000 postes du réseau téléphonique de Paris, supposés tous aussi actifs que ceux des bureaux centraux, dépenseraient quotidiennement 1935000 kilogrammètres, soit le travail de *un cheval-vapeur pendant sept heures dix minutes*. Ainsi, en attribuant aux accumulateurs un rendement final de 0,6, *une force motrice de un cheval, travaillant douze heures par jour, desservirait surabondamment le réseau téléphonique de Paris*.

Sans attribuer à ces chiffres une exactitude absolue, ni une signification générale et définitive, on peut, je crois, les considérer comme plus exacts que les évaluations antérieures, qui n'étaient point basées sur des expériences directes.

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES (1).

Tout système composé d'un liquide conducteur et de deux électrodes est apte à fournir un *courant secondaire* quand il a été traversé par un courant primaire allant de l'une à l'autre électrode. Les combinaisons susceptibles d'emmagasiner l'énergie électrique paraissent donc s'offrir en foule ; mais l'ensemble des qualités requises pour un accumulateur pratique limite étroitement les choix.

En fait, on s'est jusqu'à présent renfermé dans le système Planté : plomb réduit, plomb peroxydé, eau acidulée sulfurique. Les variantes que les électriciens ont fait subir aux accumulateurs ne portent guère que sur le mode de *formation* ; les uns, comme M. de Kabath, M. Tommasi ou MM. Arnould et Tamine, forment *en surface* ; les autres forment *en profondeur* : tel M. Faure et ses imitateurs.

Le plomb est-il le seul métal qu'on puisse employer dans les accumulateurs ? — Non certes ! Il est même, en principe, le moins convenable des métaux usuels.

Pour un nombre donné de coulombs à emmagasiner, le

(1) *La Nature* des 12 janvier et 19 avril 1884.

L'Électricien des 1^{er} décembre 1883, 15 avril et 1^{er} mai 1884.

Société Française de Physique, séance du 4 avril 1884.

poids d'électrode engagé dans les actions chimiques de l'accumulateur est proportionnel à l'équivalent chimique du corps constituant. Le plomb, ayant un équivalent très élevé, s'intéresse pour des poids trop grands. On peut s'en rendre compte en relevant (1) les poids engagés ou libérés, par 3600 coulombs (1 ampère-heure), pour les métaux usuels :

Hydrogène	0 gr,0375
Manganèse	1 gr,0312
Fer	1 gr,05
Cuivre	1 gr,1925
Zinc	1 gr,2262
Étain	2 gr,2125
Plomb	3 gr,8812

On voit, en tenant compte des équivalents chimiques, que le plomb est moins propre que les autres métaux à procurer des accumulateurs légers ; il est plus volumineux que le zinc, le fer, le cuivre, et presque aussi coûteux que ce dernier métal.

Aussi les inventeurs doivent-ils tendre à mettre en œuvre autre chose que du plomb — en conservant aux accumulateurs nouveaux les qualités du Planté : f. e. m. élevée, résistance petite, actions locales presque nulles.

Quelques tentatives ont été faites dans ce sens.

Dès le commencement de 1880, MM. J. Houston et Elihu Thomson proposèrent un couple secondaire cuivre, charbon,

(1) Dans le tableau de la page 66.

sulfate de zinc, que l'électrolyse transformait en une sorte de daniell à gravité (1). Cet appareil n'avait guère que des défauts; il ne put recevoir aucune application.

A l'Exposition d'électricité de 1881, M. Maiche annonçait la régénération électrique des piles Leclanché : en fait, c'était proposer un accumulateur zinc-manganèse; mais il n'y avait là qu'une indication. Le couple secondaire zinc-manganèse semble propre à fournir, *moyennant des dispositifs appropriés*, un bon accumulateur; mais les piles très résistantes de Leclanché n'en sauraient être le type. D'ailleurs, M. Maiche, commettant un singulier contresens, avait affiché la *suppression des accumulateurs!* et la forme de cette réclame n'était point faite pour retenir l'attention des électriciens sérieux.

On dit que M. Varley vient de reprendre, en Amérique, l'idée de la pile secondaire zinc-manganèse. Son accumulateur serait constitué par des électrodes de charbon (carton calciné) plongeant dans une dissolution de sulfates de zinc et de manganèse : cette combinaison paraît bonne; mais comment l'inventeur a-t-il résolu les difficultés pratiques ?

Quelques électriciens, notamment M. Gramme, ont expérimenté la capacité d'accumulation des voltamètres à électrodes de charbon; ces essais n'ont pas encore donné de résultats.

Entre l'accumulateur à deux électrodes de plomb et la re-

(1) *L'Électricien*, 17 janvier 1880.

cherche des accumulateurs sans plomb, il y a une solution transitoire : l'emploi du plomb pour l'électrode positive seulement.

En janvier 1880, M. d'Arsonval inventa un système de *condensateur voltaïque* fort bien conçu, qui aurait pu prendre place dans la pratique industrielle. La description que l'auteur en a donnée (1) sera citée avec profit :

« En voyant les effets énergiques, mais très courts, développés par les piles secondaires, et principalement par la batterie de M. Gaston Planté, je me suis demandé s'il n'était pas possible d'obtenir un condensateur voltaïque pouvant emmagasiner une quantité d'électricité beaucoup plus grande.... J'ai eu l'idée de remplacer le dégagement de l'hydrogène, *métal gazeux*, par un dégagement de zinc, *métal solide*. Ce n'est plus l'eau que j'électrolyse, mais bien un sel de zinc. D'un autre côté, j'ai considérablement augmenté la surface du plomb offerte à l'oxydation en remplaçant la lame unique par une lame de charbon entourée de grenaille de plomb très fine. La surface du plomb devient énorme si l'on prend ces grains de plomb très fins, désignés dans le commerce sous le nom de *cendrée*. Mon couple secondaire se compose donc d'une lame de zinc et d'une lame de charbon entourée de cendrée plongeant dans une solution concentrée de sulfate de zinc. Si un couple ainsi construit est traversé par un courant voltaïque allant du charbon au zinc, le sel de zinc se trouve électrolysé, le zinc se dépose sur le zinc, et l'oxygène vient former sur le plomb du peroxyde de plomb, l'acide sulfurique restant à l'état libre. Le dépôt du métal oxydable ne se trouve plus limité, et l'oxygène peut être accumulé en beaucoup plus grande quantité. Avec un petit couple qui ne contenait que 1^{kg} de cendrée, j'ai pu faire fonctionner, quatre heures durant, un moteur électrique Deprez.

» Dans la pratique, j'ai remplacé avantageusement la lame de zinc par une couche de mercure, qui forme un amalgame avec le zinc électrolysé. Dans ces conditions, le couple m'a paru conserver très longtemps sa charge. J'ai trouvé sa f. e. m. maxima égale à 2 volts, 1.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 26 janvier 1880.

» Le plomb n'est pas le seul métal qui puisse servir avantageusement à emmagasiner l'oxygène; le manganèse produit le même résultat: c'est même un excellent moyen de recharger les couples Leclanché épuisés. Je citerai aussi l'argent, qui, en présence du chlorure de zinc, donne un dépôt de chlorure d'argent..... »

On voit que M. d'Arsonval a devancé M. Maiche dans la régénération électrolytique des piles au manganèse, comme il m'a devancé, quant au principe, dans l'invention des *accumulateurs au zinc*, dont il sera question tout à l'heure.

En 1881, M. Sutton essaya de remplacer l'acide sulfurique par le sulfate de cuivre, dans la pile Planté; il obtint ainsi un accumulateur *cuivre réduit, plomb peroxydé, solution acidulée de sulfate de cuivre*. L'auteur ne fit là-dessus aucune mesure et n'imagina aucun dispositif spécial; le spécimen d'accumulateur Sutton qui me fût montré il y a deux ans était construit dans la forme des couples en spirale de M. Planté. Il était évident, *à priori*, que des communications s'établiraient rapidement entre les deux électrodes par du cuivre métallique et des oxydes de plomb tombant au fond du récipient et sur les bandes d'isolement. Une combinaison nouvelle réclame généralement une étude et la création de dispositifs appropriés. M. Sutton paraît ne pas avoir su ou voulu se livrer à ce travail, et le silence s'est fait sur son ébauche d'accumulateur.

Il me sembla pourtant que la combinaison d'un positif Planté avec un négatif *soluble*, tel que le cuivre ou le zinc, présentait des avantages importants.

En premier lieu, la *formation* Planté, délicate et longue, se trouve simplifiée et raccourcie de beaucoup ; car le négatif se forme d'emblée, et l'on n'a plus à pratiquer lentement, méthodiquement, ce travail de Pénélope qui consiste à réduire et oxyder un grand nombre de fois ce qu'on a oxydé et réduit. L'accumulateur au cuivre ou au zinc peut être formé sans retournement, par charges et décharges successives, de durées croissantes. *Pour le former, il suffit de s'en servir.* En second lieu, l'électrode négative n'a pas besoin de grande surface ou de porosité ; c'est simplement une feuille lisse de plomb, servant de support et de conducteur au dépôt électrochimique de cuivre ou de zinc.

Au mois de février 1883, j'eus l'occasion d'essayer ce système. Je passais par Nantua ; la municipalité de cette ville me demanda des expériences tendant à démontrer la possibilité d'une canalisation électrique, avec utilisation des forces naturelles disponibles (1). Il fallait des accumulateurs, et je dus en improviser sur place ; MM. Bachoud-Caillat, fabricants de tabletterie à Nantua, offrirent leur personnel pour les construire.

Mettant rapidement en œuvre les moyens dont je disposais, je fis fabriquer, en peu de jours, des accumulateurs de la forme indiquée (*fig. 32*).

L'électrode positive (*fig. 34*) est une longue feuille de plomb mince, plissée et ajourée, puis roulée en forme de

(1) Voir le n° 512 de *la Nature* du 24 mars 1883, p. 266, et *l'Électricien* du 15 mai 1883.

cylindre sur une carcasse centrale en bois; la négative est un cylindre lisse en plomb *cuivré* ou *zingué*, tapissant le récipient; elles sont portées sur un croisillon et séparées l'une de l'autre par une cage de bois ou d'osier (*fig. 33*). Le récipient est une benne en sapin, goudronnée à l'intérieur et solidement cerclée par des ceintures de cuivre.

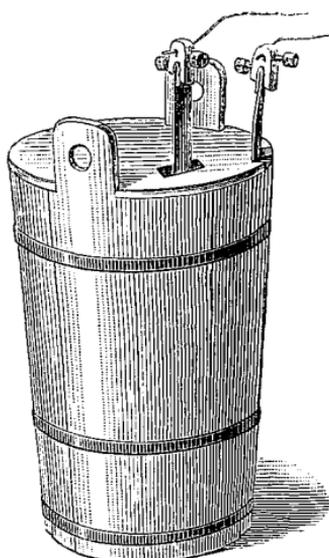


Fig. 32.

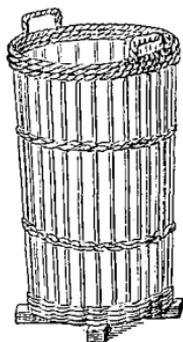


Fig. 33.

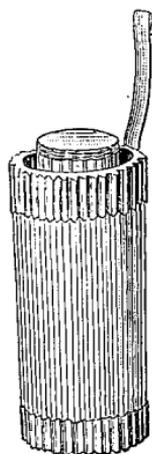


Fig. 34.

Fig. 32.

ACCUMULATEUR AU ZINC (ou au cuivre)

ayant servi aux expériences de Nantua (*Bachoud-Caillat*).

Largeur maximum.....	0 ^m ,25
Hauteur totale.....	0 ^m ,65
Poids total.....	22 kilos.

Fig. 33.

CAGE EN BOIS OU EN OSIER

séparant les deux électrodes.

Fig. 34.

ÉLECTRODE POSITIVE, PLISSÉE ET AJOURÉE

enroulée sur une carcasse de bois.

Le liquide est de l'eau acidulée sulfurique tenant en dissolution du sulfate de cuivre ou de zinc.

Les surfaces actives sont 105 décimètres carrés pour l'électrode positive et 18 décimètres carrés pour la négative.

La f. e. m. est 1^{volt},2 pour l'accumulateur *au cuivre*, et 2^{volts},3 pour l'accumulateur *au zinc* : celui-ci est donc beaucoup plus énergique que celui-là, mais son électrode négative est le siège d'une action locale parasite qui abaisse son rendement.

Le poids de l'accumulateur est 22 kilos ; sa capacité, 300 000 coulombs ; sa résistance, 0^{ohm},06 environ, et son débit normal 12 ampères.

Ces appareils, d'aspect un peu trop rustique, ont suffi aux expériences qui motivèrent leur fabrication. Il en fut même livré au commerce un certain nombre par la maison Bachoud-Caillat (1).

Le modèle Nantua a maintenant disparu pour faire place aux suivants qui sont mieux agencés.

Le petit *accumulateur au cuivre* (fig. 35) a, comme électrode positive P, une longue plaque de plomb mince, plissée et ajourée, soudée à sa partie supérieure dans une monture de laiton, laquelle est fixée sur une traverse en bois paraffiné. Les deux lames latérales négatives N, N, sont des feuilles de plomb lisses, cuivrées par l'électrolyse de la

(1) J'ai appris que certain syndicat s'en était servi, avec un succès relatif, pour des expériences publiques faites à Lyon et à Saint-Étienne, en vue d'une affaire financière à laquelle je suis resté étranger.

solution acidulée de sulfate de cuivre contenue dans le vase de verre; elles sont reliées entre elles en dehors du liquide. Un couvercle de bois soutient les trois électrodes, dont les extrémités inférieures s'arrêtent à plusieurs centimètres au-dessus du fond du vase.

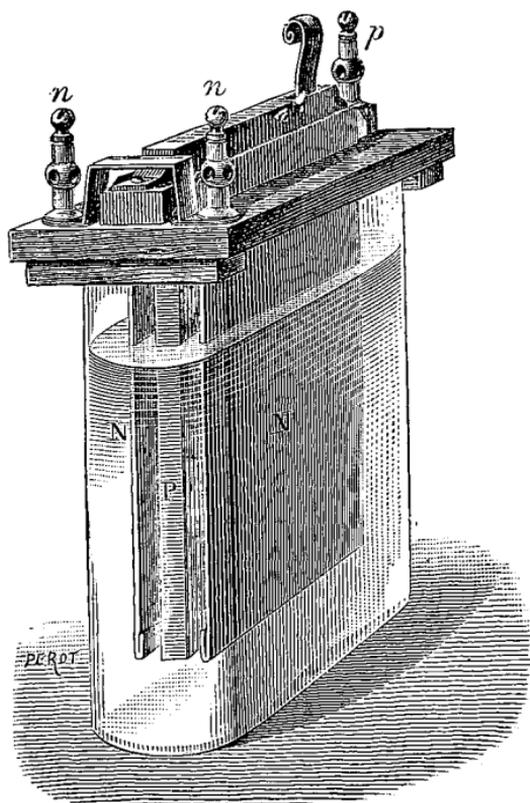


Fig. 35.

ACCUMULATEUR AU CUIVRE OU AU ZINC

système Reynier (*A. Simmen*).

Longueur.....	0 ^m ,205
Largeur.....	0 ^m ,105
Hauteur totale.....	0 ^m ,310
Poids total.....	7 kilos.

Cette précaution a pour but d'éviter les dérivations par des fragments de plomb oxydé ou de cuivre réduit; ces fragments tombent au fond du récipient, sans rencontrer aucun obstacle qui les retienne au contact des électrodes. Le *coefficient de restitution*, ou, si l'on aime mieux, le rapport entre les nombres de coulombs entrés et sortis, se trouve ainsi ramené plus près de l'unité.

Les électrodes *suspendues* ont, en outre, l'avantage de ne pas s'affaisser, quand une *formation* profonde en a diminué la solidité. Leur poids porte sur les parois verticales du récipient, lesquelles, travaillant *de champ*, les supportent sans fatigue; quant au fond, il ne reçoit d'autre charge que la pression du liquide et n'exige plus une épaisseur et un poids considérables.

En remplaçant le sulfate de cuivre par le sulfate de zinc, l'appareil devient un *accumulateur au zinc*. Pour atténuer l'attaque locale du zinc, on amalgame l'électrode négative: la f. e. m. s'élève alors à 2volts,37, et la perte est beaucoup diminuée.

Voici quelques renseignements numériques sur le petit modèle d'accumulateurs au cuivre ou au zinc:

DONNÉES PHYSIQUES

<i>E.</i> Forces électromotrices, 1,26 volt (cuivre) et 2.37 volts (zinc).	
<i>R.</i> Résistance moyenne.....	0,06 ohm environ.
<i>I.</i> Intensité normale du courant de décharge.	5 à 7 ampères.
<i>i.</i> Intensité du courant de charge.....	1 à 3 ampères.
<i>Q.</i> Capacité d'accumulation,	
— après 100 h. de formation.....	100 000 coulombs.
— après 200 h. de formation....	150 000 coulombs.

DONNÉES DE CONSTRUCTION

Surface de l'électrode positive.....	60 d. q.
— des électrodes négatives.....	5 d. q.
Poids de l'électrode positive.....	2 ^k ,200
— des électrodes négatives.....	0 ^k ,740
— du récipient.....	1 ^k ,600
— du liquide.....	2 ^k
— du couvercle.....	0 ^k ,200
— des bornes et communications.....	0 ^k ,250
— total.....	environ 7 kilos.

Le positif en plomb plissé et ajouré peut être combiné avec des négatifs semblables; on revient ainsi à un accumulateur *genre Planté* (fig. 36), constitué par une électrode positive centrale P, et deux électrodes négatives latérales N, N, reliées entre elles en dehors du récipient contenant de l'eau acidulée sulfurique.

Les données numériques relatives à l'accumulateur genre Planté sont :

DONNÉES PHYSIQUES

E. Force électromotrice pendant la décharge.....	1,85 volt.
R. Résistance moyenne.....	0,04 ohm.
I. Intensité normale du courant de décharge.....	7 à 8 ampères.
i. Intensité du courant de charge.....	1 à 5 ampères.
Q. Capacité d'accumulation,	
— après 300 h. de formation.....	100 000 coulombs.
— après 500 h. de formation.....	150 000 coulombs.

DONNÉES DE CONSTRUCTION

Surface de l'électrode positive.....	60 d. q.
— des électrodes négatives.....	120 d. q.
Poids de l'électrode positive.....	2 ^k ,100
— des électrodes négatives.....	4 ^k ,200
— du récipient.....	1 ^k ,600
— du liquide.....	1 ^k ,800
— du couvercle.....	0 ^k ,200
— des bornes et des communications.....	0 ^k ,150
— total.....	environ 10 kilos.

Les trois systèmes de pile secondaire qu'on vient de décrire ont été l'objet d'expériences comparatives. Conformément aux prévisions de la théorie (1), l'accumulateur au zinc s'est montré supérieur aux deux autres; j'ai donc fait choix

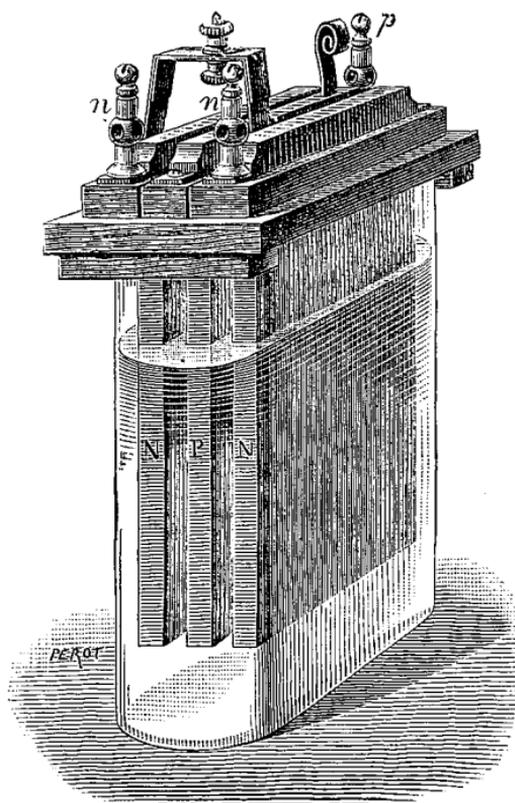


Fig. 36.

ACCUMULATEUR GENRE PLANTÉ (A. Simmen).

Longueur.....	0 ^m ,205
Largeur.....	0 ^m ,105
Hauteur totale.....	0 ^m ,350
Poids total.....	11 kilos.

(1) Voir *Conséquences pratiques de la Théorie chimique des Accumulateurs*, p. 144.

de ce système pour la réalisation d'un *modèle industriel*, dont la figure 37 montre les détails de construction.

L'appareil comporte 4 positifs Plauté à grande surface, plissés et ajourés, et 3 négatifs constitués par des lames de plomb lisse, qui se couvrent de zinc par l'électrolyse

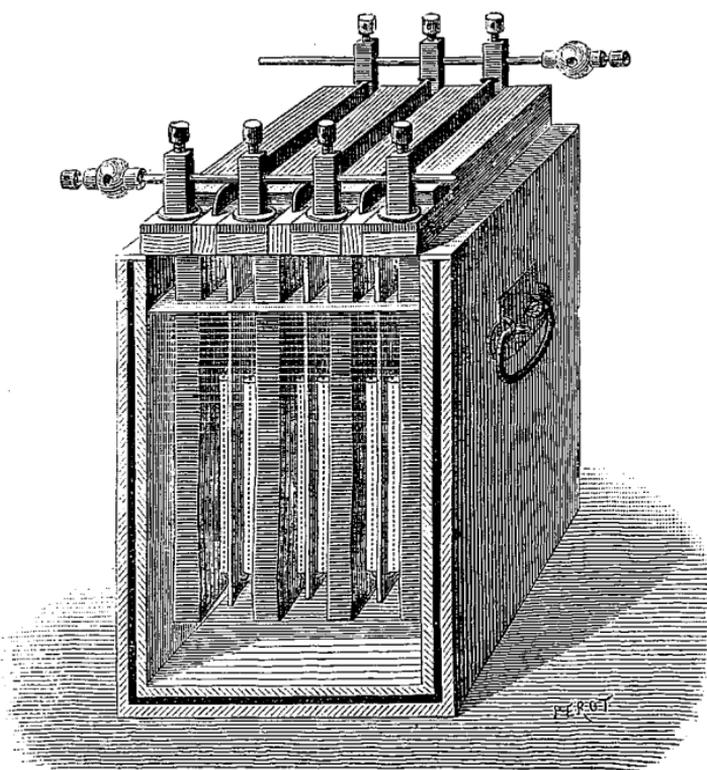


Fig. 37.

ACCUMULATEUR AU ZINC
modèle industriel (*A. Simmen*).

Longueur	0 ^m ,185
Largeur	0 ^m ,185
Hauteur totale.....	0 ^m ,345
Poids total.....	47 k. 500.

de la solution acidulée de sulfate de zinc dont le couple est baigné. Des tubes de verre, fixés sur les négatifs au moyen de cordelettes en plomb, empêchent les contacts accidentels à l'intérieur de la pile.

Les sept électrodes sont portées par autant de traverses distinctes, en bois paraffiné, qui reposent sur les bords du récipient et soutiennent les plaques à une certaine distance du fond; l'ensemble de ces traverses qui se touchent tient lieu de couvercle.

Chaque plaque est munie d'une borne; les 4 bornes positives se présentent du même côté et les 3 négatives du côté opposé. Deux tringles de laiton terminées par un serre-fil relient respectivement les bornes de même nom.

Le récipient est constitué par deux caisses parallépipédiques en bois, l'une enveloppant l'autre, avec un jeu de plusieurs millimètres. Cet intervalle est garni d'un mastic étanche, souple et isolant, à base de bitume. J'ai eu d'abord quelque peine à réussir le garnissage interne de ces récipients; mais aujourd'hui on l'obtient sans difficulté, grâce à un outillage spécial et à certains tours de main que la pratique a révélés.

L'isolement soigné de la caisse et de toutes les parties de l'appareil, la pureté du métal déposé électrolytiquement et son *amalgamation*, réduisent à presque rien l'attaque locale du zinc, qui était assez grande dans l'ancien modèle de Nantua. Aussi le *coefficient de restitution* est-il maintenant comparable à celui des accumulateurs genre Planté.

On pourrait aisément réduire l'accumulateur à son poids rationnel; mais sa solidité et sa durée diminueraient. Dans l'état actuel de la question, je préfère exagérer la solidité et réduire le prix de revient, pour ouvrir aux accumulateurs l'accès de la pratique industrielle, et leur acquérir la confiance des électriciens, que les agissements de l'empirisme ont mis sur la défensive.

Malgré l'exagération voulue de son poids, l'accumulateur au zinc à 4 positifs est plus léger que tous ceux réalisés jusqu'ici sur le continent (1). En effet :

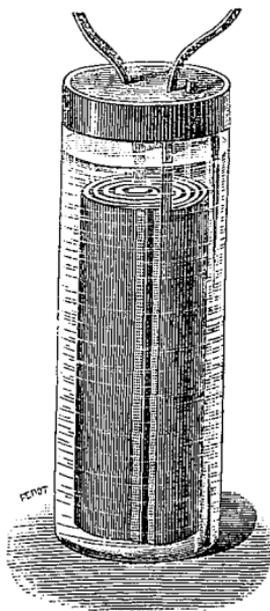


Fig. 38.

ACCUMULATEUR PLANTÉ
Modèle à lames de plomb roulées en spirale (1860).

(1) Il convient de faire des réserves relativement à certains modèles d'accumulateur Faure construits en Angleterre, auxquels on attribue une capacité très grande, mais non invraisemblable.

1 kilo d'accumulateur Planté (<i>fig. 38</i>), emmagasine.....	1 500 kgmètres.
1 kilo d'accumulateur Faure, ancien modèle de 8 kilos, à cloisonnement d'escot (<i>fig. 39</i>), emmagasine.. .. .	3 000 kgmètres.
1 kilo d'accumulateur Faure, à cellules, modèle de 30 kilos (<i>fig. 42</i> , p. 164), emmagasine.....	4 400 kgmètres.
1 kilo d'accumulateur au zinc, modèle industriel à 4 positifs, emmagasine.....	7 600 kgmètres.

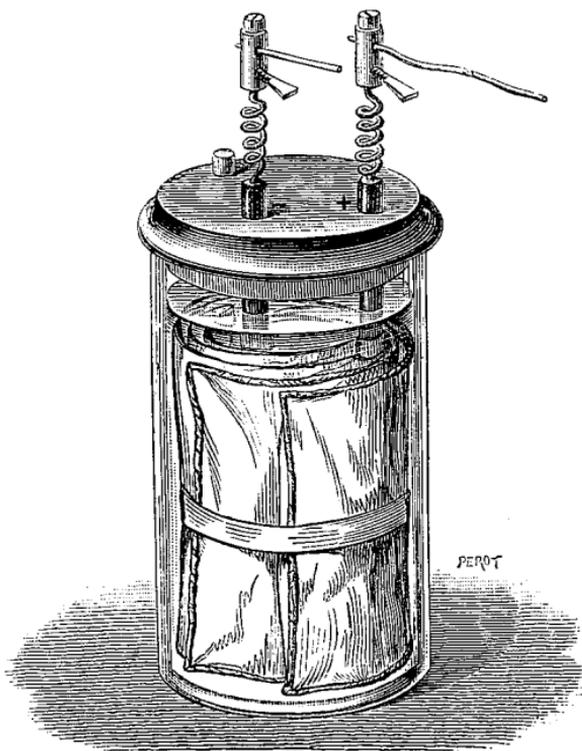


Fig. 39.

ACCUMULATEUR FAURE

ancien modèle, 1881 (*Reynier*).

Électrode positive : longueur 0^m,54 ; largeur 0^m,15 ; poids du minium, 1k,150.

Électrode négative : longueur 0^m,56 ; largeur 0^m,15 ; poids du minium, 1k,200.

Diamètre extérieur du récipient..... 0^m,135

Hauteur jusqu'au plan supérieur du couvercle..... 1^m,065

Poids total..... 8 kilos environ.

Le nouveau modèle d'accumulateur au zinc (*fig. 37*) possède donc, malgré le renforcement considérable des positifs et de la boîte, une légèreté relative, qui lui permettrait de prendre place sur des locomotives électriques aussi bien que dans des installations fixes.

SUR LES VARIATIONS DE LA F. E. M. DANS LES ACCUMULATEURS (1).

M. Gaston Planté a, le premier, remarqué les variations de la f. e. m. dans les accumulateurs. Étudiant la décharge de sa pile secondaire à lames de plomb, il constate et explique ces variations :

« Nous faisons abstraction ici (dans le tracé de la courbe des intensités du courant secondaire) de l'effet produit pendant les premiers instants de la décharge qui suivent la rupture du courant primaire. Aussitôt après cette rupture, il y a toujours un effet maximum dû à la double origine de la force électromotrice secondaire produite. Cette force, ainsi que cela résulte de l'étude des voltamètres, est due aux actions chimiques exercées par le courant primaire à la fois sur les électrodes et sur le liquide qui les entoure.

» Les produits résultant de cette dernière action, tels que l'eau oxygénée, formés en très petite quantité, très instables et peu adhérents aux électrodes, sont immédiatement réduits ou se mélangent au reste du liquide. Alors même qu'on laisse le circuit secondaire ouvert, leur action disparaît, comme nous le verrons plus loin, en traitant de la force électromotrice des couples secondaires.

» Les produits résultant, au contraire, de l'action du courant primaire sur les électrodes, sont formés en certaine quantité, restent adhérents aux électrodes et ne changent de nature que lorsqu'on ferme le circuit secondaire.

» De là deux actions contribuant à la production du courant secondaire dans les couples dont il s'agit : l'une n'agissant que pendant les

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 janvier 1884. *L'Électricien* du 1^{er} février 1884.

premières secondes qui suivent la rupture du courant primaire, l'autre pouvant se prolonger pendant une heure.

» C'est ce dernier effet, ce courant persistant des couples secondaires, qui présente la constance que nous avons signalée plus haut (1). »

Un peu plus loin, le savant physicien rend compte des mesures faites par lui sur la f. e. m. de sa pile secondaire :

« Dans une expérience entre autres, faite sur 40 éléments secondaires chargés tous simultanément par trois couples de Bunsen, et réunis en tension au moment de la décharge, nous avons obtenu une attraction de la balance électro-magnétique égale à $9^{\text{sr}},450$, ce qui correspond à $0^{\text{sr}},236$ par couple secondaire. La force électromotrice d'un élément de Bunsen, mesurée à l'aide de la même balance, a été trouvé égale à $0^{\text{sr}},164$.

» Si l'on prend cette force électromotrice pour unité, on en déduit, pour celle de l'élément secondaire à lames de plomb, le nombre 1,44.

» En opérant sur un seul couple secondaire bien formé, on a nécessairement une charge plus parfaite, même avec deux éléments de Bunsen, comme source primaire, au lieu de trois, comme dans l'expérience précédente, et la plupart des nombres que nous avons obtenus se sont trouvés alors compris entre 1,45 et 1,50.

» On peut donc considérer la force électromotrice inverse des couples secondaires à lames de plomb, observée aussitôt après la rupture du courant primaire, comme approximativement égale à une fois et demie celle de l'élément de Bunsen, ou à deux fois et demie environ celle de l'élément de Daniell.

» C'est, du reste, le résultat que nous avons trouvé avec un simple voltamètre.

» Si l'on mesure cette force électromotrice deux ou trois minutes après la rupture du courant primaire, alors même que le circuit secondaire est resté ouvert, on la trouve notablement diminuée et réduite à 1,17, par suite de la disparition des causes qui produisent une polarisation de courte durée et que nous avons rappelées ci-dessus.

(1) *Recherches sur l'Électricité*, par Gaston Planté. Paris, février 1879. Pages 67 et 68 de la réimpression dudit ouvrage. Paris, 1883, aux bureaux de la revue *la Lumière électrique*.

» Mais la force électromotrice se maintient, à ce degré, très constante pendant presque toute la durée de la décharge (1). »

De ces citations il ressort clairement :

Que la f. e. m. d'un accumulateur Planté est plus grande aussitôt après la charge (et à *fortiori* pendant la charge même), qu'après un certain temps écoulé depuis l'interruption du courant primaire ;

Et que l'intensité du courant de charge influe sur la valeur de cette surélévation fugitive de la f. e. m.

Ces variations ont sans doute plus d'une cause; celle signalée par M. Gaston Planté est la plus importante; mais on en peut entrevoir d'autres, d'ordre physique. Quel que soit le mécanisme intime de ces actions, elles ont pour conséquence pratique d'abaisser le *rendement* des accumulateurs; car la somme d'énergie dépensée pour charger la pile secondaire est proportionnelle à la grandeur de la f. e. m. qu'elle possède pendant la charge, — tandis que la quantité d'énergie récupérée est proportionnelle à la grandeur de la f. e. m. pendant la décharge.

Le rapport entre cette dernière valeur de la f. e. m. et la première est un coefficient supplémentaire de perte, que j'appellerai *coefficient de baisse*. On devra en tenir compte dans la pratique industrielle.

Il est donc utile de rechercher les valeurs absolues et relatives de la f. e. m. des accumulateurs, système Planté et autres. Ces mesures, et l'étude de leurs conséquences pratiques, font l'objet du présent travail.

(1) *Ibid.*, pp. 74 et 75.

I

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Pour la mesure des f. c. m. j'ai employé la méthode dite de *l'égalé déviation*. Le dispositif expérimental comporte un étalon de f. c. m., une boussole galvanométrique, un rhéostat et une série de couples primaires constants du genre Daniell.

L'étalon est mon couple zinc amalgamé, cuivre, solution de sel marin, décrit dans ce Recueil (1); sa f. e. m. est 0^{volt},82.

Le galvanomètre est une boussole horizontale de grandes dimensions, orientée sans aimant directeur; son cadre est enroulé d'un fil de maillechort long et assez gros, dont la résistance est de 500 ohms. Les deux extrémités de ce fil sont respectivement reliées aux deux pôles du couple en expérience, la première directement, la seconde indirectement, par le rhéostat.

Cet instrument comprend des bobines en fil de maillechort de 10, 100 et 1000 ohms, permettant d'ajouter à la résistance du cadre galvanométrique une résistance variant de 0 à 2500 ohms, par fractions de 10 ohms.

On commence par noter la déviation que donne le couple-étalon fermé sur le fil galvanométrique, avec une résistance

(1) Voir p. 9.

additionnelle de 320 ohms; la résistance totale étant 820 ohms (la résistance de l'étalon est négligeable), l'intensité du courant $\frac{0,82}{820} = 1$ milliampère. La déviation observée, l'étalon peut être écarté; il interviendra à nouveau quand on voudra s'assurer que la constante magnétique et l'orientation de la boussole n'ont pas varié.

On met alors l'accumulateur à mesurer dans le circuit du galvanomètre et du rhéostat, en réglant celui-ci de manière à ramener l'index de la boussole à la déviation précédemment enregistrée. L'intensité du courant étant alors un milliampère, la f. e. m. cherchée est exprimée en millivolts par le nombre d'ohms compris dans la résistance totale.

On suppose que l'ensemble des actions magnétiques (quelconques) agissant sur la boussole ne varie pas entre deux observations; cette hypothèse, que des précautions vulgaires rendent légitime, est la seule que comporte la méthode de *l'égale déviation*. Il n'est pas indispensable, pour obtenir des mesures vraies, que les résistances de la boussole et du rhéostat soient exactes absolument: il suffit que leurs rapports soient justes. C'est dire que les variations accidentelles de la température du laboratoire sont sans importance, car elles modifient fort peu, et dans la même proportion, toutes les résistances mises en jeu.

Dans l'espèce, les résistances propres des accumulateurs expérimentés sont négligeables. L'émission d'un courant de 1 milliampère dans le circuit galvanométrique est sans influence appréciable sur la valeur de la f. e. m. pendant la

charge, — et pour l'évaluation de la f. e. m. pendant la décharge, elle nous place dans des conditions qu'on peut considérer comme celles d'un régime de vidage très petit.

La pile de charge, qui complète l'ensemble, se compose de petits couples Daniell dont les constantes sont $1^{\text{volt}},02$ et $\frac{1}{3}$ ohms. Au moment voulu, on oppose à l'accumulateur en expérience 2, 3 ou 4 daniells. A cause de la grande résistance relative de la pile de charge, la différence de potentiel entre les deux points de jonction diffère très peu de la f. e. m. propre de l'accumulateur, et peut être confondue avec elle.

Des dispositions ont été prises pour rendre commode et économique l'installation de l'ensemble; mais la description de cet agencement, intéressante peut-être, serait ici un hors-d'œuvre.

II

FORCES ÉLECTROMOTRICES DES ACCUMULATEURS

GENRE PLANTÉ

La pile secondaire mise en expérience est du modèle décrit page 104 et fig. 36. Les données de l'appareil sont :

Surface de l'électrode positive.....	60 d. q.
— des électrodes négatives.....	120 d. q.
Poids de l'électrode positive.....	2 ^k ,800
— des électrodes négatives.....	5 ^k ,600
— du liquide.....	1 ^k ,300
Résistance moyenne, environ.....	0,04 ohm.

La capacité d'accumulation de ce modèle varie avec son degré de *formation*; elle peut dépasser 130 000 coulombs.

Le spécimen expérimenté n'était pas formé profondément (1); sa capacité n'était que de 40 000 coulombs.

On l'a d'abord chargé à *refus* pendant vingt-quatre heures, par une pile dont les constantes étaient 6 volts et 3 ohms; l'intensité du courant de charge était environ 2 ampères.

Cinq minutes après l'interruption de la charge, la f. e. m. de l'accumulateur était 2^v08.

Une minute de fermeture en court circuit l'a fait tomber à 1^v84; aussitôt après l'ouverture du court circuit, la f. e. m. remonte pendant deux minutes : elle atteint 1^v85, et s'y maintient pendant vingt-quatre heures.

Cette valeur de 1^v85 peut être considérée comme celle de la f. e. m. *effective* d'un accumulateur genre Planté, quand l'intensité du courant de décharge est fort petite.

Pour mesurer la f. e. m. *pendant la charge*, on oppose à l'accumulateur les daniells résistants préparés dans ce but : on voit alors la f. e. m. s'élever pendant quelques minutes, puis s'arrêter à une valeur à peu près fixe. On a trouvé :

Avec 3 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	3,06 volts.
Résistance.....	15 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,07 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	1,95 volt.

Avec 4 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	4,08 volts.
Résistance.....	20 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,08 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	2,51 volts.

L'intensité du courant de charge était à peu près la même

(1) Cette circonstance a dû influencer sur les valeurs de la f. e. m.,

dans les deux cas ; néanmoins, la surélévation de la f. e. m. a été beaucoup plus grande avec 4 daniells qu'avec 3. On se rappelle que M. Gaston Planté, cité plus haut, a trouvé par contre la surélévation la plus grande avec la source de moindre f. e. m., mais avec un régime de charge plus intense. Ces résultats différents ne sont pas contradictoires.

Dans tous les cas, les f. e. m. surélevées retombent spontanément à 1^{volt},85 quand on interrompt la charge.

III

FORCES ÉLECTROMOTRICES DES ACCUMULATEURS AU CUIVRE ET AU ZINC

Les piles secondaires *au cuivre et au zinc* ne diffèrent entre elles que par la composition de leur liquide. Celles qu'on a mises en expérience (*voir* la fig. 35) ont une grande analogie de construction avec l'accumulateur genre Planté étudié précédemment. L'électrode positive est la même ; les électrodes négatives latérales sont des feuilles de plomb lisses, cuivrées ou zinguées par l'électrolyse de la dissolution acidulée de sulfate de cuivre ou de zinc contenue dans le récipient. Voici les données de ces accumulateurs :

Surface de l'électrode positive.....	60 d. q.
— des électrodes négatives.....	5 d. q.
Poids de l'électrode positive.....	2 ^k ,800
— des électrodes négatives.....	0 ^k ,650
— du liquide.....	1 ^k ,700
Résistance moyenne, environ.....	0,04 ohm.

qui sont un peu plus grandes dans les accumulateurs complètement *formés*.

La capacité d'accumulation de ces accumulateurs n'était que de 45 000 coulombs, soit environ le tiers de la grandeur qu'elle peut atteindre par une formation prolongée (1).

Les expériences, conduites de la même manière que les précédentes, ont donné les résultats suivants :

1°. — ACCUMULATEUR AU CUIVRE.

Avec 2 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	2,04 volts.
Résistance.....	10 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,06 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	1,43 volt.

Avec 3 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	3,06 volts.
Résistance.....	15 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,1 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	1,47 volt.

Avec 4 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	4,08 volts.
Résistance.....	20 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,13 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	1,5 volt.

Quand on force le régime de charge, la f. e. m. peut s'élever jusqu'à 1^{volt},7. Cette circonstance m'avait antérieurement induit en erreur sur la puissance de l'accumulateur au cuivre.

Après cessation de la charge, la f. e. m. descend jusqu'à 1^{volt},26, et même un peu au-dessous. La chute de potentiel utilisable dans une décharge très lente serait 1^{volt},25.

(1) Le degré de formation doit avoir moins d'influence sur les valeurs de la f. e. m., dans les accumulateurs *au cuivre* ou *au zinc*, que dans ceux du genre *Planté*.

2°. — ACCUMULATEUR AU ZINC AMALGAMÉ

Avec 3 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	3,06 volts.
Résistance.....	13 ohms.
Régime de la charge....	0,04 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur....	2,4 volts.

Avec 4 daniells :

Force électromotrice de la pile de charge.....	4,08 volts.
Résistance.....	20 ohms.
Intensité du courant de charge.....	0,08 ampère.
Force électromotrice de l'accumulateur.....	2,425 volts.

Après interruption de la charge, la f. e. m. descend à 2,365 volts et conserve cette valeur pendant vingt-quatre heures.

La chute de potentiel utilisable dans une décharge très lente serait donc 2^volts,36 environ. L'accumulateur au zinc *amalgamé* est celui qui a la moindre surélévation de force électromotrice.

IV

CONCLUSIONS

Mes expériences confirment, précisent et étendent les observations déjà anciennes de M. Gaston Planté, sur les variations de la f. e. m. dans les accumulateurs. Les conclusions de ce travail peuvent être formulées ainsi :

I. — Dans les trois systèmes d'accumulateurs étudiés, la f. e. m. secondaire est notablement plus grande durant la charge que pendant la décharge. Le rapport de la plus petite de ces valeurs à la plus grande pourrait être appelé *coeffi-*

cient de baisse; c'est un facteur de perte qui affecte notablement le *rendement* des accumulateurs.

II. — La surélévation fugitive de la f. e. m. de l'accumulateur augmente :

- 1° avec l'intensité du courant de charge (G. Planté);
- 2° avec la f. e. m. de la source.

III. — Dans les *accumulateurs Planté*, la f. e. m. est au moins 1^{volt},95 pendant la charge, et au plus 1^{volt},85 pendant la décharge (1). Le *coefficient de baisse* est donc 0,95 dans les conditions les plus favorables.

IV. — Dans les *accumulateurs au cuivre*, la f. e. m. est au moins 1^{volt},43 pendant la charge, et au plus 1^{volt},25 pendant la décharge. Le *coefficient de baisse* serait donc 0,87 dans les conditions les plus favorables. L'accumulateur au cuivre est celui qui perd le plus.

V. — Dans l'*accumulateur au zinc amalgamé*, la f. e. m. est au moins 2^{volts},4 pendant la charge, et au plus 2^{volts},36 pendant la décharge. Le *coefficient de baisse* est donc 0,983 dans les conditions les plus favorables. L'accumulateur au zinc amalgamé est celui qui perd le moins.

VI. — Dans la pratique, les pertes à subir par les varia-

(1) Ces chiffres sont applicables à tous les systèmes d'accumulateurs dérivant du Planté, tels que ceux de M. Faure, de M. de Kabath, de M. Tommasi, de MM. Arnould et Tamine, etc.

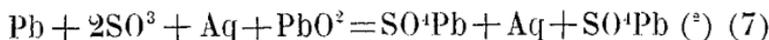
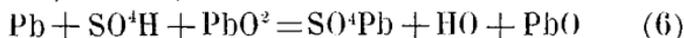
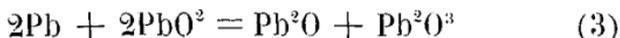
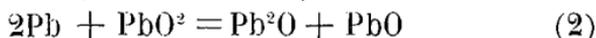
tions de la f. e. m. seront presque toujours supérieures à celles qui viennent d'être indiquées, parce qu'on emploie généralement des régimes de charge et de décharge plus rapides que ceux correspondant aux expériences dont les résultats sont résumés ici.

ESSAI

SUR LA THÉORIE CHIMIQUE DES ACCUMULATEURS (1).

L'étude des réactions chimiques qui s'accomplissent dans les accumulateurs, pendant la charge et la décharge, n'est pas exempte de difficultés. Le mécanisme de ces réactions et leur résultat final n'apparaissent pas nettement, parce que les matières chimiquement intéressées se trouvent intimement mêlées, à l'état pulvérulent, avec les matières indifférentes, dont on ne peut pas les séparer pour faire des analyses directes.

L'absence de constatations précises a livré carrière à une série d'hypothèses plus ou moins justifiées, sur la chimie des piles secondaires du genre Planté. Je résume les principales dans les formules suivantes; le premier membre de chaque équation indiquant l'état chimique des électrodes après la charge, et le second membre leur état chimique après la décharge :



(1) Séances de la *Société française de physique*, 4 avril 1884.
L'Électricien du 1^{er} avril 1883.

(2) Je fais figurer ici Aq pour signaler l'intervention indispensable

Dans ces sept équations, il y en a au moins six d'erronées. Je dois dire immédiatement que la formule (7) est celle à laquelle je me suis rallié.

Cette équation met en jeu deux équivalents d'acide sulfurique.

La sulfatation des deux électrodes, avec production de deux équivalents d'eau, a déjà été indiquée comme possible par des auteurs qui seront cités plus loin. Cette opinion devient moins incertaine par le rapprochement et la discussion des diverses argumentations qu'on va rapporter — et aussi par l'examen des *accumulateurs au cuivre et au zinc* dont les réactions, comparables à celles de piles Planté, comportent une sulfatation non douteuse de l'électrode négative.

On traitera exclusivement des actions chimiques essentielles, — celles qui correspondent à la charge et à la décharge normales, — en faisant abstraction des produits instables, hydrogénés ou suroxygénés, auxquels est due la surélévation onéreuse de la f. e. m. (1).

I

La première opinion à consulter dans l'étude chimique des piles secondaires du genre Planté, c'est celle de leur inven-

de l'eau, sans préjuger le nombre d'équivalents engagés (un, deux...) ni la forme de leur combinaison.

(1) Voir la note sur les *Variations de la f. e. m. dans les accumulateurs*, p. 112.

teur. Des publications faites par ce savant physicien, j'extrais les passages relatifs aux phénomènes chimiques :

« VOLTAMÈTRE A FILS DE PLOMB. — »

» Cette adhérence et cette insolubilité du peroxyde de plomb, jointes à son affinité pour l'hydrogène, en raison du degré élevé de son oxydation, contribuent à faire produire, par un voltamètre à électrodes de plomb, un courant secondaire plus intense et de plus longue durée que celui de tous les autres métaux.

» Le plomb recouvert de peroxyde de plomb se comporte, en effet, dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, d'une manière exactement inverse à celle du zinc dans le même liquide. Il tend à décomposer l'eau, en s'emparant de l'hydrogène, et à devenir le pôle positif d'un couple, si on l'associe à du plomb non oxydé, tandis que le zinc pur tend à décomposer l'eau en s'emparant de l'oxygène, et devient le pôle négatif d'un couple qu'il forme avec un autre métal.

» A cette cause de développement d'un courant secondaire par le voltamètre à électrodes de plomb, s'ajoute encore l'effet produit sur le fil ou la lame du pôle négatif, lorsque le circuit du voltamètre est fermé sur lui-même, après le passage du courant primaire.

» Sous l'action du courant primaire, la lame de plomb placée au pôle négatif ne subit pas un changement aussi marqué que celle du pôle positif; cependant, comme le plomb est toujours plus ou moins oxydé par son exposition à l'air, elle est ramenée à un état métallique plus parfait par l'hydrogène éminemment réducteur de la pile, et sa nuance passe du gris bleuâtre à un gris blanc beaucoup plus clair.

» Lorsqu'on ferme ensuite le circuit secondaire, l'eau étant décomposée à l'intérieur du couple, en même temps que l'hydrogène se porte sur la lame peroxydée, l'oxygène se porte sur la lame maintenue précédemment métallique par le courant primaire et l'oxyde légèrement. Cette oxydation est même visible; car la lame de plomb négative se ternit immédiatement, dès qu'on ferme le circuit secondaire. Une lame de plomb, seule ou associée à une autre lame de plomb identique, ne s'oxyderait pas ainsi dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique et ne donnerait naissance à aucune force électromotrice, pas plus que le zinc pur ou amalgamé, dans les mêmes conditions. Mais, de même que la liaison du zinc pur ou amalgamé avec un autre métal moins atta-

quable, plongeant également dans l'eau acidulée, ou, mieux encore, dans un liquide pouvant se combiner avec l'hydrogène, détermine l'attaque du zinc et, par suite, le développement d'un courant; de même la liaison d'une lame de plomb ordinaire avec une lame de plomb peroxydé, qui tend à décomposer l'eau en s'emparant de l'hydrogène, détermine en même temps l'oxydation de l'autre lame et, par suite, le développement d'un supplément de force électromotrice provenant de cette oxydation.

» Telle est la double action chimique qui se produit dans un voltamètre à électrodes de plomb, dès qu'on ferme le circuit secondaire, après la rupture du courant primaire, et telle est la double cause du développement du courant secondaire énergétique obtenu avec ce métal (1). »

« VOILE D'OXYDE PRODUIT, AU PÔLE POSITIF, PENDANT LA DÉCHARGE DES COUPLES SECONDAIRES. — Si l'on décharge un de ces couples, en faisant rougir, par exemple, un fil de platine, la lame négative conserve d'abord, dans sa partie extérieure visible, la teinte gris clair du plomb métallique, pendant presque tout le temps que dure l'incandescence; mais, dès que le fil cesse de rougir, on voit apparaître un voile sombre qui recouvre la surface extérieure de la lame et lui donne une teinte d'un gris plus foncé. L'oxydation de cette lame par le courant intérieur du couple secondaire n'est pas assez complète ni assez prolongée pour lui donner la teinte du peroxyde de plomb; mais son changement d'aspect physique est néanmoins appréciable et révèle le phénomène chimique produit. Pendant la plus grande partie de la décharge, l'oxydation se développait à l'intérieur de la spirale; vers la fin, elle a envahi peu à peu la lame tout entière, et, naturellement avec plus de lenteur, la partie extérieure qui n'est pas en regard de l'autre électrode (2). »

« C'est, en somme, un dépôt galvanique de peroxyde de plomb qu'il s'agit de produire dans ces couples secondaires, aux dépens de la surface du métal qui n'est pas pénétrable, et cependant le plus épais possible, pour accumuler, sous cette forme, le travail de la pile, et, en

(1) *Recherches sur l'électricité*, par Gaston Planté. Paris, février 1879, p. 17, 18 et 19, de la réimpression dudit ouvrage. Paris, 1883, aux bureaux de la revue *la Lumière électrique*.

(2) *Ibid.*, pp. 63 et 64.

même temps, assez adhérent à la surface de la lame pour pouvoir subir, sans se détacher, une série indéfinie de réductions et de réoxydations successives.

» Cette considération m'a conduit à essayer de produire le peroxyde de plomb sur les lames aux dépens du liquide, afin de pouvoir en accumuler une plus forte épaisseur, et, pour cela, de former ce liquide d'un sel de plomb plus ou moins étendu. Mais alors l'eau acidulée par l'acide sulfurique ne peut plus être employée, car cet acide précipite les sels de plomb; et, si l'on emploie d'autres dissolutions acides contenant ce métal, le plomb se dépose sur la lame négative sous forme d'aiguilles cristallines qui établissent rapidement des contacts avec la lame positive, et arrêtent ainsi toute décomposition ultérieure.

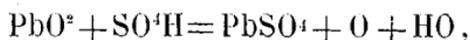
» Si l'on a recours à des dissolutions alcalines, le plomb se dépose sous une forme spongieuse qui augmente rapidement de volume et présente un inconvénient analogue au précédent; de plus, le peroxyde de plomb, une fois déposé, ne tend point à s'attaquer au sein de la dissolution alcaline, comme au sein de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, de sorte qu'on n'obtient plus, dans ces conditions, qu'un très faible courant secondaire.

» Je me suis donc arrêté, jusqu'ici, à l'emploi de l'eau acidulée au 1/10 par l'acide sulfurique qui a toujours fourni, par son action sur le peroxyde de plomb, un courant secondaire d'une intensité supérieure à celle de toutes les autres combinaisons acides ou alcalines (1). »

On voit que M. Gaston Planté a voulu garder une certaine réserve sur les réactions chimiques accomplies dans ses piles; car les citations qui précèdent ne fournissent pas tous les termes de l'équation de la décharge. Pourtant l'auteur signale les propriétés comburantes du peroxyde de plomb *dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique*; il déclare que ce liquide a toujours fourni, *par son action sur le peroxyde de plomb*, un courant secondaire d'une intensité supérieure à celle de toutes les autres combinaisons acides

(1) *Les Mondes*, 2^e série, X^e année, t. XXVII, n^o 11, 14 mars 1872.

ou alcalines. S'il n'y a pas là l'indication d'une formation de sulfate de plomb sur l'électrode peroxydée, selon l'équation



on peut dire que les faits constatés n'y contredisent pas.

Sur l'autre électrode, l'auteur a cru voir se former de l'*oxyde de plomb*, et non du sulfate : opinion contredite par des travaux récents.

D'après M. Planté, d'accord cette fois avec les constatations des chimistes, les réactions de son accumulateur intéresseraient *un* équivalent de plomb sur chaque électrode :

« ... En admettant qu'on ne cherche à transformer que la moitié de l'épaisseur du métal, pour conserver l'autre moitié comme corps de chaque électrode, et même que le peroxyde ne soit réduit, lors de la décharge, qu'à l'état de protoxyde, on pourrait espérer obtenir, à l'aide de cette méthode, un courant de décharge suffisant pour déposer, par kilogramme de plomb du couple secondaire, environ 74 grammes de cuivre, ce qui représenterait une quantité assez considérable d'électricité (1). »

Le poids de plomb actif sur chaque électrode étant 250 grammes, et les équivalents du cuivre et du plomb étant respectivement 31,75 (Dumas) et 103,5 (Dumas et Stas), on trouve en effet :

$$250 : 74 :: 103,5 : 31,75,$$

sauf une légère différence, due sans doute à une erreur de calcul ou d'impression.

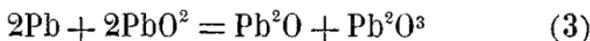
(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 28 août 1882.

II

M. Camille Faure, inventeur de la *formation rapide*, a émis une opinion sur la chimie de ses accumulateurs, qui appartiennent au genre Planté, et doivent, une fois formés, donner lieu aux mêmes réactions. Je cite textuellement :

« Je me suis beaucoup occupé de la théorie chimique de ma pile, et par des analyses répétées de la matière des couches actives des électrodes à différentes époques de la charge et de la décharge, en tenant compte du courant qui avait passé entre deux expériences, j'ai cru pouvoir établir que l'effet immédiatement observable était le transport d'une certaine quantité d'oxygène d'une électrode à l'autre et *vice versa*, suivant la proportion établie en électrochimie, et que, pendant la décharge par exemple, le plomb réduit devenait Pb^2O , tandis que le plomb peroxydé Pb^2O^4 devenait P^2O^3 . Mais j'ai observé que ceci n'avait lieu que dans une faible proportion de la masse des couches, environ 10 pour 100 (1). »

Cette opinion, qui se traduirait par l'équation



ne me paraît plus soutenable, non plus que celles exprimées par les formules (1), (2), (4), (5) et (6), depuis les travaux dont je vais résumer les résultats.

III

J'arrive au travail le plus important qui ait été fait sur la chimie des accumulateurs.

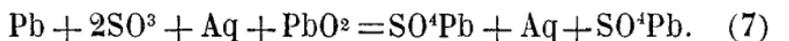
MM. Gladstone et Tribe ont, longtemps après M. Planté,

(1) Voir la collection du journal *l'Électricité*.

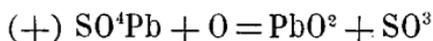
constaté la présence du sulfate de plomb sur les deux électrodes des piles secondaires; ils en ont nettement conclu à l'intervention électrolytique de l'acide sulfurique dans les réactions du couple. Depuis la publication de leurs travaux dans « *Nature* » (1882), la formation électrolytique du sulfate de plomb sur les deux électrodes a pu être considérée comme très probable.

Les auteurs ont opéré sur des accumulateurs Faure, lesquels, par leur rapide formation, la texture de leurs dépôts et leur grande capacité de travail, se prêtaient commodément à des expériences renouvelées et à des vérifications rapides.

La production abondante du sulfate de plomb, pendant la décharge, sur les deux électrodes d'une pile Faure, avec appauvrissement correspondant de l'eau acidulée sulfurique qui les baigne, a été nettement constatée. Après la décharge, l'électrode négative porte un mélange de plomb métallique et de sulfate de plomb; sur l'électrode positive, le sulfate est mêlé à du peroxyde inaltéré, résultats qu'on peut traduire ainsi :



Pendant la *charge*, les phénomènes inverses doivent se produire, c'est-à-dire qu'on aurait d'un côté :



et de l'autre :



La première de ces réactions, aisément vérifiable, a été généralement admise; la seconde a été contestée par le doc-

teur Olivier Lodge et par Sir William Thomson, qui n'avaient pu obtenir nettement la réduction électrolytique du sulfate de plomb.

Si cette réduction n'avait point lieu pendant la charge, des quantités nouvelles de sulfate de plomb se formeraient à chaque décharge, aux dépens de l'électrode négative, qui serait rapidement détruite. Cette conséquence est contredite par les faits; car on ne voit pas le sulfate de plomb foisonner indéfiniment; et quand l'accumulateur périt, ce n'est pas par son électrode négative, dont la durée est grande. La réduction *nécessaire* du sulfate de plomb réclamait cependant une démonstration directe; MM. Gladstone et Tribe ont réussi à l'obtenir.

Sur une lame de platine, ils ont étendu 20 grammes de sulfate de plomb blanc, maintenu par une enveloppe de papier parchemin; ainsi préparée, l'électrode a été placée dans l'eau acidulée sulfurique, et reliée au pôle négatif d'une pile, en présence d'une autre électrode reliée au pôle positif. Le courant traversant ce voltamètre était réglé à l'intensité de 1 ampère.

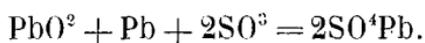
Pendant toute la durée de l'expérience, un dégagement d'hydrogène abondant se fit sur la lame préparée, et ce n'est qu'au bout de vingt-quatre heures qu'on put apercevoir, à travers le parchemin, de petites taches noires de plomb métallique; ces taches s'étendirent peu à peu, irrégulièrement, et au bout de dix jours, le sulfate était presque entièrement réduit en une masse de plomb spongieux.

La lenteur de la réduction, dans cette expérience, provient

sans doute de la mauvaise conductibilité du sulfate de plomb. Dans les accumulateurs ordinaires, ce sel est mêlé de plomb métallique et de peroxyde, qui diminuent sa résistance et permettent sa réduction rapide.

Dans un accumulateur Faure complètement déchargé, le mélange contenait 51 pour 100 de sulfate de plomb; après une charge de soixante heures à l'intensité de 1 ampère, le sel fut complètement réduit.

Indépendamment de ces actions principales, il se forme encore du sulfate de plomb, par l'action d'un couple local, constitué par le peroxyde et le plomb métallique de l'électrode positive :



Le sulfate est réduit pendant la décharge, fournissant du plomb spongieux qui laisse pénétrer plus profondément l'eau acidulée sulfurique : ainsi s'expliqueraient les progrès spontanés de la *formation*, obtenus par le *repos* des couples (1). La masse spongieuse s'accroît successivement aux dépens de la lame de plomb conductrice, jusqu'à la destruction de cette lame.

Pendant la décharge, la formation de sulfate de plomb par action locale se produit encore sur l'électrode peroxydée, car on constate une plus grande quantité de sel sur cette lame que sur l'électrode opposée.

Enfin on trouve, mêlées à la masse de sulfate et de plomb

(1) GASTON PLANTÉ, *Recherches sur l'électricité*, pp. 50, 53 et 54.

métallique de l'électrode négative, des parcelles de peroxyde de plomb, qui proviendraient d'une suroxydation électrolytique partielle du sulfate pendant la décharge.

D'après MM. Gladstone et Tribe, cette formation de peroxyde en circuit fermé serait la cause des *décharges résiduelles* (1) jusqu'alors inexplicables : le peroxyde de la lame négative tend à mettre les deux électrodes en équilibre, bien avant l'épuisement du peroxyde de la lame positive; il en résulte un ralentissement prématuré de la décharge. Si l'on abandonne alors le couple à lui-même, à circuit ouvert, le peroxyde positif, mélangé à du sulfate, ne se décompose que lentement; tandis que le peroxyde négatif, peu abondant, est bientôt sulfaté au contact du plomb métallique : l'hétérogénéité reparaît; l'accumulateur redevient apte à donner une nouvelle décharge, laquelle peut, par les mêmes causes, fournir de nouveaux *résidus*.

La production du peroxyde de plomb sur la lame négative est d'autant plus importante que l'intensité du courant secondaire est plus grande; aussi le *rendement en quantité* (2) diminue-t-il quand on accélère la décharge.

IV

M. E. Frankland a repris, plus récemment, l'étude des réactions chimiques accomplies dans les accumulateurs du

(1) *Ibid.*, p. 70.

(2) Coefficient de restitution.

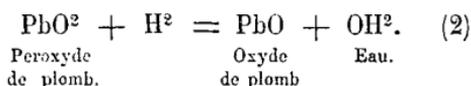
genre Planté (1). Voici les conclusions que cet auteur a tirées de ses expériences :

« Il me semble, dit M. Frankland, que pendant la décharge d'un accumulateur, les effets chimiques sont les suivants :

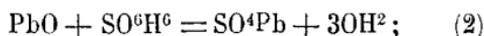
» 1^o L'électrolysation de l'acide sulfurique hexabasique comme pendant la charge ;

» 2^o La transformation de l'anhydride sulfurique en acide sulfurique hexabasique, telle qu'elle a été décrite plus haut ;

» 3^o L'action chimique sur le dépôt de la lame, qui, primitivement positive ou électrode, est devenue négative, c'est-à-dire celle d'où s'échappe le courant positif par le circuit extérieur,



» L'oxyde de plomb ainsi formé est immédiatement converti en sulfate de plomb :



» 4^o L'action chimique sur le dépôt de la lame négative devenue actuellement positive :



» Ainsi, pendant la décharge d'un accumulateur, comme pendant la charge, l'action initiale est due à l'électrolysation de l'acide sulfurique hexabasique. L'oxygène éliminé sur la lame positive convertit le métal réduit de cette lame en oxyde de plomb, tandis que l'hydrogène transforme dans le même oxyde le peroxyde de plomb de l'autre lame. Dans les deux cas, cet oxyde de plomb est de suite converti en sulfate de plomb par l'acide sulfurique ambiant, remettant ainsi les deux lames dans les conditions où elles se trouvaient avant le commencement de la charge..... »

En fin de compte, l'auteur a constaté :

Que les gaz condensés dans les électrodes ne jouent, dans

(1) *Contribution à la théorie chimique des piles secondaires. Proceedings of the Royal Society, n° 224, 1883.*

(2) Si l'on rapproche ces formules des précédentes, il faut tenir compte des différences résultant des systèmes de notation.

la pratique, aucun rôle dans le phénomène d'accumulation de la pile secondaire ;

Que la densité de l'acide sulfurique diminue pendant la décharge et augmente pendant la charge, phénomènes résultant de la synthèse et de l'analyse successives du sulfate de plomb.

Ainsi se trouve une fois de plus constatée la sulfatation des deux électrodes. Retenons les *faits acquis*, mais non les explications proposées par M. Frankland. L'électrolyse d'un acide sulfurique *hexabasique* est une hypothèse gratuite, et la formation du sulfate par une fixation d'acide postérieure à l'action électrolytique me paraît inadmissible. En effet, la chaleur correspondant à la sulfatation *locale* de l'oxyde de plomb, n'étant pas transmissible au circuit extérieur, se dégagerait en pure perte dans l'accumulateur ; il faudrait donc que cette énergie, non utilisée pendant la décharge, fût restituée au couple par la charge. Cette conséquence serait contraire à la réalité : le *rendement* élevé des accumulateurs témoigne contre une théorie comportant une si grande dissipation d'énergie.

V

La sulfatation électrolytique des électrodes me paraît maintenant bien établie, surtout du côté positif. Les doutes qui pourraient subsister sur la sulfatation de l'électrode négative seront dissipés par l'examen des accumulateurs *au cuivre* et *au zinc* (1).

Ces accumulateurs consistent, comme on sait, en un positif

(1) Voir p. 101.

Planté, mis en présence d'une lame de cuivre ou de zinc, dans de l'eau acidulée sulfurique tenant en dissolution du sulfate du métal négatif. Les équations chimiques de la décharge peuvent, selon moi, être formulées ainsi :

Pour l'accumulateur au cuivre :



Et pour l'accumulateur au zinc :



Ici, la sulfatation de l'électrode négative est évidente, et l'analogie des actions chimiques entre les accumulateurs et les piles primaires s'impose.

L'analogie va jusqu'à la similitude pour l'accumulateur au zinc qui reconstitue, sauf la forme et le mode de construction, l'ancienne pile au peroxyde de plomb inventée par de La Rive et décrite par lui en ces termes :

« Le peroxyde de plomb, amené à l'état d'une poudre sèche et fine, est tassé avec soin dans une auge poreuse en porcelaine dégourdie, telle que celles qui servent aux piles de Grove. Une lame mince de platine est placée au milieu de l'auge, de façon qu'elle soit complètement enveloppée de peroxyde; cette lame porte un appendice auquel est soudé un fil conducteur; on plonge l'auge poreuse remplie de peroxyde et une lame de zinc amalgamé dans une dissolution saline ou acide, puis on fait communiquer respectivement les lames de zinc et de platine avec les deux fils d'un voltamètre; on obtient ainsi jusqu'à 10 centimètres cubes de mélange gazeux par minute, tandis qu'avec un couple de Grove semblable, sauf que le peroxyde de plomb est remplacé par l'acide nitrique, on ne produit qu'une décomposition à peine sensible. Seulement l'effet s'affaiblit au bout de quelques moments (1)... »

(1) *Traité d'électricité théorique et appliquée*, par A. de La Rive, t. II, pp. 619 et 620.

L'accumulateur au zinc est, à la vérité, plus énergique et plus constant que la pile du savant Genevois; sa supériorité vient de la suppression du vase poreux, et du contact plus étendu et plus intime du peroxyde sur l'électrode. Mais, au point de vue théorique, le nouvel accumulateur au zinc n'est qu'une ancienne pile améliorée, et l'ancienne pile de La Rive est un accumulateur, car il est régénérable par électrolyse.

Les piles secondaires sont des piles. Or, la sulfatation du zinc dans les couples primaires est certaine; on sait, depuis les travaux de Favre, que cette sulfatation est électrolytique et non locale, — car les calories correspondantes peuvent être récupérées dans le circuit extérieur (1).

De même, le plomb négatif doit être sulfaté dans les accumulateurs du genre Planté, et c'est l'insolubilité du sulfate de plomb qui oblige à donner une structure poreuse à leur électrode négative; tandis que dans ceux au zinc ou au cuivre, la porosité n'est utile que du côté positif.

Les équations thermochimiques qui pourraient contrôler et compléter les formules ne peuvent pas être posées quant à présent, parce que la chaleur de formation du peroxyde de plomb n'est pas encore connue. En attendant cette vérification, la formation électrolytique des sulfates, dans les trois systèmes d'accumulateurs étudiés, me semble établie avec un haut degré de probabilité.

(1) BERTHELOT, *Essai de mécanique chimique*, t. II, p. 327.

CONSÉQUENCES PRATIQUES DE LA THÉORIE CHIMIQUE DES ACCUMULATEURS (1).

Les équations chimiques de la décharge des piles secondaires étant établies, on peut calculer les poids qu'il faut donner respectivement aux divers éléments constituant chacun des trois systèmes étudiés, pour obtenir une capacité de travail déterminée, avec une bonne utilisation des matériaux employés. Ces déterminations rationnelles seront avantageusement substituées à celles fournies par l'empirisme, qui a jusqu'à ce jour pris trop de part à la construction des accumulateurs industriels.

On calculera d'abord les *poids théoriques* pour le cas (irréalisable) d'un *accumulateur à utilisation totale*, en prenant pour base de calcul le travail de 1 kilogrammètre par seconde pendant une heure, soit 3600 kilogrammètres.

Le poids théorique de chacune des *matières actives* à engager dans une pile (primaire ou secondaire) pour produire ce travail est donné par la formule déjà connue :

$$P = \frac{g}{E} \times n \times \alpha \times 0,0375 \quad (2) \quad (10)$$

dans laquelle :

P est le poids cherché;

(1) *L'Électricien* du 15 avril 1884.

(2) Voir p 72.

E, la f. e. m. effective du couple;

n , le nombre d'équivalents engagés;

α , le poids, en grammes, de l'équivalent du corps considéré.

La somme des valeurs de P, pour toutes les substances intéressées, donnera le *poids théorique* d'un accumulateur idéal, à utilisation totale.

Puis on majorera convenablement les poids théoriques, pour obtenir les poids pratiques à donner aux diverses parties d'un accumulateur rationnellement construit.

La comparaison de ces poids *possibles* avec ceux des appareils actuellement offerts montrera l'importance des progrès qu'on peut réaliser en utilisant les récentes acquisitions de la théorie.

I

ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ

La décharge s'effectuant selon l'équation :



intéresse théoriquement :

2 équivalents de plomb;

2 équivalents d'acide sulfurique;

2 équivalents d'oxygène.

La f. e. m. *effective* étant environ 1^{volt},8 pour une décharge assez lente, $\frac{g}{E} = 5,44$, et les poids théoriques P, cal-

culés d'après la formule (10), sont, pour un travail de 3600 kilogrammètres :

	grammes.
Plomb (Pb = 103,5).....	42,21
Oxygène (O = 8).....	3,26
Acide sulfurique (SO ⁴ H = 49).....	20,
Total.....	65,47

Pratiquement, le plomb *actif* doit être mélangé à un poids à peu près égal de plomb conducteur (métallique ou peroxydé), et la lame-support, avec la partie émergente, peut comporter un poids semblable à celui des matières qu'elle soutient. On doit donc quadrupler le poids du plomb et doubler celui de l'oxygène; l'acide sulfurique devra être en excès de 50 pour 100 environ. Et pour rendre possible le fonctionnement du couple, il faut ajouter un poids d'eau double de celui de l'acide.

Le poids *pratique* de l'accumulateur devient ainsi :

Plomb.....	42,21 × 4 =	168,84
Oxygène.....	3,26 × 2 =	6,52
Acide sulfurique.....	20, × 1,5 = 30, }	90,
Eau.....	30, × 2 = 60, }	265,36
Récipient et accessoires de construction, environ 10 p. 100		
du poids utile.....		26,53
Total.....		291,89

Soit pour un cheval-heure : $291 \text{ gr}, 89 \times 75 = 21^{\text{k}}, 9$ environ.

Il ne faut pas oublier qu'il s'agit ici du travail total développé par l'accumulateur par une décharge complète, assez lente, dans l'ensemble des circuits intérieur et extérieur.

II

ACCUMULATEURS AU CUIVRE

L'équation de la décharge :



intéresse théoriquement :

1 équivalent de plomb;

1 équivalent de cuivre;

2 équivalents d'oxygène;

2 équivalents d'acide sulfurique.

La f. e. m. *effective* pendant la décharge étant 1^{volt}, 2 environ, on a :

$$\frac{g}{E} = 8,17$$

Les poids *théoriques*, P, calculés d'après la formule (10), sont, pour un travail total de 3600 kilogrammètres :

	grammes.
Plomb (Pb = 103,5).....	31,69
Cuivre (Cu = 31,8).....	9,72
Oxygène (O = 8).....	4,90
Acide sulfurique (SO ² H = 49).....	30,06
Total.....	76,37

Pour les raisons déjà indiquées, il faut pratiquement doubler l'oxygène, quadrupler le plomb et majorer l'acide sulfurique de 50 pour 100. Le poids du cuivre pourra n'être que doublé; mais celui de l'eau doit être assez grand, quatre fois le poids de l'acide, à cause de la faible solubilité du sulfate

de cuivre dans l'eau acidulée. Le poids pratique de l'accumulateur au cuivre devient ainsi :

		grammes.
Plomb.....	$31,69 \times 4 =$	126,76
Cuivre.....	$9,72 \times 2 =$	19,44
Oxygène.....	$4,90 \times 2 =$	9,80
Acide sulfurique.....	$30,06 \times 1,5 = 45,09$	} 225,45
Eau.....	$45,09 \times 4 = 180,36$	
		<hr/> 381,45
Récipient et accessoires de construction, environ 15 p. 100 du poids utile.....		57,21
	Total.....	<hr/> 438,66

Soit pour un cheval-heure : $439 \text{ gr} \times 75 = 32 \text{ k}, 925$

III

ACCUMULATEURS AU ZINC

L'équation de la décharge étant :



intéresse :

- 1 équivalent de plomb;
- 1 équivalent de zinc;
- 2 équivalents d'oxygène;
- 2 équivalents d'acide sulfurique.

La f. e. m. *effective* pendant une décharge lente étant environ $2^{\text{volts}},3$, on a : $\frac{g}{E} = 4,26$; d'où les poids théoriques P,

calculés comme précédemment :

	grammes.
Plomb (Pb = 103,5).....	16,53
Zinc (Zn = 32,7).....	5,24
Oxygène (O = 8).....	2,56
Acide sulfurique (SO ⁴ H = 49).....	15,68
	<hr/> Total..... 40,01

Les poids *pratiques* comportent 4 fois plus de plomb, 2 fois plus d'oxygène et 1,5 fois plus d'acide. L'attaque locale du zinc oblige à tripler le poids de l'électrode négative et à étendre l'acide de 4 fois son poids d'eau. Les chiffres ainsi majorés deviennent :

Plomb.....	16,53 × 4 =	grammes. 66,12
Zinc.....	5,24 × 3 =	15,72
Oxygène.....	2,56 × 2 =	5,12
Acide sulfurique.....	15,68 × 1,5 = 23,52	} 117,60
Eau.....	23,52 × 4 = 94,08	
		204,56
Récipient et accessoires de construction, environ 15 p. 100 du poids utile.....		30,68
	Total.....	235,24

Soit pour un cheval-heure : $235^{\text{gr}},24 \times 75 = 17^{\text{k}},642^{\text{gr}}$.

IV

CONCLUSIONS

Les précédents calculs démontrent :

1° Que les accumulateurs au cuivre sont, à puissance égale, plus lourds, plus encombrants, plus chers que les deux autres systèmes (1);

2° Que des accumulateurs du genre Planté, judicieusement construits, pourraient emmagasiner un travail de un cheval-heure électrique dans un poids de $24^{\text{k}},5$. Les chiffres relevés

(1) J'ai autrefois cru le contraire, à cause d'une erreur de mesure : la surélévation de la f. e. m. après la charge m'en avait imposé sur la puissance des accumulateurs au cuivre.

par MM. Géraldy et Hospitalier (1) sur un couple Planté bien formé; par MM. Fichet, Hospitalier et Jousselin (2) et MM. Monnier et Guilton (3) sur des accumulateurs Faure; par MM. Gramme et Fontaine (4) sur des accumulateurs de Kabath, et par d'autres expérimentateurs, démontrent que l'on n'a pas su tirer du système tout ce qu'il peut donner. La médiocrité des résultats obtenus résulte principalement du trop faible volume d'eau acidulée et de son insuffisante concentration. Ces défauts, le dernier surtout, seraient faciles à corriger;

3° Que l'*accumulateur au zinc* est, à puissance égale, plus léger et moins coûteux que le Planté, auquel il emprunte son électrode positive.

L'accumulateur au zinc mérite donc d'être étudié au point de vue des applications industrielles.

(1) *L'Électricien* du 15 juin 1881.

(2) *Le Génie civil* du 15 octobre 1883 et *L'Électricien* du 31 octobre 1883.

(3) *L'Électricité* du 20 octobre 1883.

(4) *La Revue industrielle* du 5 septembre 1883.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

AVEC ACCUMULATEURS

AU THÉÂTRE DES VARIÉTÉS (1).

L'installation comporte 260 lampes à incandescence, modèle Swan, donnant une lumière évaluée à 660 carrels. Ces 260 foyers font une *dépense théorique* d'énergie égale à 2 000 kilogrammètres par seconde, soit 27 chevaux-vapeur.

Il faudrait une force d'au moins 35 chevaux pour produire *directement* un pareil éclairage. Grâce à l'emploi des accumulateurs Faure, le résultat est obtenu, *avec plus de sécurité et de régularité*, au moyen d'un moteur de 12 chevaux, travaillant 15 heures sur 24.

Ces chiffres mettent en évidence l'utilité trop contestée des accumulateurs, qui diminuent considérablement le matériel producteur d'électricité.

(1) En septembre et octobre 1882, le *Théâtre des Variétés* a été éclairé à la lumière électrique. Pour des raisons que je n'ai pas à rapporter, le gaz a repris possession de cet établissement; mais si l'essai, assez bien réussi, d'un grand éclairage par accumulateurs, a pris fin trop tôt, les enseignements qu'il a fournis n'ont pas été perdus: je les ai relevés sur le vif et publiés dans *le Génie civil* du 1^{er} octobre 1882.

Depuis cette époque, plusieurs théâtres, à l'étranger, ont reçu et gardé l'éclairage électrique; mais aucun ne fait usage des batteries secondaires. Aussi l'installation éphémère des *Variétés* est-elle restée le type unique (imparfait à la vérité) d'une installation théâtrale rationnelle.

Je crois donc utile de reproduire ici mon article du *Génie civil*, dont les conclusions se renforcent par l'amélioration continue des accumulateurs électriques.

Hâtons-nous d'ajouter que le rapport de 1 à 3 entre la force employée et la force à dépenser pourrait être diminué encore, en portant à 22 heures la marche quotidienne du moteur.

Dans les théâtres qu'on éclaire tous les soirs, la fraction de force motrice ne serait que de *un quart*; pour l'Opéra, qui ouvre quatre soirs sur sept, elle descendrait à *un septième*.

Ces résultats sont en contradiction avec les affirmations de quelques électriciens; mais les chiffres que nous allons rapporter permettront aux ingénieurs de porter un jugement.

Les lampes, avons-nous dit, sont au nombre de 260. Voici comment elles sont réparties :

Salle de spectacle.....	60
Rampe.....	60
Herses.....	60
Portants.....	4
Loges d'artistes.....	8
Foyer.....	18
Vestibule.....	20
Couloirs, etc.....	30
TOTAL.....	<u>260</u>

Tous ces foyers sont de la même force, sauf les lampes de la rampe qui sont plus faibles. Trois de ces petites lampes, assemblées en tension, équivalent comme lumière et comme dépense à une lampe normale. L'éclairage total équivaut donc à 220 lampes Swan ordinaires.

Les accumulateurs Faure, du poids de 60 kilogrammes, sont assemblés en six séries parallèles de 33 couples chacune : en tout 198 accumulateurs, pesant environ 12 tonnes.

La force motrice est fournie par un moteur à gaz système Otto, de la force nominale de 12 chevaux. Il marche à la vitesse de 114 tours et dépense à l'heure 9 mètres cubes de gaz, ce qui fait évaluer son travail à 11 chevaux environ.

Comme générateur d'électricité, on a pris trois machines dynamo-électriques de Siemens, modèle D2, excitées *en dérivation*.

Les pôles de ces trois machines sont assemblés *en quantité*; le pôle positif de la batterie de machines est lié aux six pôles positifs des six séries d'accumulateurs, les pôles négatifs étant d'autre part réunis de la même manière. Des deux pôles communs partent, *en dérivation*, les conducteurs distribuant l'électricité aux lampes.

Chaque machine peut débiter un courant de 32 ampères, avec une tension de 70 volts. Ce débit représente un travail *théorique* de 9 chevaux. Si la force dépensée est de 11 chevaux, le rendement propre des machines est de $\frac{9}{12}$.

La f. e. m. de la batterie d'accumulateurs est 66 volts, soit $\frac{66}{70}$ de celle de la source. Pour avoir son *rendement*, il faudrait multiplier cette fraction par le *coefficient de restitution* (c'est ainsi que nous avons appelé le rapport entre la *quantité* d'électricité rendue et celle reçue par les *accumulateurs*). Dans l'espèce, ce coefficient doit être peu inférieur à 1, parce que la f. e. m. de charge est voisine de celle de la batterie.

Il ne faut pas faire porter sur les accumulateurs la perte de potentiel subie dans les conducteurs, entre la batterie et les lampes. Cette quantité, d'ailleurs, n'a pas été mesurée,

mais on peut la déduire des données que nous possédons.

D'après M. Maurice Simon, les lampes Swan fonctionnent normalement avec une intensité de 1,25 ampère, et une chute de 50 volts, en donnant une lumière de 2,25 carcel.

On trouve donc :

$$\text{Résistance de la lampe, } R = \frac{E}{I} = 40 \text{ ohms.}$$

$$\text{Dépense d'énergie, } T = \frac{E I}{g} = 6,25 \text{ kilogrammètres par seconde.}$$

$$\text{Lumière obtenue par kilogrammètre, } K = \frac{2,25}{6,25} = 0,36 \text{ carcel.}$$

D'autre part, dans l'installation des *Variétés*, où les lampes sont poussées au delà de la marche normale, on accuse une intensité de 1,5 ampère par foyer, et un pouvoir éclairant de 3 carcel. Cela donne (en admettant que la résistance de la lampe reste égale à 40 ohms) :

$$\text{Chute de potentiel dans la lampe, } E = IR = 60 \text{ volts;}$$

$$\text{Dépense d'énergie, } T = \frac{EI}{g} = 9 \text{ kilogrammètres;}$$

$$\text{Lumière obtenue par kilogrammètre, } K = \frac{3}{9} = 0,33 \text{ carcel (1).}$$

La chute de potentiel, entre les accumulateurs et les lampes, est donc de 6 volts.

(1) L'intensité photométrique d'une lampe électrique augmente plus que la dépense d'énergie; aussi devrait-on, avec le régime forcé imposé aux lampes Swan, obtenir un *rendement* supérieur à celui de la marche normale.

J'ai maintenant quelque raison de croire que *les voltmètres et ampèremètres avançaient un peu*, c'est-à-dire fournissaient des indications de tension et de quantité quelque peu exagérées. Ainsi s'expliqueraient : 1° l'apparente infériorité du rendement photométrique des lampes; 2° la trop grande f. e. m. des accumulateurs Faure; 3° le *rendement trop élevé* attribué à la batterie secondaire.

Et la dépense théorique dans les foyers, quand ils fonctionnent tous ensemble, est de 2 000 kilogrammètres par seconde, soit 27 chevaux-vapeur.

La lumière obtenue est à peu près équivalente à celle de 660 becs de gaz de 140 litres.

Pour trouver le *rendement final*, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie développée dans le moteur et celle utilisée dans les lampes, il faudrait établir la durée de l'éclairage au moyen d'un pointage exact des heures d'ouverture et de fermeture de tous les circuits partiels, car les temps de travail des diverses séries de foyers sont très dissimilaires : le vestibule et les couloirs sont allumés de 7 heures à minuit ; la salle, de 8 heures $\frac{1}{2}$ à 11 heures $\frac{1}{2}$; la rampe et les herses pendant les actes, le foyer pendant les entr'actes ; quelques lampes fonctionnent jour et nuit ; enfin, on diminue parfois la dépense de certains circuits au moyen d'un jeu de rhéostats, pour produire des effets scéniques.

A défaut de pointage, nous avons fait une estimation approximative, qui donnerait une marche moyenne de 3 heures $\frac{1}{2}$ pour l'ensemble des foyers.

Ainsi, avec une dépense de force motrice de 11 chevaux pendant 15 heures, soit 165 chevaux-heure, on obtient, en définitive, *un travail utile* de 27 chevaux pendant 3 heures $\frac{1}{2}$, soit 94 chevaux-heure (1).

(1) D'après la capacité d'accumulation reconnue aux piles Faure, une batterie de sept tonnes aurait dû suffire pour emmagasiner cette quantité d'énergie.

Le rendement définitif serait donc $94/165$, soit cinquante-six pour cent.

N'oublions pas que la perte finale de 44 pour 100 comprend :

- a, le frottement des machines dynamo-électriques ;
- b, l'énergie dépensée dans leurs circuits inducteurs et induits
- c, la perte inhérente à l'emploi des accumulateurs ;
- d, la chaleur perdue dans les circuits des lampes ;
- e, les pertes par dérivations parasites.

A cette liste, il faut ajouter les pertes résultant de la surcharge des accumulateurs. Dépourvu qu'on est d'un moyen de mesurer ou de limiter la charge de la batterie, on lui fournit trop d'électricité pour être certain d'en recueillir assez (1).

Enfin, l'installation hâtive des *Variétés* comporte des aggravations de perte qu'on évitera dans des ensembles étudiés et soignés : les isolements laissent à désirer en beaucoup de points, certains conducteurs sont trop faibles ; il faudrait une grosse machine et non pas trois petites, etc.

Aussi, sans pouvoir établir directement le rendement propre des accumulateurs (leur coefficient de restitution n'étant pas connu), on peut, d'après ce qui précède, affirmer qu'ils sont pour la moindre part dans la perte totale de 46 pour 100. Le rendement propre de la batterie Faure paraît être supérieur à 80 % (2).

Si le moteur s'arrête subitement (cet accident s'est produit plusieurs fois dans la première soirée), la batterie secondaire

(1) On pourrait éviter ce gaspillage.

(2) J'ai déjà prévenu que cette évaluation de rendement s'est trouvée

débite seule, sans fatigue sensible, le formidable courant de 330 ampères réclamé par les lampes. Le public ne s'aperçoit de rien. Il est inutile d'insister sur l'importance de ce fait.

La quantité de gaz brûlée dans le moteur (1) est de 135 mètres cubes par jour; celle qu'il faudrait brûler chaque soir pour obtenir directement la même quantité de lumière serait de 323 mètres cubes.

Remarquons que l'incandescence confinée, exclusivement employée ici, est, de tous les procédés, celui qui rend le moins de lumière pour une dépense donnée. En combinant ce système avec l'*arc voltaïque* et l'*incandescence libre*, on pourrait augmenter l'éclairage ou diminuer la dépense.

Il reste à établir le prix d'installation et le coût journalier de l'éclairage électrique par accumulateurs. Les renseignements que nous avons donnés permettent aux ingénieurs de dresser un devis pour une installation d'une importance déterminée; car tous les appareils employés sont tarifés dans le commerce, à l'exception des accumulateurs dont le prix de revient peut être approximativement évalué à 1000 francs la tonne.

exagérée, à cause de l'inexactitude des galvanomètres, et sans doute aussi par une erreur dans l'évaluation des durées respectives de la charge et de la décharge.

(1) L'exiguïté de la cave affectée aux machines et l'impossibilité d'établir une cheminée sur le passage des Panoramas ont empêché d'employer une machine à vapeur, dont le travail coûterait quatre fois moins.

Pour faciliter les évaluations, nous donnons à la suite de cet article un tableau aussi complet que possible de données numériques, recueillies ou calculées.

Quiconque voudra prendre la peine d'établir deux devis comparatifs, avec et sans accumulateurs, pour un éclairage de moins de 2 500 heures par an, constatera que la dépense première, l'amortissement, le loyer, et, par suite, la *dépense journalière*, sont beaucoup diminués par l'emploi des piles secondaires. Dans les grandes installations, on trouvera l'électricité économique, même en recourant, pour la produire, à la force coûteuse du moteur à gaz.

Cette question d'économie est importante; mais il serait injuste de n'envisager qu'elle dans les comparaisons que l'on fait entre le gaz et l'électricité. Au point de vue esthétique, aux points de vue de la sécurité et de l'hygiène, la lumière électrique a des qualités qui en font un éclairage de grand luxe.

On la verra donc se propager de plus en plus vite, malgré les protestations de ceux qui se croient intéressés à entraver ses progrès.

On verra aussi l'*accumulation voltaïque* tenir toutes nos promesses, en dépit des dures critiques qu'il nous fallut essayer à l'époque, encore récente, où nous exposions les grandes conséquences industrielles de l'idée Planté.

POST-SCRIPTUM. — Renseignements numériques sur l'éclairage électrique
du Théâtre des Variétés à Paris (septembre-octobre 1882).

LAMPES SWAN

Nombre de lampes : ordinaires.....	200	
— petites	60	
— en tout.....	260	
équivalent à : lampes ordinaires.....	220	lampes.
lesquelles fournissent autant de lumière que	660	becs de gaz.

*Renseignements sur les lampes Swan, dans les conditions où elles fonctionnent
aux Variétés (d'après The Faure Electric accumulator Company) :*

E.....	60	volts.
I.....	1,5	ampère.
R (calculé).....	40	ohms.
T, dépense théorique d'énergie.....	9	kgmèt. par seconde.
L, lumière obtenue.....	3	carcels (?)
K, quantité de lumière obtenue par kilogram- mètre.....	0,33	carcel (?)
Durée des lampes.....	?	

*Renseignements sur les lampes Swan fonctionnant normalement
d'après M. Maurice Simon :*

E.....	50	volts.
I.....	1,25	ampère.
R (calculé).....	40	ohms.
T, dépense théorique d'énergie.....	6,25	kgmèt. par seconde.
L, lumière obtenue.....	2,25	carcels.
K, quantité de lumière obtenue par kilo- grammètre.....	0,36	carcel.
Durée des lampes.....	1 000	heures.
Prix.....	5	francs.

MOTEUR A GAZ (SYSTEME OTTO) :

Force nominale.....	12	chevaux.
Force dépensée.....	11	chevaux.
Nombre de tours par minute.....	114	
Prix du moteur.....	10 000	francs.
Dépense de gaz par heure.....	9	mètres cubes.
Nombre d'heures de marche par jour....	15	heures.
Dépense quotidienne de gaz.....	135	mètres cubes.
— — d'huile.....	?	

MACHINES ÉLECTRIQUES DE SIEMENS (MODÈLE D²).

Nombre de machines.....		3	machines.
Prix brut de chaque machine..	2 250	francs.	
— des trois machines...		6 750	francs.
Résistance de la bobine	0,27	ohm.	
— des électros.....	0,24	ohm.	
Vitesse de la machine.....	1 070	tours par minute.	
Force électromotrice.....	70	volts.	
Intensité du courant fourni par chaque machine.....	32	ampères.	
Intensité du courant fourni par les trois machines.....		96	ampères.
Somme d'énergie émise par se- conde (calculée).....	675	kgmèt.	
Dimensions de chaque machine :			
Longueur.....	0 ^m ,76		
Largeur.....	0 ^m ,71		
Hauteur.....	0 ^m ,28		
Poids.....	240	kilos.	
Diamètre de la poulie....	0 ^m ,160		

ACCUMULATEURS FAURE :

Poids de chaque accumulateur.	60	kilos.	
Nombre d'accumulateurs dans chaque série.....	33	accumulateurs.	
Nombre de séries.....	6	séries.	
Nombre total d'accumulateurs.....	198	accumulat.	
Poids total.....	12	tonnes.	
Poids qu'on pourrait considérer comme suffisant...	7	tonnes.	
Durée de la charge (y compris la durée de l'éclai- rage)	15	heures.	
Durée de la décharge.....	3, 5	heures (?)	
Force électromotrice de charge.....	70	volts.	
— pendant la décharge.....	66	volts.	
Régime de la charge.....	96	ampères.	
— de la décharge (maximum).....	330	ampères.	
Résistance de la batterie d'accumulateurs pendant la charge (calculée).....	0,04	ohm.	
Résistance de la batterie d'accumulateurs pendant la décharge.....	?		
Quantité d'électricité fournie à la batterie d'accumu- lateurs.....	5 184 000	coulombs.	
Quantité d'électricité restituée par la batterie d'ac- cumulateurs.....	4 158 000	—	(1).

(1) Il est évident que les accumulateurs sont quotidiennement *sur chargés*.

Rendement des accumulateurs.....	environ..	80 pour cent.
Prix de revient	—	1 000 francs (?)
— de vente	—	?
Durée des accumulateurs (sera grandement accrue par la suppression des feutres).....		?
Prix de réfection des accumulateurs.....	la tonne.	400 francs (?)
Taux d'amortissement annuel des accumulateurs...		25 pour cent. (?)

COMPARAISONS.

Régime de la force motrice avec un moteur fonctionnant seulement 15 heures sur 24.....		11 chevaux.
Force motrice qu'il faudrait mettre en œuvre pour éclairer sans accumulateurs.....		35 chevaux.
Fraction à laquelle se réduit la force motrice par l'emploi des accumulateurs.....		un tiers.
Régime de la force motrice avec un moteur qui fonctionnerait 22 heures sur 24.....		8 1/2 chevaux.
Fraction à laquelle se réduirait, dans ce cas, la force motrice par l'emploi des accumulateurs....		UN QUART.
Fraction à laquelle pourrait être réduite la force motrice par l'emploi des accumulateurs, pour un éclairage tel que celui de l'Opéra, fonctionnant quatre soirs sur sept, avec une usine marchant quotidiennement 22 heures.....		UN SEPTIÈME.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

PAR ACCUMULATEURS

APPLIQUÉE AUX TRAMCARS DE PARIS (1).

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Dès l'apparition des premiers accumulateurs indus-

(1) « Lorsqu'une importante question industrielle se pose devant le public, les hommes compétents ont le devoir de se former une opinion et de la dire : c'est ce que j'ai fait, à propos de la *Traction par accumulateurs*, dans deux articles publiés par *l'Électricien* des 4^{er} et 15 septembre dernier. Ce travail est reproduit ici avec peu de modifications. J'ai seulement diminué, dans mes calculs, l'un des coefficients de transformation, qui était trop fort. Cette correction ne change pas ma conclusion, favorable à l'emploi des accumulateurs pour la traction des tramcars dans Paris.

» Quelques électriciens circonspects m'ont blâmé d'avoir émis des évaluations sur un système qui n'a pas encore reçu la consécration de la pratique ; on doit, pensent-ils, ne formuler des conclusions que sur des faits accomplis. Vis-à-vis des faits à accomplir, il faudrait se cantonner dans un silence majestueux, attendre les événements sans fatigue, pour les enregistrer sans péril. Il est certain qu'en évitant ainsi toute occasion d'errer, on acquiert à peu de frais une réputation d'infailibilité. Je blâme à mon tour cette méthode, parce qu'elle est inféconde.

» Je n'ai pas tant de crainte des objections, peut-être bien fondées, qu'on pourrait m'adresser ; mais je voudrais rendre la discussion utile, en précisant l'objet de ce petit travail.

» J'ai tenté de dégager, par le calcul, les résultats industriels qui pourraient être obtenus immédiatement (et dépassés bientôt) par une exploitation *compétente* ; par conséquent, les chiffres qu'on pourrait, d'autre part, relever sur des appareils mal construits ou mal menés, ne sauraient m'être valablement opposés.

» C'est sous le bénéfice de cette réserve que je livre ce peu de pages à

triels (1), quelques ingénieurs comprirent que les piles secondaires devaient supplanter, dans la traction électrique, la transmission d'énergie par les rails ou par des conducteurs régnant le long de la voie. Aujourd'hui les promoteurs de l'ancien procédé ont reconnu que son emploi est fort limité, peu sûr, et nullement économique. Par contre, la traction par accumulateurs est entrée dans le domaine des faits; le tramcar agencé par MM. Faure et Raffart, en juin 1881, et les expériences publiques récemment faites à Paris par la *French Electrical Power Storage*, ne permettent plus de nier la praticabilité du procédé nouveau.

Il reste à prouver que la traction par piles secondaires peut être, dès maintenant, employée avec économie; les adversaires des accumulateurs ont dû concentrer leurs critiques sur la question du prix de revient, qui est de première importance.

De vives polémiques s'élèvent entre les partisans et les ennemis de la pile secondaire. Ces discussions, qui parfois

la critique des ingénieurs très prudents. » (*Préface d'un TIRAGE A PART*, édité par J. Michelet, Paris, octobre 1883.)

En réimprimant cette étude pour la troisième fois, je lui fais subir ici une nouvelle correction : le premier facteur de transformation, a , a été diminué encore de 0,05, à cause du *coefficient de baisse*, autrefois négligé, dont j'ai récemment signalé l'importance pratique. (*Voir la note sur les variations de la f. e. m. dans les accumulateurs.*) Quelques chiffres de détail ont été, par suite, légèrement touchés; mais les conclusions sont maintenues.

(1) Voir ma communication du 12 avril 1881, à la *Société d'Encouragement*, sur les accumulateurs Faure.

semblent dégénérer en querelles de personnes, restent sans grand résultat, parce qu'elles n'embrassent pas la question dans son ensemble. On discute longuement des prix tout à fait relatifs et variables ; on condamne ou l'on défend tels détails évidemment perfectibles, — cependant que, perdant de vue l'ensemble du problème, on néglige la partie physique, laquelle à mon avis domine toute la question.

Je vais essayer de relever le débat, en l'appuyant sur des considérations théoriques. Ma critique, purement *objective*, sera exempte de parti pris.

Le tramcar de la F. E. P. S. C^o, le seul qui ait publiquement fonctionné à Paris, sera examiné dans ses diverses parties, on étudiera son fonctionnement dans ses manœuvres variées ; puis les faits observés seront traduits en quelques formules élémentaires. La discussion dégagera certains faits importants, jusqu'ici inaperçus ou négligés par les praticiens ; elle fournira des conclusions théoriques sur lesquelles on pourra solidement baser le calcul des prix de revient.

I

Donc, je monte sur le tramcar Philippart (*fig. 40 et 41*), et le lecteur y monte avec moi.

C'est une voiture du grand modèle à 50 places, prêtée par la *Compagnie Générale des Omnibus de Paris*. L'aspect extérieur n'a pas été modifié. Les accumulateurs, au nombre

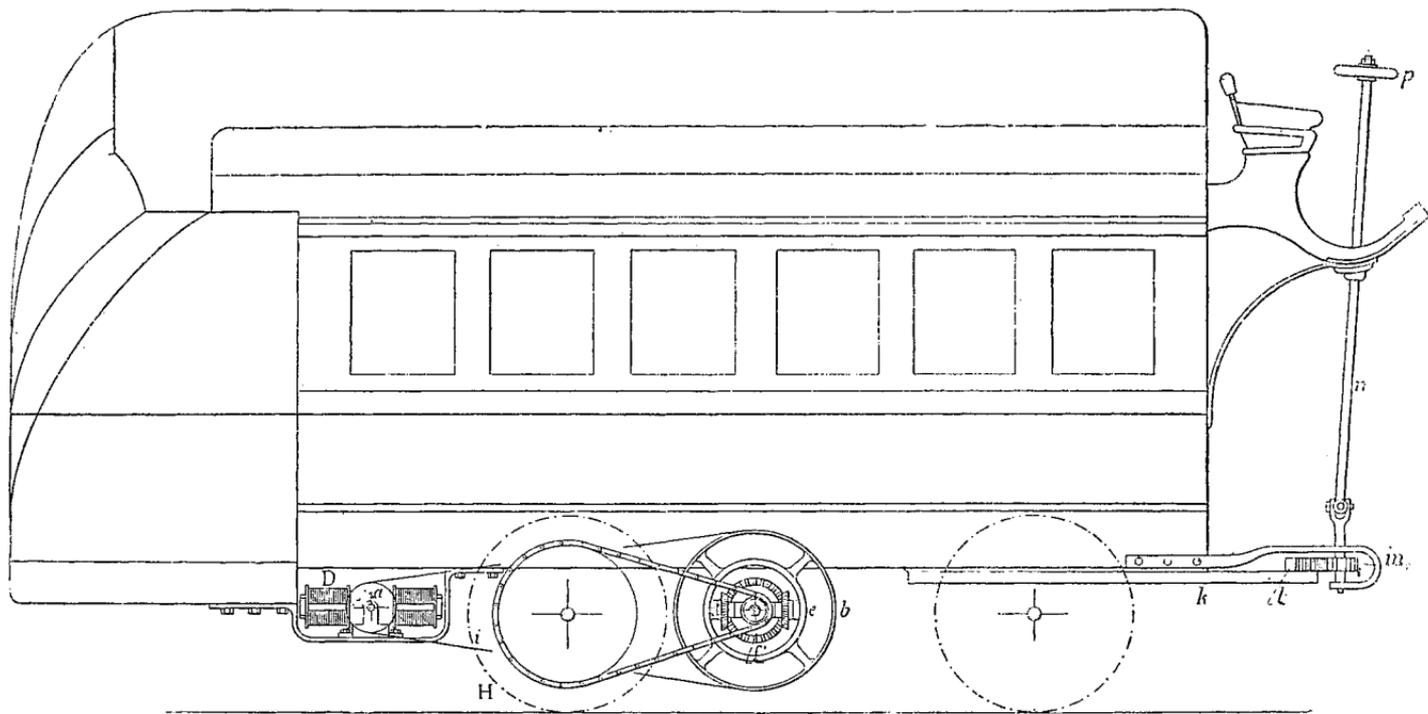


Fig. 40.

TRAMCAR ÉLECTRIQUE (Échelle $\frac{1}{40}$)

(French Electrical Power Storage Co)

ÉLÉVATION.

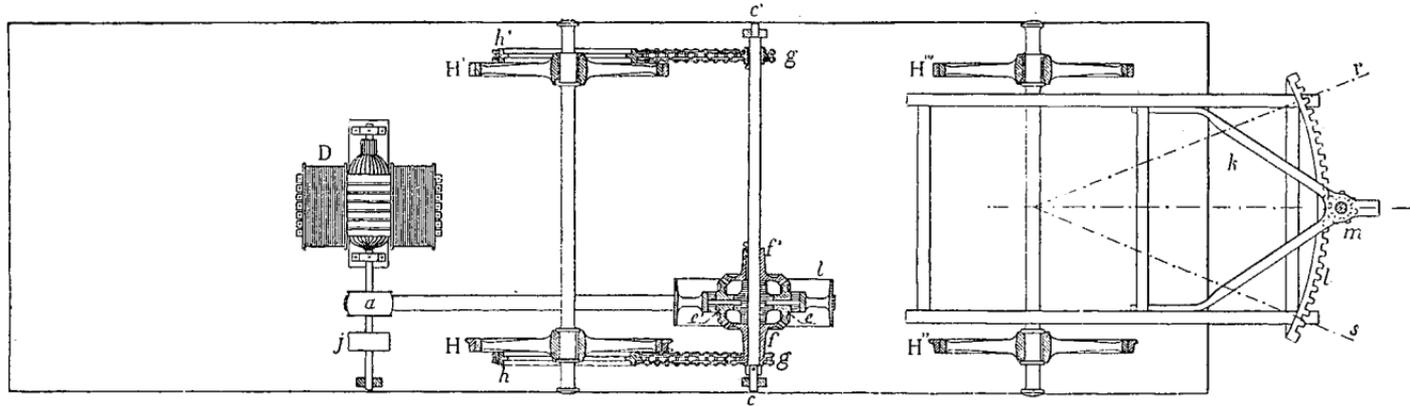


Fig. 41.

TRAMCAR ÉLECTRIQUE (Échelle $\frac{1}{40}$)

PLAN.

Légende des figures 40 et 41. — D, moteur électrique. C'est un dynamo Siemens, modèle D², à électros insérés et à changement de marche, pesant 240 kilogrammes. — a, poulie à joues calée sur l'arbre du moteur électrique. — b, poulie du train différentiel; elle est folle sur l'arbre c, c'. — c, c', arbre de renvoi. — e, e', pignons d'angle symétriques, pouvant tourner librement sur deux axes fixes selon un diamètre de la poulie b, qui les emporte dans un mouvement de translation circulaire autour de son centre. — f, roue d'angle, folle sur l'arbre c' c'. — g, pignon fixé sur la douille de la roue f, et commandant la roue motrice H, au moyen d'une chaîne de Galle. — f', roue d'angle calée sur l'arbre c, c'. — g, pignon calé sur l'arbre c, c', et commandant la roue motrice H' au moyen d'une chaîne de Galle. — H, roue motrice du véhicule, calée sur l'essieu. La roue H est à boudin. — H', roue motrice du véhicule, folle sur l'essieu. La roue H' est sans boudin. — i, courroie transmettant le mouvement de la dynamo à la poulie b du train différentiel. — j, poulie sur laquelle agit un frein pour modérer la vitesse du véhicule pendant les descentes. — H'', roue à boudin, calée sur l'essieu de l'avant-train. — H''', roue sans boudin, folle sur l'essieu de l'avant-train. — K, avant-train mobile. — l, secteur denté horizontal, fixé à la charpente de l'avant-train. — m, pignon vertical commandant le secteur denté l. — n, arbre du pignon m. — p, volant horizontal calé sur l'arbre n. — En tournant ce volant dans un sens ou dans l'autre, le pilote fait pivoter à droite ou à gauche l'avant-train mobile, pour diriger le véhicule.

Les accumulateurs, non indiqués sur les figures, sont logés sous les banquettes de la voiture. Il y en a 80, pesant 30 kilogrammes chacun, en tout 2400 kilogrammes.

de 80 (1), pesant 30 kilogrammes chacun, sont logés sous les banquettes.

Le poids de chaque accumulateur (*fig.* 42, 43 et 44) est réparti comme suit :

	kilogrammes.
Plomb et oxydes.....	16,800
Eau acidulée sulfurique.....	6,800
Boite en bois goudronné, contacts, bornes.....	6,200

Le mécanisme, agencé par M. Raffart, est placé sous la caisse de la voiture ; il se compose d'un moteur électrique Siemens D2 (*fig.* 45), à électros insérés et à changement de marche, commandant les roues motrices par une transmission, au moyen d'une courroie et d'une chaîne de Galle (la courroie est provisoire, elle sera remplacée par un lien plus sûr). On estime que cette double transmission de mouvement peut faire perdre environ 40 pour 100 de force ; les roues motrices utilisent donc seulement 90 pour 100 du travail de la dynamo. Ce coefficient est à retenir pour l'évaluation du travail dépensé.

(1) Avec 50 accumulateurs seulement on a pu effectuer le trajet de la rue de Montreuil à la gare du Nord et retour ; toutes les rampes du parcours ont été franchies aisément, mais la vitesse laissait à désirer : elle était en moyenne de 8 kilomètres à l'heure. Avec 80 accumulateurs, on a obtenu, le 24 juin 1883, une vitesse moyenne de 12 kilomètres à l'heure, sur le parcours très accidenté de la rue de Montreuil à La Muette (et retour), par les boulevards extérieurs et la place de l'Étoile. Cette route comporte de fortes rampes, notamment celle de l'avenue de Wagram, $\frac{34}{1000}$, et celle du boulevard Rochechouart, $\frac{38}{1000}$. Dans cette expérience, le tramcar, portant 31 personnes, pesait au total 8600 kilogrammes. M. Raffart pense qu'après ce trajet de 31 kilomètres, les accumulateurs auraient pu fournir encore une course de 10 à 15 kilomètres.

Les roues motrices ont 1 mètre de diamètre ; le rapport des vitesses de la dynamo aux roues motrices est de 25 à 1.

La dynamo Siemens D2 pèse 240 kilogrammes ; les transmissions et accessoires pèsent 350 kilogrammes.

L'avant-train articulé de la voiture a été conservé ; on l'a pourvu d'un secteur denté, engrené sur un pignon vertical que le mécanicien manœuvre dans un sens ou dans l'autre pour faire tourner l'avant-train et *diriger* le véhicule. Les roues motrices sont montées sur un *train différentiel* fort bien étudié, qui permet de suivre sans patinage des courbes de court rayon. Aussi la lourde voiture se dirige-t-elle aisément pour prendre ses aiguillages ; elle peut sortir des rails et y rentrer sans difficulté. En un mot, elle manœuvre comme une véritable voiture *routière*.

Sans nous arrêter davantage à la partie mécanique, si habilement combinée par M. Raffart, constatons que la mobilité relative des deux trains et l'indépendance des deux roues motrices contribuent à la douceur de la marche et à la sûreté des manœuvres, ainsi qu'à l'économie de la traction et à la conservation de la voie.

La partie physique de l'appareil est moins bien agencée, ou plutôt elle n'est pas agencée du tout. Les accumulateurs sont montés en tension et en série unique ; l'un des pôles de la batterie va directement à l'une des bornes du moteur électrique, l'autre borne reçoit la communication par l'intermédiaire d'un commutateur, qui permet de rompre le circuit ou de mettre en prise un nombre d'accumulateurs variable, par

additions de 5 couples, depuis 30, 35, 40, etc., jusqu'à 80.

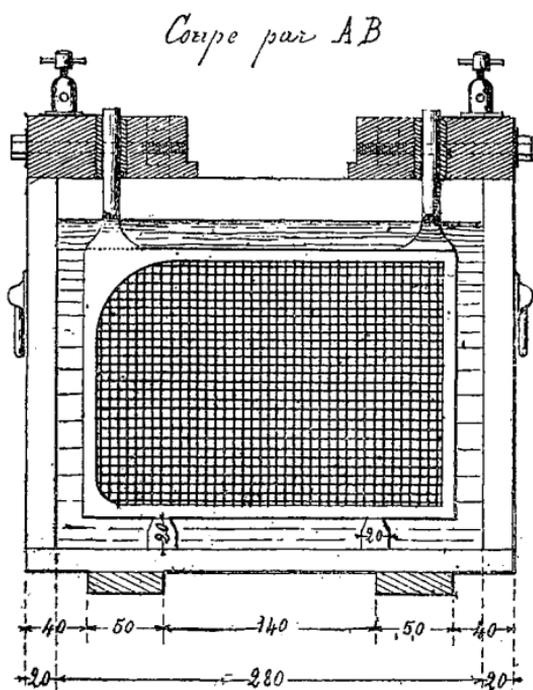


Fig. 42.

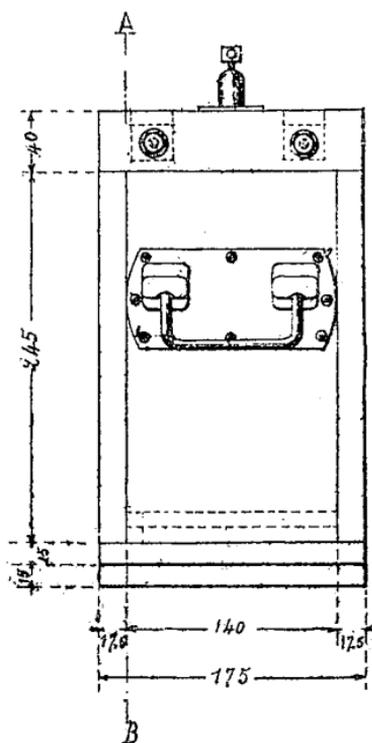


Fig. 43.

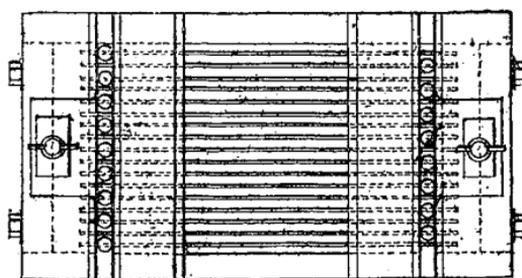


Fig. 44. (vue en dessus)

ACCUMULATEUR FAURE

modèle de 30 kilos (*French Electrical Power Storage Co.*)

COUPE LONGITUDINALE, VUE LATÉRALE ET PLAN.

Dessins à $\frac{1}{6}$ d'exécution.

Légende des fig. 42, 43, 44 — A, A, récipient. — B, B, poignées. — C, C tasseaux. — D, huit électrodes positives composées chacune d'une plaque de plomb fondue à jours, dont les cellules sont remplies de peroxyde de plomb. — D', neuf électrodes négatives composées chacune d'une plaque de plomb fondue à jours, dont les cellules sont remplies de plomb réduit. — P, borne positive, en communication avec les huit plaques positives. — N, borne négative, en communication avec les neuf plaques négatives.

Surface extérieure des 8 électrodes positives.....	70 d. q.
— — des 9 — négatives.....	79 d. q.
Poids des 8 électrodes positives..... environ.....	8 ^k ,600
— des 9 électrodes négatives..... —	8 ^k ,300
— de l'eau acidulée sulfurique..... —	6 ^k ,800
— du récipient et accessoires..... —	6 ^k ,200
Poids total..... —	30 kilos.

pour faire varier la vitesse du véhicule. Ce procédé, évidemment défectueux, est celui qui fut proposé par M. Camille Faure, dans son premier brevet *accumulateurs*. Deux années d'expériences fort coûteuses, et des conseils autorisés, n'ont rien appris de plus aux ingénieurs-électriciens que M. Philippart investit de sa confiance.

Le pilote, placé sur la plate-forme d'avant, a sous la main le commutateur, la manette commandant l'avant-train directeur, et le levier des freins.

II

Nous allons partir. La route que nous devons parcourir offre d'abord un trajet en palier, puis une rampe de $\frac{10}{1000}$, et une rampe de $\frac{20}{1000}$. Sur nos rails à ornière, médiocrement entretenus, le coefficient de traction est environ $\frac{1}{100}$.

Le *démarrage* exige une dépense de force considérable. Pour atteindre en dix secondes la vitesse normale de 3 mètres,

il faut, pendant ces dix secondes, produire un nombre de kilogrammètres correspondant : 1^o au *roulement* proprement dit; 2^o à la quantité de *puissance vive* emmagasinée dans la masse du véhicule à la vitesse de 3 mètres. A l'aide du

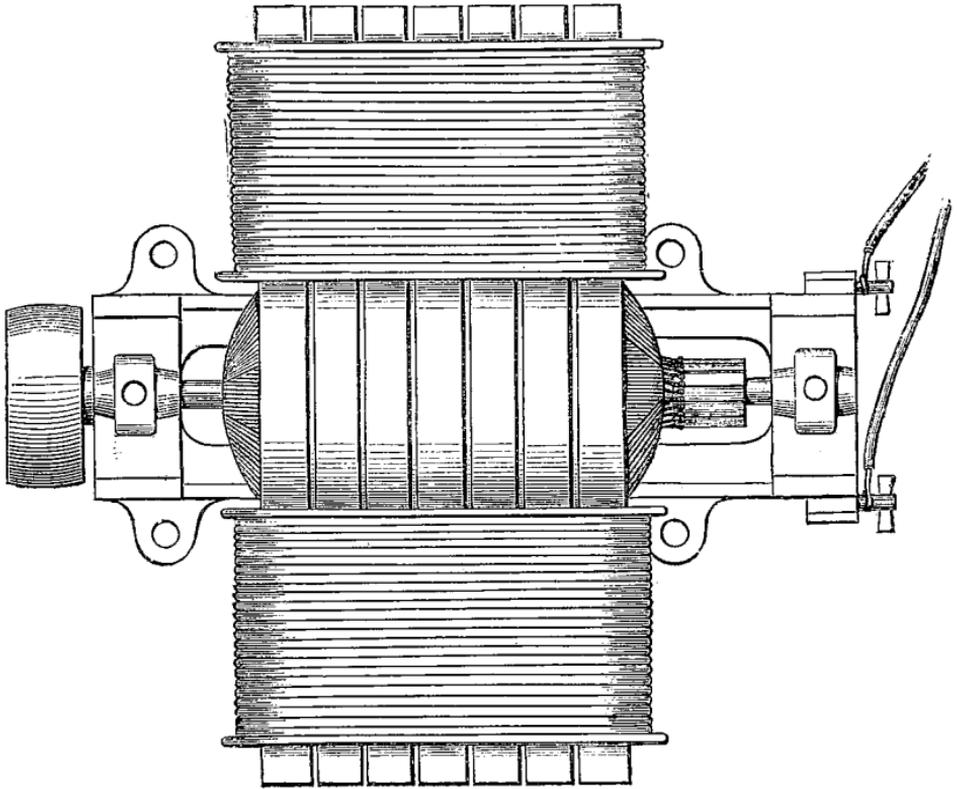


Fig. 45.

MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE DE SIEMENS (modèle D2)
employée comme moteur dans le tramcar électrique.

Vue en dessus —Échelle de 0^m,418 par mètre. — (Siemens frères à Paris.)

Longueur suivant l'axe, poulie comprise	0 ^m ,82
Largeur	0 ^m ,70
Hauteur	0 ^m ,30
Poids	240 kilos.
Vitesse moyenne	1 200 tours.
Résistance de la bobine	0,27 ohm.
— des électros	0,30 ohm.
Résistance totale	0,58 ohm.

commutateur, nous fermons le circuit d'abord sur 40 accumulateurs, puis sur 45, 50, 55, 60..., jusqu'à ce que le démarrage s'effectue.

Au bout de dix secondes environ, nous sommes à la vitesse normale ; notre provision de force vive étant faite, nous n'avons plus à fournir que le travail correspondant au roulement. Le régime précédent ne peut plus convenir ; nous réduisons le nombre des accumulateurs à 55, 50, 45..., de manière à conserver la vitesse de 3 mètres.

Pendant que nous marchons à cette allure, un voyageur fait arrêter la voiture. Nous ouvrons le circuit. Mais cette manœuvre ne suffit pas pour nous arrêter court : notre force vive nous conduirait, avec une vitesse décroissante, à une distance de quelques 60 mètres. Pour épargner à notre voyageur ce trajet, et à tout le monde une perte de temps, *on serre les freins*. Nous transformons ainsi en efforts destructeurs, en chaleur perdue, la plus grande partie de notre force vive. Pour démarrer à nouveau, nous devons la restituer à notre véhicule. Et ainsi à chaque arrêt réglementaire ou accidentel.

Nous atteignons notre première rampe. *Le travail d'élévation* s'ajoute à celui du roulement ; sur la rampe de 10 millimètres, le premier travail est égal au second ; sur la rampe de 20 millimètres, le travail élévateur sera double. Ainsi la dépense de force, à vitesse normale, est doublée sur la première rampe et triplée sur la seconde. C'est toujours par la manœuvre du commutateur que nous cherchons à nous maintenir à bonne vitesse.

Dans les *démarrages en rampe*, le travail élévateur s'ajoute aux deux autres. Le tramcar électrique démarre aisément sur la rampe du boulevard Rochechouart, qui est de 38 millimètres par mètre. La batterie fournit alors une quantité de travail considérable. Remarquons en passant que le moteur électrique possède une élasticité de puissance aussi grande et même plus grande que celle des meilleurs chevaux.

Arrivés à l'extrémité de notre ligne, nous voulons revenir au point de départ. La voiture n'étant pas réversible, il faut reprendre la voie de retour, en passant par une *raquette*; la manœuvre s'exécute avec facilité, voire avec grâce.

Nous voici sur une pente de $\frac{20}{1000}$. Le tramcar, livré à lui-même, prendrait une vitesse indéfiniment accélérée, qu'il faut modérer en manœuvrant adroitement les freins. Il est impossible de leur faire absorber exactement l'excès de travail propulseur; le pilote agit par serrages et desserrages consécutifs.

Sur la descente de $\frac{10}{1000}$, le travail à dépenser est à peu près nul; le véhicule est presque livré à lui-même, le commutateur et le frein ne servent que pour les démarrages, les arrêts, ou les accidents de route.

Nous regagnons la partie *palier* de notre trajet, sur laquelle nous manœuvrons comme à l'aller.

La station de départ est atteinte. Nos accumulateurs ont dépensé une grosse somme d'énergie, dont une grande partie

a été absorbée par les freins; et cette dépense n'est pas répartie également entre tous les couples. Les premiers, qui ont été plus souvent en circuit, ont dépensé beaucoup, les autres moins. Dans ces conditions, la batterie deviendrait inerte avant d'être épuisée, d'où une perte à la *décharge*, laquelle perte se reproduira à la *charge*. Pour fournir assez de coulombs aux accumulateurs les plus épuisés, il faudra en donner trop à ceux qui le sont moins. Et cette *surcharge* onéreuse abrégera leur durée.

Traduisons ces faits en formules.

III

Pour remorquer un véhicule, aller et retour, sur une voie de chemin de fer ou de tramway accidentée, la somme d'énergie à dépenser comprend :

1^o Le *travail de traction* proprement dit, W , proportionnel au poids P du véhicule, à la longueur L de la ligne, et au coefficient de traction K :

$$W \text{ (en kilogrammètres)} = P \text{ (en kilogrammes)} \times L \\ \text{(en mètres)} \times K;$$

2^o La somme W' des *travaux élévateurs*, POSITIFS OU NÉGATIFS, w'_1, w'_2, w'_3, \dots , résultant des changements d'altitude h_1, h_2, \dots du train, dans les trajets hors palier. Le travail élévateur est proportionnel au poids P du véhicule, et au changement de niveau h :

$$w'_1 \text{ (en kilogrammètres)} = P \text{ (en kilogrammes)} \times h_1 \text{ (en mètres)};$$

3° La somme W'' des dépenses de *puissance vive*, POSITIVES OU NÉGATIVES, $w''_1, w''_2, w''_3, \dots$, nécessitées par les départs et les arrêts. La quantité de force vive mise en jeu chaque fois est égale à :

w''_1 , (en kilogrammètres) = $\frac{P \text{ (en kilogrammes)}}{g} \times V^2$ (en mètres).

Un train qui, parti d'une station, y revient après un parcours plus ou moins accidenté, coupé par des arrêts, n'a point accru ni diminué son *énergie de position*; il n'a pas gagné ni perdu de force vive. On peut écrire :

$$W' = w'_1 + w'_2 + \dots = 0;$$

$$W'' = w''_1 + w''_2 + \dots = 0.$$

Théoriquement, le travail de traction se réduirait au roulement proprement dit.

Nous avons vu que, dans la pratique actuelle, les travaux d'élévation et de démarrage sont, au contraire, très considérables, car les accumulateurs pourvoient aux travaux *élevateurs positifs*, à tous les démarrages; et les travaux *négatifs* de descente et d'arrêt sont presque entièrement absorbés par les freins. En d'autres termes, on n'obtient une récupération effective que dans les descentes de $\frac{10}{1000}$ ou moins. Il y a alors une diminution du travail propulseur qui équivaut à une récupération partielle. Au delà de $\frac{10}{1000}$, le travail négatif est absorbé par les freins; il est perdu. Perdue

aussi la force vive emmagasinée, quand on cale brusquement le train.

On ne peut pas récupérer totalement les travaux négatifs ; mais il est possible d'en récupérer une partie. Il faudrait au moins le tenter.

Je vais montrer qu'on pourrait y réussir, sans toucher à la partie mécanique du tramcar, au moyen d'un artifice physique assez simple, dont l'efficacité sera aisément comprise, si l'on veut me prêter quelque attention.

IV

La batterie d'accumulateurs et le moteur électrique constituent un circuit dans lequel circule un courant électrique, sous l'action de la résultante de deux f. e. m. opposées :

E_0 , f. e. m. de la batterie d'accumulateurs ;

E , f. e. m. inverse du moteur électrique.

En appelant R la résistance totale du circuit, le travail moteur théorique, en kilogrammètres par seconde, est :

$$W_0 = \frac{E(E_0 - E)}{gR}. \quad (1)$$

Cette formule montre deux manières de faire varier le travail moteur, et par conséquent la vitesse du véhicule :

1° L'augmentation ou la diminution de E_0 (projet Faure, tramcar Philippart) ;

(1) MASCART, Des machines magnéto-électriques et électro-dynamiques, *Journal de physique*, juillet 1877. Il est bon de rappeler la date de ce travail, parce que l'origine des propositions qu'il contient est souvent rapportée, à tort, à des travaux plus récents.

2° La diminution ou l'augmentation de R (tramcar Siemens).

Quand on fait varier E_0 en ajoutant ou retirant des accumulateurs, la dépense est inégale dans les couples; c'est, comme on l'a vu, une perte fort grande à la charge et à la décharge. Si l'on introduit des résistances supplémentaires, elles sont le siège d'une émission de chaleur qui, dans certains cas, est une fraction considérable du travail total. Enfin, ni l'un ni l'autre procédés ne permettent de *recupérer* (c'est-à-dire de recharger les accumulateurs aux descentes rapides et aux arrêts brusques), puisqu'avec des machines excitées en circuit, E est toujours plus petit que E_0 .

V

Je vais indiquer l'une des méthodes par lesquelles on pourrait obtenir :

1° Une réduction dans la dépense d'électricité; 2° une égale répartition de la dépense entre tous les accumulateurs; 3° une récupération partielle des énergies perdues.

Le moyen consisterait à utiliser concurremment les variations de E_0 et celles de R ; mais les variations de E_0 seraient obtenues par *des couplages* donnant trois régimes distincts, et celles de R s'effectueraient *dans des limites restreintes*, pour fournir les régimes intermédiaires entre les trois régimes tranchés fournis par la commutation.

Le moteur électrique serait à *excitation séparée*. Si j'ai, par exemple, 80 accumulateurs, j'en prendrai 8 pour exciter les électros du moteur électrique.

Les 72 accumulateurs restants seront divisés en quatre séries de 18 accumulateurs chacune; et je combinerai un jeu de commutateurs permettant de grouper entre elles ces quatre batteries de manière à obtenir :

- 1^o 72 en tension : $E_0 = 144$ volts ;
 2^o 36 en tension, 2 en quantité : $E_0 = 72$ volts ;
 3^o 18 en tension, 4 en quantité : $E_0 = 36$ volts.

Il est aisé d'obtenir successivement ces trois groupements par une manœuvre simple. Entre autres dispositifs, je citerai celui qui consisterait à relier les quatre séries d'accumulateurs, deux par deux, au moyen de deux commutateurs Planté solidaires, à deux directions (*fig. 46*), les deux bornes de tête de chacun de ces deux commutateurs étant reliées aux bornes d'un troisième commutateur semblable, dont les bornes de tête sont reliées au moteur électrique. Quand les trois commutateurs sont en tension, on a le couplage n^o 1; le n^o 2 s'obtient en mettant les deux premiers en tension et le second en quantité, ou inversement; en les mettant tous les trois en quantité, on fait le 3^e couplage.

La petite batterie d'*excitation* aura deux couplages : l'un tout en tension, correspondant au premier couplage de la grande batterie; l'autre en demi-tension, correspondant aux deux autres.

La transmission entre la dynamo et les roues motrices aura deux rapports de vitesse. Le plus grand rapport sera employé pour les démarrages, et pour l'ascension de fortes rampes : on pourra ainsi partir avec moins de fatigue, et maintenir la dynamo à bonne vitesse, malgré le ralentissement d'allure du véhicule.

Le moteur électrique est à *renversement de courant par déplacement des balais, et à changement de marche par commutateur inverseur.*

Toutes choses sont combinées de manière qu'on ait généralement $E < E_0$, et $> \frac{E_0}{2}$, *excepté dans les périodes de récupération, où l'on doit nécessairement avoir $E > E_0$.*

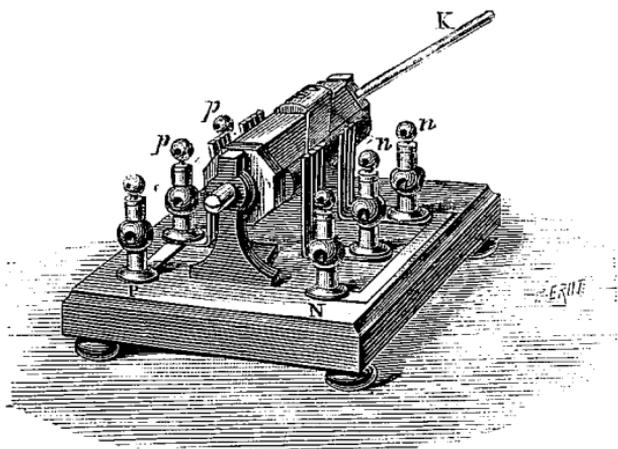


Fig. 46.

COMMUTATEUR PLANTÉ.

Modèle industriel à 2 directions (A. Simmen).

(Dessin à $\frac{1}{3}$ d'exécution.)

- n, n , bornes recevant les fils *negatifs* de deux séries d'accumulateurs.
- p, p , bornes recevant les fils *positifs* de deux séries d'accumulateurs.
- N, P , bornes de tête, auxquelles aboutit le couplage *en tension* ou *en quantité* formé par le commutateur,
- K , clé de manœuvre.

Dans la position indiquée, le commutateur donne le couplage en quantité.

Enfin, trois séries de résistances seront disposées comme on le dira plus loin.

Voici quel sera l'usage des divers groupements dont nous disposons :

Le premier couplage (tout en tension) fournit le plus grand débit d'énergie; il travaille avec un mauvais rendement et fatigue les accumulateurs. On l'emploiera le moins possible, dans les fortes rampes seulement. On passera de ce premier couplage au deuxième (demi-tension) en passant par une première série de résistances croissantes.

Le deuxième couplage sera le plus usité. Il fonctionnera en palier, dans les rampes faibles et les pentes insensibles. On passera de ce deuxième couplage à l'ouverture du circuit par une deuxième série de résistances croissantes, procurant des graduations de vitesse.

La marche à circuit ouvert servira dans les pentes voisines de $\frac{10}{1000}$. On sait que sur de pareilles déclivités, le travail à fournir est à peu près nul.

Dans les pentes supérieures à $\frac{10}{1000}$, on fera *renversement de courant* sur le troisième couplage (en quantité). Il y aura alors *récupération d'électricité dans les accumulateurs*. Une troisième série de résistances sera adjointe à ce troisième couplage. On passera du circuit ouvert à la fermeture sur quantité, en passant par des résistances successivement décroissantes jusqu'à 0, pour accroître graduellement l'intensité du *courant de charge*, et l'action de *frein électrique* ainsi obtenue. Le maximum d'action de ce frein électrique récupérateur sera obtenu avec la résistance additionnelle nulle.

C'est seulement quand ce maximum sera insuffisant, qu'on aura recours aux freins mécaniques.

En résumé, les divers régimes mis à la disposition du pilote pendant la marche sont, par ordre d'énergie décroissante :

TRAVAUX POSITIFS

- N° 1. — Couplage en tension, sans résistance additionnelle ;
- N° 2. — Couplage en tension, avec résistances additionnelles ;
- N° 3. — Couplage à demi-tension, sans résistance additionnelle ;
- N° 4. — Couplage à demi-tension, avec résistances additionnelles.

TRAVAIL NUL

- N° 5. — Circuit ouvert.

TRAVAUX NÉGATIFS

- N° 6. — Renversement de courant, fermeture sur couplage en quantité, avec résistances additionnelles ;
- N° 7. — Renversement de courant, fermeture sur couplage en quantité, sans résistance additionnelle ;
- N° 8. — Renversement de courant, fermeture sur couplage en quantité, et serrage des freins ;
- N° 9. — Fermeture en quantité, et *changement de marche*.

Les régimes nos 5, 6, 7 et 8 sont des moyens d'arrêt d'une puissance croissante.

Le *changement de marche subit* est dangereux ; il doit être réservé pour les arrêts très urgents ; il donne normalement *la marche en arrière à petite vitesse*.

Dans les démarrages, l'ordre de puissance des premiers régimes peut se trouver interverti. En effet, la vitesse étant d'abord nulle, E commence par être égal à 0, et croît lentement, de sorte que pendant le coup de collier, l'effort moteur est sensiblement proportionnel à :

$$\frac{E_0^2}{R}$$

Alors, les valeurs des résistances de la bobine et de la batterie d'accumulation diversement couplée entrent en ligne de compte. Ainsi, avec la bobine de notre D2, de résistance = $0^{\text{ohm}},27$, et des accumulateurs dont la résistance individuelle serait $0^{\text{ohm}},01$, le plus grand *effort* au démarrage serait fourni par le régime n° 3.

VI

Il n'est pas besoin, je pense, d'insister pour démontrer que la variété des couplages, avec inversion du courant, emploi discret des résistances et usage minimum des freins, est préférable au procédé trop primitif employé par la F. E. P. S. C°. La *dépense* totale est *diminuée*, elle est *également répartie* entre tous les accumulateurs, qui sont ainsi déchargés avec plus de profit et rechargés avec moins de perte; la *recupération* des *puissances vives* et des *énergies de position* est partiellement obtenue. Enfin, les couplages en quantité, outre qu'ils donnent, pour des valeurs égales de E_0 , une diminution de la résistance totale du circuit, procurent aux accumulateurs un repos relatif qui diminue leur résistance individuelle. Une réduction du poids d'accumulateurs employés, de leur prix d'achat et d'entretien, est la conséquence de tout cela.

Et puisque, d'une manière générale, les machines qui utilisent le mieux sont celles qui s'usent le moins, une machine où les forces perdues sont réduites au minimum doit durer plus longtemps qu'une autre et s'amortir à un taux moins élevé.

La complication du procédé n'est qu'apparente. C'est une question de *commutateur*. Il est possible, sinon très aisé, de combiner un jeu de commutateurs opérant les groupements nécessaires, dans l'ordre indiqué. Par la manœuvre simple d'un instrument compliqué, le pilote ira du travail positif le plus élevé au travail négatif le plus fort, en passant par tous les régimes intermédiaires, sans qu'il lui soit nécessaire de raisonner les diverses combinaisons effectuées successivement.

Le moteur électrique est bon ; les accumulateurs sont passables ; l'agencement mécanique, déjà satisfaisant, sera meilleur encore, quand M. Raffard l'aura monté sur un truck spécial, où l'on ne sera plus gêné par des exigences de toutes sortes. Les artifices purement physiques proposés ici ne tendent point à abandonner ce qui est *acquis déjà*.

Il m'a paru indispensable d'émettre un projet d'utilisation logique des piles secondaires avant de calculer le prix des services qu'elles peuvent rendre.

Possédant maintenant les données théoriques de la question, on peut étudier le *prix de revient* pratique de la traction par accumulateurs.

ESTIMATION DU PRIX DE REVIENT

Le prix de revient de la traction par accumulateurs ne pourrait être établi avec certitude que sur des comptes d'exploitation. En l'absence de tout document de cette nature, il faut dégager, par des calculs, les divers éléments de la dépense.

Les considérations théoriques développées précédemment nous ont préparés à ces opérations. D'autre part, nous avons en mains des renseignements pratiques dont on peut tirer parti.

Les *Tableaux* publiés par le conseil d'administration de la *Compagnie Générale des Omnibus de Paris* pour l'exercice 1882 (1) donnent des renseignements exacts, complets, sur les conditions d'exploitation des tramcars, et sur le coût de la traction animale. Je donnerai à mes évaluations une base solide en les appuyant sur la statistique de cette exploitation modèle.

Étant connue la longueur moyenne d'une ligne de tramway, le parcours kilométrique moyen d'une voiture et son poids maximum, on peut calculer, avec une approximation suffisante la quantité de travail fournie quotidiennement par les chevaux. On calculera ensuite la somme de travail qu'il faudrait

(1) Imprimerie Renou, Maulde et Cock, Paris, 1883.

dépenser *indirectement* pour faire le même service par piles secondaires.

Le poids d'accumulateurs à employer ressortira de ces estimations.

Les accumulateurs Faure ne sont pas tarifés commercialement, mais leur prix peut être évalué ; je majorerai mon estimation pour réserver le droit d'auteur et le bénéfice du fabricant.

Quant au taux d'amortissement des piles secondaires, il dépend nécessairement de leur durée totale et partielle, et du coût de leur réfection. On n'a pas là-dessus de données certaines ; je ne pourrai donc autoriser mes chiffres que de ma compétence personnelle.

Lorsqu'on aura estimé le prix de la force motrice, le coût des machines, des accumulateurs, et le taux d'amortissement, on établira aisément le prix de revient de la traction par accumulateurs.

Ce prix sera rapproché de celui de la traction animale — et la conclusion de cette étude ressortira d'elle-même.

La méthode imposée m'obligera à introduire dans mes calculs quelques estimations arbitraires ; mais je m'armerai d'impartialité. Et ma foi hautement proclamée dans l'*accumulation voltaïque* ne fera pas fléchir mes évaluations.

I

La *Compagnie Générale des Omnibus de Paris* possède 15 lignes de tramways, ayant ensemble un développement

de 86 689 mètres. La longueur moyenne d'une ligne est donc 5 779 mètres.

Le parcours journalier moyen d'une voiture est 91 844 mètres.

Je suppose que la voiture sur laquelle je calcule fait quotidiennement 8 *tours* (trajets doubles) de $5\ 800 \times 2 = 11\ 600$ mètres chacun; soit un trajet total de 92 800 mètres. J'attribue à cet itinéraire plus de dénivellation que n'en comporte moyennement une ligne ordinaire — et je répartis les pentes comme suit :

Palier.	2000 mètres.	Vitesse 3 mètres.
Rampe de 5/1000	1200 —	— 3 —
— 40/1000	1100 —	— 3 —
— 45/1000	1000 —	— 2,5 —
— 20/1000	500 —	— 2 —
— 25/1000	400 —	— 1,5 —
— 30/1000	300 —	— 1,5 —
— 35/1000	200 —	— 1 —
— 40/1000	100 —	— 1 —
Descente de 40/1000	100 —	— 3 —
— 35/1000	200 —	— 3 —
— 30/1000	300 —	— 3 —
— 25/1000	400 —	— 3 —
— 20/1000	500 —	— 3 —
— 15/1000	1000 —	— 3 —
— 10/1000	1100 —	— 3 —
— 5/1000	1200 —	— 3 —
Total.....	<hr/> 11600 mètres.	

Cette route comporterait 36 démarrages (et autant d'arrêts), qu'on peut répartir ainsi :

29 démarrages à la vitesse de.....	mètres.
3 — —	3
1 — —	2,50
1 — —	2
3 — —	1,50

Un grand tramcar *complet* pèse au maximum :

	kilogrammes.
Voiture.....	3400
50 voyageurs.....	3400
Total.....	6800

En calculant, par les formules données, la quantité de travail dépensé pour remorquer le tramcar pendant un tour complet, on trouve :

	kilogrammètres.
Roulement : $6800 \times 0,04 \times 11\ 600$	= 788 800
Travaux d'élévation : 6800×72	= 489 600
Démarrages : 29 à 3 mètres.....	90 367
— 3 à 2,5 —	6 506
— 1 à 2 —	1 388
— 3 à 1,50 —	2 342
Total.....	1 379 203

Sur lesquels on récupère, dans les descentes de 5 à 10 millimètres, les travaux d'élévation affectés aux rampes correspondantes, soit :

$$6\ 800 \times 17 = 115\ 600 \text{ kgm.}$$

Dans les descentes plus fortes, on n'utilise qu'une partie de la chute correspondant à 10/1000; soit, dans l'ensemble des pentes :

$$6\ 800 \times 25 = 170\ 000 \text{ kgm.}$$

La dépense nette de travail est donc :

$$1\ 379\ 203 - (115\ 600 + 170\ 000) = 1\ 093\ 603 \text{ kgm.}$$

ou 4,05 chevaux-heure (1).

(1) Le temps de traction par tour étant de soixante-quinze minutes (non compris les stationnements et les arrêts), le régime *moyen* du travail fourni, pendant la marche, par les chevaux d'attelage et de côte serait 3,25 chevaux-vapeur.

II

Dans la traction par accumulateurs, il faut d'abord tenir compte du supplément de travail exigé par le poids additionnel de l'appareil électrique. Avec les batteries actuelles, le poids de la locomotive serait environ la moitié du poids à remorquer; soit 3400 kilogrammes. Par conséquent, nos travaux sont majorés de moitié, et deviennent :

	kilogrammètres.
Roulement.....	1 183 200
Travaux d'élévation.....	734 400
— de démarrage.....	151 204
Total.....	2 068 804

Sur lesquels on récupérera :

Mécaniquement : 0,9 des travaux élévateurs correspondant aux rampes de 5 à 10 millimètres :

$$173\,400 \times 0,9 = 156\,060 \text{ kgm. ;}$$

Électriquement : 0,3 des travaux élévateurs restants (561 000 kgm.) et des puissances vives (151 204 kgm.) :

$$(561\,000 + 151\,204) \times 0,3 = 213\,661 \text{ kgm.}$$

Il reste donc à dépenser net : 2 068 804 — (156 060 + 213 661) = 1 699 083 kgm., ou 6,29 chevaux-heure.

III

Pour obtenir le chiffre du *travail à dépenser pour charger les accumulateurs*, il faut diviser le chiffre du *travail utilisé* par les trois coefficients de transformation qui sont :

a. Transformation du travail mécanique de la machine à

vapeur en énergie électrique dans les accumulateurs. Si l'on évite de surcharger, on peut, avec une installation bien étudiée, obtenir $a = 0,65$ (1).

b. Transformation de l'énergie électrique des accumulateurs en travail mécanique sur l'arbre de la dynamo. Dans une installation fixe fonctionnant à bon régime, le rendement peut atteindre 0,75; mais sur le tramcar, les exigences du service priment le rendement. J'estime qu'en usant des artifices physiques précédemment décrits, la valeur de *b* ne descendra pas au-dessous de 0,55.

c. Transmission aux roues motrices du travail de la dynamo. On a estimé $c = 0,9$.

$$\text{Le produit } a \times b \times c = 0,332.$$

Ainsi, nos roues motrices n'utiliseront que 33 pour 100 du travail produit par le moteur de l'usine. La force motrice à dépenser, pour *un tour*, sera donc :

$$\frac{6,29}{0,33} = 19 \text{ chevaux-heure.}$$

(1) Ce coefficient *a* est lui-même le produit de 4 coefficients élémentaires, savoir :

a' — Transformation du *travail mécanique en travail électrique* dans la dynamo chargeuse. $a' = 0,85$.

a'' — Rapport entre la f. e. m. des accumulateurs *pendant la charge*, et la f. e. m. de la chargeuse. $a'' = 0,9$.

a''' — *Coefficient de baisse* (voir p. 121), ou rapport entre la f. e. m. *normale* des accumulateurs et leur f. e. m. pendant la charge. $a''' = 0,95$.

a'''' — *Coefficient de restitution*, ou rapport entre le nombre de coulombs livrés par les accumulateurs, et le nombre de coulombs fournis par la chargeuse. $a'''' = 0,9$.

$$\text{D'où } a = 0,85 \times 0,9 \times 0,95 \times 0,9 = 0,654.$$

Et pour les 8 tours, comprenant l'itinéraire d'une journée de voiture :

$$19 \times 8 = 152 \text{ chevaux-heure (1).}$$

Évaluons à 0^{fr},08 le coût du cheval-heure à l'usine, en comprenant dans ce prix l'intérêt et l'amortissement de la machinerie et des dynamos chargeuses (l'usine fonctionnerait 20 heures sur 24).

Le coût de la force motrice sera :

$$152 \times 0^{\text{fr}},08 = 12^{\text{fr}},16.$$

IV

Les accumulateurs livrent $19 \times 0,65 = 12,35$ chevaux-heure électriques par tour.

Cette quantité d'énergie peut être emmagasinée dans 800 kilos d'accumulateurs Faure-Sellon-Wolckmar (2) ; mais le *débit* d'une batterie de ce poids serait insuffisant, car le régime de travail s'élève, à certains moments, à 10 chevaux-vapeur. Donc, je doublerai le poids de la batterie, qui sera ainsi capable de travailler pendant deux tours.

(1) Le travail fourni par les chevaux, pour une journée de voiture, serait $4,05 \times 8 = 32,4$ chevaux-heure. *L'usine dépense donc 4,75 fois plus de force que les chevaux, pour accomplir le même travail utile.*

(2) Il ne faut pas oublier qu'il s'agit du modèle d'accumulateur Faure, proposé en juillet 1883. Les accumulateurs actuels fourniraient des données beaucoup plus favorables.

Le poids de la locomotive électrique serait à peu près réparti comme suit :

	kilogrammes.
Accumulateurs.....	1600
Moteur électrique Siemens D2 <i>renforcé</i>	250
Transmission, etc.....	300
Outils.....	50
Commutateurs, rhéostats, galvanomètres, etc.....	60
Truck roulant.....	1140
Total.....	<u>3400</u>

La recharge des accumulateurs pouvant être effectuée en moins de 5 heures, chaque batterie pourra subir au moins deux charges et décharges par journée, et le service sera largement assuré avec deux locomotives par voiture.

En estimant les accumulateurs à 1000 francs la tonne (prix qui laisse une marge suffisante pour droits d'auteur et bénéfice), la valeur approximative de chaque locomotive serait :

	francs.
Accumulateurs, 1600 kilogrammes.....	1600
Dynamo Siemens D2 modifiée et renforcée.....	250
Commutateurs, rhéostats, galvanomètres, etc.....	500
Mécanisme de transmission et montage.....	500
Truck et freins.....	1400
Total.....	<u>6500</u>

La partie électrique de la locomotive serait amortie à 25 pour 100 ; le reste à 20 pour 100.

On manque de données pratiques pour établir le taux d'amortissement des accumulateurs ; pourtant, on sait que le récipient et les lames négatives peuvent durer beaucoup plus d'un an, et que les réfections à faire subir dans l'année aux plaques positives seront largement payées par la valeur des appareils réformés. Je crois donc compter largement en amortissant la batterie à raison de *cent pour cent*.

L'amortissement annuel d'une locomotive comporterait ainsi :

	francs.
100 pour 100 sur 1600 francs d'accumulateurs.....	1600
25 pour 100 sur 3000 francs d'appareils électriques..	750
20 pour 100 sur 1900 francs de truck et mécanique..	380
Total.....	<u>2730</u>

Et pour les deux locomotives d'une voiture : $2\ 730 \times 2 = 5\ 460$ francs.

Soit 15^{fr},60 par voiture et par jour, en supposant 15 journées de chômage par an.

V

En résumé, la traction par accumulateurs, pour une journée de tramcar faisant 8 tours sur une ligne de 5 800 mètres (en tout 92 800 mètres), coûterait approximativement :

	francs.
Force motrice à l'usine, 125,76 chevaux-heure à 0 ^{fr} ,08..	12,16
Entretien et amortissement journaliers des locomotives et accumulateurs.....	15,60
Graissage ¹	5
Manutention des locomotives ¹	5
Part de loyer afférente à 2 locomotives ¹	4
Total	<u>41,76</u>

D'autre part, les *Tableaux* de la *Compagnie Générale des Omnibus de Paris* nous apprennent que la traction par

(1) Ce chiffre, estimé approximativement par comparaison avec des cas analogues, ne pourra être exactement fixé que par des comptes d'exploitation.

chevaux a coûté en 1882, pour chaque journée de voiture :

	francs.
Loyer des dépôts.....	11,2073
Solde des chefs de dépôts.....	0,3900
Solde des piqueurs.....	0,3711
Service vétérinaire, infirmerie et médicaments	0,4502
Solde des palefreniers.....	4,5698
Solde des relayeurs et côtiers, employés divers.	2,4842
Achat d'eau.....	0,2284
Nourriture des chevaux.....	33,5549
Renouvellement des chevaux.....	4,5279
Ferrage des chevaux.....	1,8057
Chevaux au labour.....	1,1645
Entretien du mobilier, des dépôts et des brosseuses.....	0,5883
	63,3423
Entretien et renouvellement des harnais.....	1,70
Total.....	65,0423 (1)

On peut faire la comparaison des deux prix sous une forme plus générale, en disant que :

La dépense par cheval-heure utilisé est de :

$$\frac{41^{\text{fr}},76}{32,4} = 1^{\text{fr}},29, \text{ avec les accumulateurs ;}$$

Et de :

$$\frac{65^{\text{fr}},0423}{32,4} = 2^{\text{fr}}, \text{ avec les chevaux.}$$

L'ÉCONOMIE EN FAVEUR DE LA TRACTION PAR ACCUMULATEURS SERAIT DE 35 POUR CENT.

Encore doit-on considérer que les progrès de l'art pro-

(1) Le nombre de chevaux par voiture, y compris ceux d'infirmerie, de labour, de corvée et d'inspection, est, pour chaque journée de tram-car, de $44\frac{19}{100}$. La dépense journalière de chaque cheval, y compris son amortissement et tous les frais accessoires, ressort donc à 4 fr. 58; prix très modéré, qui témoigne de la vigilance de l'exploitation.

mettent d'importantes et prochaines réductions sur le poids (1) et le prix des accumulateurs, tandis qu'on ne peut espérer aucun abaissement sur les prix des chevaux et des fourrages, qui sont en hausse continue. La locomotive électrique offre, en outre, certains avantages spéciaux : élasticité plus grande dans le service, exploitation d'une plate-forme disponible, etc.

Il faudrait maintenant donner aux résultats du calcul une *sanction expérimentale*, avec des locomotives bien agencées. Le tramcar présenté par la *French Electrical Power Storage Co* est impropre à cette démonstration, car il met en évidence l'abus plutôt que l'usage des accumulateurs. Distancer les chevaux au moyen d'une batterie formidable, et gravir, en vitesse, des rampes de 42/1000, voilà qui est bon pour étonner les intéressés; le moment est venu de les convaincre en leur démontrant que le système est sûr, durable, économique.

Les éléments du succès sont acquis. Mais pour réussir, il faut se conformer aux prescriptions de la théorie; prendre un poids d'accumulateurs juste nécessaire et suffisant pour obtenir ce que donnent les chevaux; s'efforcer d'atteindre le but sans le dépasser — en un mot, s'appliquer à faire des choses utiles plutôt que des choses étonnantes.

(1) Le poids des accumulateurs a déjà beaucoup diminué depuis quelques mois. (Voir p. 110.)

SUR UN PROJET DE DISTRIBUTION
DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
DANS LA VILLE DE NANTUA (1).

Au mois de mars 1883, j'ai fait à Nantua des expériences tendant à démontrer la possibilité de canaliser et de distribuer avantageusement l'énergie électrique, avec l'aide des *accumulateurs*.

Quoique les essais aient été concluants, le projet n'a pas abouti. Il faut le regretter; car l'utilité des accumulateurs, pour la captation et la distribution de l'énergie, eût reçu une démonstration décisive.

Beaucoup de systèmes (et surtout beaucoup d'intérêts) se sont ligués contre les batteries secondaires; mais on y reviendra. On y revient déjà.

En attendant que les accumulateurs aient pris dans la grande industrie électrique la place qui leur est assignée par le bon sens, il n'est peut-être pas inutile d'enregistrer la modeste tentative de Nantua.

La ligne d'essai avait un développement de 1 kilomètre environ. C'était un conducteur aérien, en bon cuivre, composé

(1) *La Nature* du 24 mars 1883.

L'Electricien du 15 mai 1883.

Association française pour l'avancement des sciences. Congrès de la Rochelle, 28 août 1882.

de 7 brins de 1 millimètre de diamètre; il était soutenu par des isolateurs de porcelaine, comme les fils télégraphiques. Sur ce circuit, on avait distribué 17 foyers, d'intensités et de systèmes différents, savoir :

1° 12 lampes Edison, modèle de 55 volts ;

2° 4 lampes Reynier à air libre, système à 2 charbons (*fig. 50*) ;

3° 1 lampe à arc voltaïque.

La différence de potentiel entre les conducteurs était réglée à 55 volts.

Tous ces foyers étaient montés *en dérivation*, à l'exception des lampes incandescentes à air libre : celles-ci étaient assemblées *en tension* et se partageaient la chute de 55 volts ; 4 jeux de voltamètres, respectivement reliés à ces lampes, permettaient de les éteindre ou de les allumer individuellement, aussi bien que les autres foyers.

Quand les 17 foyers étaient allumés en même temps, la dépense était de 30 ampères : soit un travail *utilisé* de 170 kilogrammètres environ.

Une machine Siemens, modèle D5, à *électros dérivés*, (*fig. 51*), dépensant en moyenne 80 kilogrammètres, alimentait l'ensemble, avec l'aide d'une batterie secondaire.

Les accumulateurs ont dû être improvisés sur place, et construits en toute hâte, avec des ressources insuffisantes et un personnel inexpérimenté, dont il faut cependant louer la vive intelligence et la grande bonne volonté. Ils ont été décrits page 100

Les accumulateurs étaient au nombre de 36, dont 18 *au*

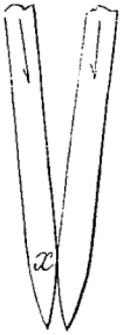


Fig. 47.

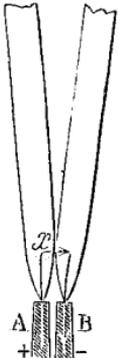


Fig. 48.

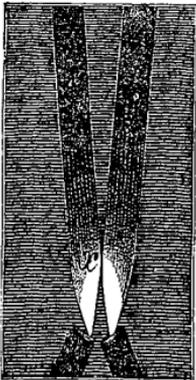


Fig. 49.

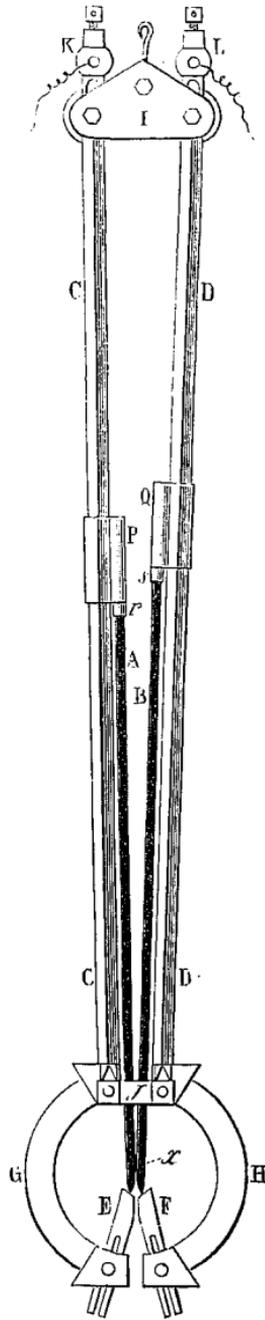


Fig. 50.

LAMPE ÉLECTRIQUE

à incandescence à deux charbons, système Reynier, fonctionnant à l'air libre.
(A. Simmen).

Dessin à $\frac{1}{5}$ d'exécution.

Légende des figures 47, 48, 49 et 50.

Soient deux baguettes de charbon amincies par un bout (*fig. 47*) ; plaçons-les dans un même plan, presque parallèles l'une à l'autre, les pointes en regard, et rapprochons-les jusqu'à ce qu'elles se touchent : leur point de contact, *e*, sera situé au-dessus des pointes, vers l'origine de leurs amincissements.

Les pointes étant libres, on peut les faire buter sur deux contacts, *A* et *B* (*fig. 48*), et obtenir ainsi un système incandescent dans lequel le courant électrique parcourt successivement, en sens inverse, les deux bouts amincis, en passant de l'un à l'autre par leur contact latéral mutuel.

Pour maintenir les choses en cet état, malgré la combustion des pointes, il faut pousser continuellement les charbons dans le sens de leur longueur et donner aux contacts-butoirs une obliquité convenable (*fig. 49*) ; les baguettes doivent être aussi guidées dans leur plan commun. Dans ces conditions, la taille amincie se maintient : les charbons continuent à toucher leurs contacts respectifs, et à se toucher entre eux à une certaine distance au-dessus des pointes.

La figure 50 représente une forme pratique donnée à l'appareil. Les charbons *A* et *B* sont respectivement poussés par les poids *P* et *Q*, glissant sur deux guides métalliques *C* et *D*. Les contacts obliques *E*, *F*, sont deux lames de cuivre fixées sur les arcs de bronze *G*, *H*. Deux paires de brides *I* et *J* relient les deux moitiés de la lampe ; la première paire est en bois, la seconde est en ardoise et forme une fente réfractaire qui guide les deux charbons dans leur plan commun.

Les poids *P* et *Q* sont isolés des charbons qu'ils poussent par les chapeaux d'ivoire *R* et *S*.

Le courant électrique, entrant par la borne *K*, suit le guide en laiton *C*, l'arc *G*, le contact *E*, remonte l'extrémité amincie du charbon *A*, franchit le contact *X*, redescend par le bout du charbon *B*, et suit le contact *F*, l'arc *H* et le guide *D*, jusqu'à la borne *L*.

Les deux contacts-butoirs font peu d'ombre ; le troisième contact ne cause aucune perte de chaleur ou de lumière, et accroît utilement la résistance totale de la lampe.

Cette combinaison de deux pointes incandescentes très rapprochées et de trois contacts voisins procure une concentration de chaleur favorable au rendement photométrique de l'appareil.

zinc et 18 au cuivre : f. e. m. totale, 64 volts ; résistance $0^{\text{ohm}},9$. Chaque accumulateur pesait 22 kilos, et pouvait emmagasiner 300 000 coulombs.

Il faut insister sur ce point : les accumulateurs ne sont pas seulement des réservoirs permettant de pourvoir, pendant un certain temps, à l'insuffisance de la source, et de capter, à

d'autres heures, son excès de production; ils sont aussi des régulateurs efficaces. *Pratiquement, ils transforment, pour ainsi dire, le générateur électrique primaire en un autre, de tension un peu moindre et de résistance beaucoup plus petite.* Dans ces conditions, le débit électrique tend à devenir inversement proportionnel à la résistance du circuit exploité.

Avec l'aide de quelques artifices simples, cette propriété des accumulateurs assure la régularité et l'indépendance de tous les appareils de consommation. Dans l'espèce, on a obtenu, sans autre adjuvant, une marche passable de tous les brûleurs, malgré les variations voulues de leur nombre, et les irrégularités inévitables d'une très mauvaise roue hydraulique, dépourvue de modérateur.

A la suite de cet essai, j'ai fait à la Ville une demande de concession, accompagnée d'un projet de *cahier des charges*, qui fut soumis à l'examen du conseil municipal. J'extraits de ce cahier les articles 5 et 6, qui traitent de l'établissement de la canalisation et de la tarification de l'énergie électrique :

Art. 5. — Sur chaque côté des rues à éclairer, et sur les périmètres des places, le concessionnaire établira une paire de conducteurs aériens ou souterrains. Entre ces deux conducteurs il sera produit une différence de potentiel déterminée, que le concessionnaire maintiendra constante dans toute l'étendue de la canalisation, à ... pour 100 près en plus ou en moins.

La différence de potentiel est provisoirement fixée à *cent volts*. Elle pourra, par la suite, être augmentée avec le consentement de la Ville; mais, dans aucun cas, elle ne pourra devenir supérieure à ... volts.

Les appareils d'éclairage de la voie publique seront directement reliés à la canalisation.

Chaque abonné sera pourvu d'un *compteur*, toujours accessible au

concessionnaire et à ses agents. Ce compteur sera d'un système approuvé par la Ville et par le concessionnaire; l'abonné pourra en être propriétaire ou le prendre en location.

Le concessionnaire installera le compteur et le reliera, à ses frais, à la canalisation; mais l'abonné paiera la location de ce *branchement*. Nul autre que le concessionnaire n'aura le droit de toucher à la canalisation et d'établir des branchements.

Le compteur portera deux prises de courant, auxquelles l'abonné reliera sa canalisation intérieure. L'abonné fera lui-même l'achat des appareils de consommation, et il en commandera à ses frais et risques l'installation, à des entrepreneurs de son choix. Par suite, le concessionnaire sera déchargé de toute responsabilité quant aux conducteurs et appareils situés au delà du compteur.

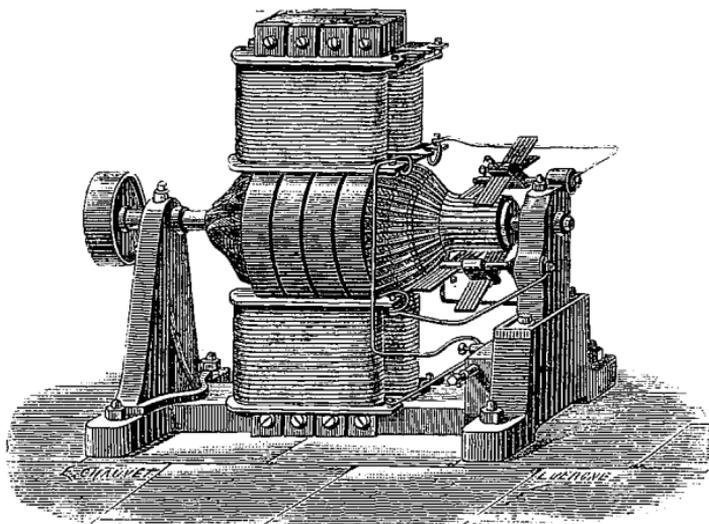


Fig. 51.

MACHINE DYNAMO-ÉLECTRIQUE DE SIEMENS

Modèle SD5 à électros dérivés (*Siemens frères, à Paris*).

Longueur suivant l'axe, poulie comprise.....	0 ^m ,50
Largeur	0 ^m ,22
Hauteur	0 ^m ,46
Poids.....	65 kilos.
Vitesse moyenne.....	1 200 tours.
Résistance de la bobine.....	1.3 ohm.
Résistance des électros.....	25 ohms.

Aucune prise de courant ne pourra être faite sans l'intercalation d'un compteur établi par le concessionnaire, sauf les foyers d'éclairage de la

voie publique, dont la dépense sera établie à l'heure et au bec, et comptée au moyen d'un barème calculé d'après le tarif exposé ci-après.

Art. 6. — L'énergie électrique sera fournie à la Ville et aux particuliers, pour la production de la lumière, de la force motrice, et pour tous autres usages, aux prix, clauses et conditions ci-après, pendant toute la durée du présent traité.

L'unité adoptée pour la mesure de l'énergie électrique est la *tonnemètre*.

Une tonnemètre est le travail nécessaire pour élever un poids de 1000 kilogrammes à un mètre de hauteur. La tonnemètre vaut 1000 kilogrammètres.

La quantité d'énergie W , entrée chez l'abonné, est exprimée, en tonnemètres, par la formule :

$$W = q \times \frac{e}{9810},$$

dans laquelle q exprime, en *coulombs*, la quantité d'électricité reçue; e la différence de potentiel, en *volts*, entre les deux branches de la canalisation.

La tension e étant constante, il suffit, pour mesurer W , de connaître la valeur de q .

Le *compteur* électrique est donc un appareil capable de mesurer le nombre de *coulombs* entrés chez l'abonné.

On emploiera, comme compteur, un bain électrochimique que traversera le courant électrique dépensé par l'abonné. La quantité d'électricité qui aura traversé le compteur sera proportionnelle au poids du corps analysé, engagé ou libéré dans le voltamètre.

On sait qu'il faut 96 *coulombs*, pour correspondre à un équivalent d'un corps, exprimé en milligrammes (1).

Étant connu l'équivalent du corps choisi, le poids électrolysé, engagé ou libéré peut être traduit en *coulombs*, et par suite en *tonnemètres*, au moyen d'une pesée et d'un calcul. Il sera établi un barème qui permettra de traduire immédiatement les pesées en *tonnemètres*, dès qu'il aura été fait choix de la composition à donner au compteur électrochimique.

(1) MASCART, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 11 juillet 1881.

Le système de compteur à adopter sera présenté par le concessionnaire, dans les trois mois qui suivront l'approbation de la présente convention par M. le Préfet. La Ville se réserve le droit de faire expertiser les compteurs présentés et les barèmes y adaptés. Elle pourra toujours prescrire l'adoption de compteurs nouveaux, chimiques ou non, quand il se révélera un progrès important dans ces appareils.

L'énergie électrique sera vendue à raison de 0^{fr},001 la-tonnemètre à la ville et de 0^{fr},002 aux particuliers (1).

Le projet définitif avait donné lieu à des études intéressantes sur l'établissement des lignes et des branchements, sur le choix et l'emploi des compteurs, sur l'adoption des appareils auxiliaires tels que voltamètres, galvanomètres, rhéostats, etc. L'emploi des accumulateurs, leur distribution et leur groupement comportaient aussi des particularités inédites.

Cet ensemble ne sera pas exécuté à Nantua.

Pourquoi?... Je devrais le dire pour l'instruction des électriciens qui croient encore à la clairvoyance et à l'initiative des assemblées municipales ou gouvernementales. Je m'abstiendrai pourtant de conter cette histoire, parce qu'elle pourrait jeter un peu de ridicule sur des hommes qui ne sont pas méchants.

FIN

(1) Dans ces conditions, une lumière équivalente à un bec carcel coûtera, avec les lampes à incandescence dans le vide, à la Ville 0^{fr},02 par heure, aux particuliers 0^{fr},04 par heure environ. Les foyers plus intenses (incandescence à l'air libre ou arc voltaïque) dépendent beaucoup moins relativement.

D'ailleurs, le concessionnaire vendant l'énergie électrique et non la lumière, tous les progrès attendus dans les lampes électriques bénéficieraient à l'abonné.

TABLE ANALYTIQUE

A

- Accumulateurs électriques, 52, 87, 93, 94, 112, 139, 146, 157, 179, 190.
- Accumulateur d'Arsonval, 97, 98.
- au cuivre, 99, 100, 102, 122, 137, 142, 144, 193.
 - cuivre, charbon, sulfate de zinc, 96.
 - à électrodes de charbon, 96.
 - Faure, 109, 110, 131, 133, 145, 146, 155, 164, 180.
 - Faure—Sellon—Wolkmar, 185.
 - genre Planté, 104, 105, 107, 118, 125, 129, 130, 135, 138, 140, 144.
 - industriel, 106, 107, 108.
 - de Kabath, 145.
 - Modèle Nantua, 99, 100, 101, 107, 191.
 - de M. G. Planté, 109, 113, 114, 122, 145.
 - au sulfate de cuivre, 98.
 - Sutton, 98.
 - au zinc, 98, 99, 100, 102, 145, 193.
- Accumulateur au zinc-amalgamé, 103, 105, 121, 122, 125, 137, 138.
- zinc-manganèse, 96.
- Acétates, 68.
- Acides, 67.
- Acide nitrique, 22, 28, 38, 40, 77.
- sulfurique hexabasique, 135, 136.
 - — à l'huile, 21, 22.
 - — au soufre, 21.
 - — ordinaire, 28, 39, 40, 77, 98, 125, 131, 135, 140, 142, 143.
- Amalgamation, 107.
- Amiante, 25, 38, 53.
- Ampère-heure, 65.
- Analyse du vert-de-gris, 77.
- Anion, 63, 65.
- Anode, 63.
- Arc voltaïque, 191, 197.
- Argile, 38.
- ARNOULD et TAMINE, 94.
- ARSONVAL (d'), 21, 87, 97, 98.
- Attaque locale des zincs, 75.
- AYRTON et PERRY, 12.
- Azotates, 68.

B

- Baudruce, 25.
- BECQUEREL, 25, 26, 29.
- BERTHELOT, 138.
- BERTHON, 89.
- Bichromate de potasse, 79, 80.
- Bioxyde de cuivre, 84.
- Bioxyde de manganèse, 90.
- Bisulfate de potasse, 22.
- Bois, 28.
- Borates, 68.
- Boussole galvanométrique, 115.
- BRANDELY, 27.

C

- Cahier des charges, 194.
 Calories, 138.
 Canalisation électrique, 99, 194.
 Capacité d'accumulation, 101, 108, 117, 118, 120.
 Carbonates, 68.
 Carcel, 146.
 CABRÉ (F.), 29, 30.
 Carton bitumé, 29.
 Cathode, 63.
 Cation, 63, 65.
 Cendrée, 97.
 Céramiques poreuses, 39.
 Charge, 124, 130, 131, 136.
 Cheval-heure, 72, 141, 143, 144.
 Cheval-vapeur, 92, 93.
 Chimie des accumulateurs, 124.
 — des piles primaires, 73.
 Chlorates, 69.
 Chlore, 65.
 Chlorhydrate d'ammoniaque, 69, 90.
 Chlorures, 69.
 Chromates, 69.
 Chute de potentiel, 124.
 Circuit fermé, 126.
 — ouvert, 80.
 Citations, 126, 127, 128, 129, 130, 135, 137.
 Cloisonnements, 16, 22, 50, 54, 55, 56, 57, 60, 61.
 Cloisons animales, 25.
 — minérales, 38.
 — végétales, 28.
 Coefficient de baisse, 114, 122.
 — de restitution, 103, 107, 148.
 — de traction, 165.
 — d'utilisation chimique, 71, 72, 75, 80, 86.
 — — physique, 71, 72, 75, 80, 86.
 Commutateurs, 163, 173, 174, 178.
 COMPAGNIE GÉNÉRALE DES OMNIBUS DE PARIS, 159, 179, 180, 187.
 Composition du vert-de-gris, 77.
 Compteurs électriques, 195, 196.
 Concentration de l'eau acidulée, 145.
 Condensateur voltaïque, 97.
 Conducteur électrique aérien, 190.
 Conductibilité, 133.
 Conséquences pratiques de la théorie chimique des accumulateurs, 139.
 Constance, 112, 113.
 Constante magnétique, 116.
 Constantes, 117, 118.
 Corps engagés, 74.
 — libérés, 74.
 Coulomb, 64, 65.
 Couplages, 173, 176, 177.
 — en dérivation, 148.
 — en quantité, 148.
 — en série, 163.
 — en tension, 163.
 Couple historique de Becquerel, 26.
 Couples au bichromate de potasse, 73, 79.
 — genre Daniell, 73, 76, 77, 78, 113, 115, 117.
 — — Volta, 11, 73, 74.
 — de MM. de Lalande et Charperon, 73, 82, 83.
 — secondaires au cuivre, 100.
 — — Faure, 109.
 — — Planté, 109.
 — — au zinc, 100.
 Courant inducteur, 92.
 — primaire, 94, 112, 126, 127.
 — secondaire, 94, 112, 126, 127, 128.
 Cours commerciaux, 73, 78.
 Coût de la lumière électrique, 197.
 Coûts pratiques, 71, 72, 75, 77, 78, 80, 86, 87.
 Cuir, 27.
 Cuivre, 65, 95, 98, 142.
 Cuivre réduit, 103.
 Cyanures, 69.

D

- DANIELL, 26.
 Daniell à gravité, 96.
 Débit normal, 101.
 Décharge, 124, 127, 130, 133, 136.
 Décharges résiduelles, 134.
 Démarrages, 163, 168.
 Densité de l'acide sulfurique, 136.
 Dépense des piles, 90.
 — d'un appareil électrique, 88.
 Dépôt électrochimique, 99.
 — galvanique, 127.
 Dérivations, 103.
- Déviations, 115.
 Dispositif à treuil, 81.
 — expérimental, 115.
 Distribution de l'énergie électrique, 194.
 Double vase poreux, 55.
 DEBOSCO, 17, 23.
 DUBRUNFAUT, 41.
 DUMAS, 129.
 DRONIER, 17, 18, 23.
 Dynamo, 173.

E

- Eau acidulée sulfurique, 94, 126, 128, 131.
 Eau-forte, 77.
 — régale, 40.
 Eclairage électrique, 146, 194.
 — — avec accumulateurs au Théâtre des Variétés (l'), 146.
 Economie de la traction par accumulateurs, 188.
 Electrodes, 63.
 Electrode négative, 99, 101, 132, 133, 135, 138.
 — peroxydée, 133.
 — positive, 99, 135, 188.
 — soluble, 98.
 Electrodes suspendues, 103.
 Electrolyse, 135.
 Electrolyse, 63, 101.
 Electrolyte, 1, 63.
 Electros, 172.
 — dérivés, 191.
 — insérés, 161, 162.
 Equations, 73, 76, 79, 84, 124, 129, 131, 133, 137, 142, 143.
 Equivalents électrochim., 64, 66.
- Essai sur la théorie chimique des accumulateurs, 124.
 Estimation du prix de revient de la traction par accumulateurs, 179.
 Etain, 95.
 Etalon de f. e. m. 9, 115, 116.
 — au chlorure d'argent, 10.
 — Latimer-Clark, 10.
 — Post-Office, 10, 12, 13, 61.
 — Reynier, 11, 12, 13, 14, 15, 115.
 — zinc-cadmium, 10.
 Etat chimique, 124.
 — métallique, 126.
 — pulvérulent, 124.
 Etoffes de laine, 27.
 Etude chimique des piles primaires, 73.
 — — des piles secondaires, 125.
 Evaluation de la dépense d'un appareil électrique, 88.
 Excitation séparée, 172.
 Expériences, 89, 115, 132, 133.
 — sur l'attaque locale des zincs en circuit ouvert, 16.

F

- FARADAY, 64.
 FAURE (Camille), 94, 130, 158, 165, 171.
 FAVRE, 138.
- Fer, 95.
 FICHET, 145.
 FIGUIER, 40.
 FONTAINE, 145.

- | | |
|--|--|
| Force motrice, 93, 148, 196. | F. e. m. des piles de Lalande et Chaperon, 85. |
| F. e. m., 1, 3, 6, 7, 9, 12, 35, 48, 54, 58, 60, 74, 76, 79, 85, 95, 97, 103, 112, 117, 118, 120, 121, 122, 126, 127, 140. | — effectives, 74, 76, 79, 85, 118. |
| — des accumulateurs au cuivre, 119, 142. | — maxima, 5, 7. |
| — — genre Planté, 117, 124, 140. | — minima, 6, 7. |
| — — au zinc, 119, 143. | Formation, 52, 94, 98, 103, 117, 133. |
| — des piles au bichromate de potasse, 79. | — électrolytique du sulfate de plomb, 131. |
| — — du genre Daniell, 60. | — rapide, 130, 131. |
| — Volta, 74. | Formules, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 85, 86, 92, 139. |
| | FRANKLAND (E.), 134, 136. |
| | Frein électrique, 175. |

G

- | | |
|--|------------------------------------|
| GAINÉ, 40. | GÉRALDY, 145. |
| GASSIOT, 37. | GLADSTONE et TRIBE, 130, 132, 134. |
| Gaz, 148, 152. | Goudron, 100. |
| — condensés, 135. | GRAMME, 96, 145. |
| Générateurs d'énergie, 80, 81, 148, 194. | Grès, 38. |
| | GUITTON, 145. |

H

- | | |
|------------------------------------|--|
| HEURCK (Van), 77. | HOUSTON et ELIHU THOMSON, 95. |
| HOFFMANN, 40. | Hydrogène, 64, 65, 66, 72, 76, 93, 97, 126, 127, 132, 135. |
| Horlogerie électrique, 33. | |
| HOSPITALIER (E.), 14, 21, 84, 145. | |

I

- | | |
|---------------------------------|---|
| Incandescence, 146, 192. | Intensités, 65, 92, 103, 114, 116, 118, 120, 121, 122, 132. |
| — à l'air libre, 152, 191, 197. | Intestins, 26. |
| Incrustations, 39. | Iodures, 69. |
| Installations, 146, 152. | Ions, 63, 65. |
| — fixes, 111. | |
| Intensité photométrique, 149. | |

J

- | | |
|------------|-----------------|
| JAMIN, 31. | JOUSSELIN, 145. |
| JOULE, 61. | |

K

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| KABATH (de), 94. | Kilogrammètre-seconde, 72. |
| Kaolin, 38. | KOHLRAUSH, 64. |
| Kilogrammètres, 92. | |

L

- Laine, 27.
 LALANDE (de) et CHAPERON, 82, 87.
 Lampe à arc voltaïque, 191.
 — à incandescence, 146, 192.
 Lampes Edison, 191.
 — Reynier, 191, 192, 193.
 — Swan, 146, 147, 149, 150, 154.
 LA RIVE (de), 137.
- LA RUE (Warren de), 10, 37.
 LATIMER-CLARK, 10.
 LECLANCHÉ, 17.
 LEPLAY, (H.), 41.
 Locomotive électrique, 111, 159.
 LODGE (Olivier), 132.
 Lumière des lampes à incandescence, 149.

M

- Machines dynamo-électriques, 148, 155, 162, 166, 186, 191, 192.
 MAICHE, 96.
 Maillechort, 115.
 Manganèse, 95, 98.
 MASCART, 17, 18, 61, 171, 196.
 Matières actives à engager dans les piles électriques, 139.
 Matières végétales, 28.
 Maxima, 2.
 Mélange chromique, 20, 22, 52, 80, 81.
 Mercure, 17, 18, 61, 97.
 Mesures, 1, 9.
- Mesure de la quantité d'énergie dépensée, 169.
 Métaux, 66, 67.
 Métalloïdes, 66, 67.
 Méthode de l'égalé déviation, 115, 116.
 Microphone, 89.
 — Ader, 89.
 Minima, 3.
 MONNIER, 145.
 Moteur à gaz, 148, 153.
 Moteur électrique Deprez, 97.
 Moteur Otto, 148, 154.

N

- NANTUA (ville de), 99, 190.
 NEUMANN, 40.
- NIAUDET (Alfred), 1.

O

- Ohm, 115.
 Omnibus de Paris, 159, 179, 180, 187.
 Opéra (l'), 147, 156.
 Orientation, 116.
 Osmogène, 41.
 Osmose, 41, 51.
- Oxalates, 70.
 Oxydation, 127.
 Oxyde de plomb, 129, 141.
 Oxydes, 67, 68.
 Oxygène, 97, 98, 126, 130, 135, 140, 142, 143.

P

- Palier, 166.
 Papier albuminé, 29.
 — Berzélius, 40.
 — bitumé, 29.
 — buvard, 32.
 — parcheminé, 29, 40, 132.
- Parchemin végétal, 40.
 Parleurs Edison, 89.
 Peau chamoisée, 27.
 Peroxyde de plomb, 126, 127, 128, 133, 134, 138, 165.
 — négatif, 134.

- Peroxyde positif, 134.
 Pesée des zincs, 89, 90, 91, 93.
 PHILIPPART, 166.
 Phosphate de soude, 70.
 Pile étalon pour servir à la mesure des f. e. m., 9.
 — au chlorure d'argent, 10.
 — Latimer-Clark, 10.
 — Post-Office, 10, 12, 13, 61.
 — Reynier, 11, 12, 13, 14, 15, 115, 116.
 — zinc-cadmium, 10.
 — hydro-électriques, 71.
 — maxima, 2, 3, 41.
 — au manganèse, 98.
 — à microphne, 91.
 — minima, 3, 4, 6, 7, 8.
 Piles primaires, 16.
 — d'Arsonval, 87.
 — Becquerel, 26.
 — au bichromate de potasse, 20, 22, 52.
 — au bioxyde de cuivre, 82.
 — Bunzen, 87, 113.
 — Carré, 29, 30, 31, 39.
 — genre Daniell, 29, 31, 33, 35, 39, 51, 54, 58.
 — — Volta, 11.
 — humides, 31, 38.
 — de Lalande et Chaperon, 73.
 — de La Rive, 137, 138.
 — Warren de La Rue, 37.
 — Leclanché, 87, 89, 91, 92, 96.
 — au peroxyde de plomb, 137.
 — Reynier, 48, 51, 52, 53, 54.
 — à la soude, 40, 48, 86.
 — sulfate de cuivre, 29, 31, 33, 35, 39, 51, 54, 58.
 — Tommasi, 87.
 — Trouvé, 34.
 — au vert-de-gris, 77.
 — régénérables, 87.
 Piles secondaires, 52, 87, 93, 94, 112, 139, 146, 157, 179, 190.
 — — d'Arsonval, 97, 98.
 — — au cuivre, 99, 100, 102, 122, 137, 142, 144, 193.
 — — cuivre — charbon — sulfate de zinc, 96.
 — — à électrodes de charbon, 96.
 Piles secondaires Faure, 109, 110, 131, 133, 145, 146, 155, 164, 180.
 — Faure—Sellon—Wolkmar, 185.
 — genre Planté, 104, 105, 107, 118, 125, 129, 130, 135, 138, 140, 144.
 — industrielles, 106, 107, 108.
 — de Kabath, 145.
 — modèle Nantua, 99, 100, 101, 107, 191.
 — de M. G. Planté, 109, 113, 114, 122, 145.
 — au sulfate de cuivre, 98.
 — Sutton, 98.
 — au zinc, 98, 99, 100, 102, 145, 193.
 — — amalgamé, 103, 105, 121, 122, 125, 137, 138.
 — zinc-manganèse, 96.
 PLANTÉ (Gaston), 37, 97, 98, 112, 113, 114, 118, 121, 122, 126, 128, 130, 133.
 Plaques agglomérées, 90.
 Platine, 127, 132.
 Plâtre, 39.
 Plomb, 94, 95, 97, 99, 126, 140, 142, 143.
 — actif, 129, 141.
 — cuivré, 100.
 — métallique, 132, 133, 141.
 — oxydé, 94, 103, 130.
 — réduit, 94, 130, 165.
 — spongieux, 132, 133.
 — zingué, 100.
 Plombate de potassium, 70.
 Plombites, 70.
 POGGENDORFF, 61.
 Poids pratiques, 140.
 — rationnels, 108, 109.
 — réels, 108, 109.
 — théoriques, 139.
 Pôle négatif, 126, 132.
 — positif, 126, 127, 132.
 POUMARÈDE, 40.
 Porcelaine, 39.
 Forosité, 99, 138.
 Postes téléphoniques, 89, 93.
 POST-OFFICE, 10, 12, 13, 61.
 Potasse de Croix, 85.

- | | |
|--|---|
| <p>Prix de l'acide sulfurique, 75.
 — du bichromate de potasse, 79.
 — du bioxyde de cuivre, 85.
 — du cuivre réduit, 76, 85.
 — de la potasse, 85.
 — de la soude, 86.
 — du sulfate de cuivre, 76.
 — du vert-de-gris, 78.
 — du zinc, 75.
 — de revient des accumulateurs, 152.</p> | <p>Prix de la traction par accumulateurs, 179.
 — théoriques, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 86.
 — du travail fourni par les piles hydro-électriques, 71.
 Projet de distribution de l'énergie électrique, 190.
 Propriétés comburantes du peroxyde de plomb, 128.
 Puissance vive, 166, 170.</p> |
|--|---|

Q

Quantité, 64, 65, 92.

R

- | | |
|--|---|
| <p>RADIGUET, 81.
 RAFFART, 158, 162, 163, 178.
 Réactions chimiques, 75, 76, 79, 84, 124, 134.
 Récipients, 50, 54, 84, 100, 107.
 Récupération, 175, 183.
 Réduction électrolytique, 132, 133.
 Régénération, 80, 85, 98.
 REGNAULT, 61.
 Rendement des accumulateurs, 122, 136.
 — des machines électriques, 148.
 — en quantité, 134.</p> | <p>Renversement de courant, 174.
 Repos des couples, 133.
 Réoxydations, 128.
 Résidus vendables, 73, 76, 79, 84, 124, 134.
 Résistances, 3, 9, 35, 39, 48, 54, 81, 95, 101, 103, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 133.
 — des lampes à incandescence, 149.
 Revivification, 85.
 Rhéostat, 115, 116.
 Roulement, 166.</p> |
|--|---|

S

- | | |
|---|--|
| <p>Sable, 38.
 Sels voyageurs, 33.
 — polybasiques, 65.
 Séparation des liquides, 24.
 Shunt-dynamo, 191, 192, 195.
 SIMON (Maurice), 149, 154.
 SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DES TÉLÉPHONES, 89, 90.
 Soude, 40, 48, 86.
 Sulfatation, 125, 136, 137, 138.
 — locale, 136.
 Sulfates, 70.
 Sulfate d'ammoniaque, 22.
 — de cuivre, 22, 32, 34, 51, 76, 77, 98, 101, 102, 103.
 — de plomb, 129, 131, 132, 133, 134, 136.</p> | <p>Sulfate de zinc, 32, 101, 103.
 Surélévation de la f. e. m., 125.
 Surface des électrodes, 81, 104, 108, 110, 117, 119, 165.
 Sur la f. e. m. des piles du genre Daniell, 58, 62.
 — la mesure des f. e. m. maxima et minima dans les couples à un seul électrolyte, 1, 8.
 — le prix du travail fourni par les piles hydro-électriques, 71.
 — le travail des piles Leclanché en service sur le réseau téléphonique de Paris, 89.
 — les variations de la f. e. m.</p> |
|---|--|

- dans les accumulateurs, 112,
 Sur un projet de distribution de
 l'énergie électrique dans la
 ville de Nantua, 190.
- SUTTON, 98.
 Système C. G. S., 58.
 — Planté, 94.

T

- Tableau des équivalents électro-
 chimiques, 63.
 — des f. e. m. maxima, 5, 7.
 — — minima, 6, 7.
 — — des piles du genre
 Daniell, 60.
 — de l'usure moyenne des
 zincs en circuit ouvert, 20.
 Télégraphie, 33.
 THÉÂTRE DES VARIÉTÉS, 146.
 Théorie chimique des accumula-
 teurs, 108, 124.
 — — des piles pri-
 maires, 73.
 Thermochimie, 138.
 THOMSON (sir William), 132.
- Toiles, 28, 29, 50.
 TOMMASI, 94.
 Tonnemètre, 196.
 Traction par chevaux, 188, 189.
 — électrique par accumula-
 teurs appliquée aux tram-
 cars de Paris, 157.
 Train différentiel, 163.
 Tramcar, 159, 160, 161.
 — Siéniens, 172.
 Tramways, 180, 181.
 Travail d'élevation, 167, 169.
 — des piles Leclanché, 89.
 — de traction, 169, 170.
 — utilisé, 93.
 TROUVÉ (G.), 34, 81.

U

- Usure des zincs, 20.
 Utilisation des forces naturelles, 99.
- Utilisation des matériaux employés
 dans les accumulateurs, 139.

V

- VAN HEURCK, 77.
 Variations de la f. e. m. dans les
 accumulateurs, 112.
 VARLEY, 96.
 Vases poreux et cloisonnements,
 24, 57.
 — — en forme pointue, 54, 58.
 — communicants, 56.
 — cylindriques en porcelaine,
 39, 137.
 — octogonaux, 47, 48.
 — quasi prismatiques pro-
 fonds en papier parche-
 miné, formés sans assem-
 blage, 41, 53.
 Vases poreux rectangulaires, 43,
 44, 45, 46.
 Vert-de-gris des doreurs, 52, 77.
 Vessies, 26.
 Voile d'oxyde de plomb, 127.
 Voiture routière, 163.
 Volt, 61, 72.
 VOLTA, 25.
 Voltamètre, 132.
 — à électrodes de charbon, 96.
 — — de plomb, 127.

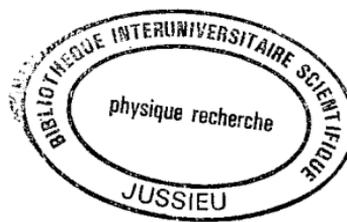
W

- WARREN DE LA RUE, 10, 37.
 WEBER, 64.
- WIEDEMANN, 61.

Z

Zinc allié au mercure, 17, 18, 21, 22, 23, 75, 81.	Zinc ordinaire, 12, 20, 21, 22, 61, 75.
— amalgamé, 12, 16, 18, 21, 22, 55, 61, 75, 126.	— pur, 16, 126.
— cloisonné, 55, 59, 78.	Zincate de potasse, 70.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE



BULLETIN

DES NOUVELLES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

DE FONDS ET D'ASSORTIMENT

Sur les Mathématiques

Électricité, Arts Militaires et Industriels, Photographie, Agriculture, etc.

*Suivi d'une NOTICE concernant les ouvrages anciens et modernes,
acquisitions nouvelles, etc.*

EN VENTE :

A la Librairie centrale des Sciences

DIVISION DU BULLETIN : $\left\{ \begin{array}{l} 1^{\text{re}} \text{ partie : Nouveautés.} \\ 2^{\text{e}} \text{ — Bibliographie ancienne.} \end{array} \right.$

Il sera fait une remise PARTICULIÈRE, suivant la nature des ouvrages et l'importance des commandes, à MM. les Ingénieurs, Professeurs, Commissionnaires en librairie, etc.

PARIS

LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES

Mathématiques, Électricité, Arts Militaires et Industriels, Photographie, Agriculture.

J. MICHELET

25, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 25 (Près le pont Saint-Michel)

1884

(4) Ce Bulletin paraît tous les trimestres ; il sera adressé gratuitement aux Personnes qui en feront la demande par lettre affranchie.

AVIS POUR LES EXPÉDITIONS :

Les demandes de livres ne sont expédiées que contre mandat-poste, bon à vue, ou bien contre remboursement.

L'emballage est gratis.

Les timbres-poste sont reçus jusqu'à concurrence de la somme de CINQ FRANCS.

Les lettres doivent être adressées *Franco*.

ASSORTIMENT d'ouvrages sur la *Vigne*, les *Vins*, la *Fermentation*, les *Falsifications*, la *Bière*, les *Vins de raisins secs*, etc.

Le Catalogue *spécial* est adressé sur demande affranchie.

Vente, achat et échange de toutes sortes de livres neufs et d'occasion.
Abonnement aux *Journaux* et *Revue*s sans augmentation de prix.

COMMISSION, EXPORTATION.

LIBRAIRIE CENTRALE DES SCIENCES

Jules MICHELET

PARIS. — 25, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 25. — PARIS

(Près le Pont Saint-Michel)

Indépendamment des Ouvrages portés au présent Catalogue, la Maison se charge de fournir aux meilleures Conditions tous les Ouvrages anciens et nouveaux publiés en France et à l'Étranger.

NOUVELLES PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

L'INGÉNIEUR-MÉCANICIEN

JOURNAL MENSUEL DES MANUFACTURES

RENSEIGNEMENTS

Utiles aux Industriels qui font usage de machines
ET AUX CONSTRUCTEURS-MÉCANIENS

Par un Comité d'Ingénieurs

Cette publication paraît mensuellement depuis le mois de mars 1883; le prix de l'abonnement d'un an pour la France, et toute l'Union postale est de 12 fr.

(On peut faire partir l'abonnement du 1^{er} de chaque mois).

Chaque numéro se vend séparément 1 fr. 25.

L'ÉCHO UNIVERSEL

Ce Journal, rédigé par M. J.-F. AUDIBERT, l'habile créateur des vins de raisins secs, ainsi que par plusieurs RÉDACTEURS de la *Presse Parisienne*, paraît les 1^{er} et 15 de chaque mois depuis le 1^{er} août 1883; il traite des questions suivantes :

VITICULTURE, AGRICULTURE, COMMERCE, INDUSTRIE, FINANCES

PRIX DE L'ABONNEMENT { France..... 4 fr.
Étranger (toute l'Union postale). 5 fr.

Chaque numéro séparément 1 fr. 25 c.

Il a déjà paru 20 numéros de cette intéressante Publication, il sera adressé un *spécimen* aux personnes qui en feront la demande par lettre affranchie.

COURS DE TOPOGRAPHIE

LEVER DES PLANS DE SURFACE ET DES PLANS DE MINES

PAR

ALFRED HABETS

Ingénieur honoraire des mines, professeur ordinaire à l'Université de Liège

1 vol. 8° in-8° br. avec gravures dans le texte. 12 fr.

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES :

PREMIÈRE PARTIE : *Lever des plans de surface.* — Méthodes générales de lever des plans. — Tracé et mesure des alignements. — Mesure directe des alignements. — Mesure indirecte des alignements. — Tracé et mesure des angles. — Mesure des directions. — Boussoles. — Mesure numérique des angles proprement dits. — Tracé des plans.

2^e SECTION : *Hypsométrie.* — Méthodes générales de nivellement. — Méthode géométrique ou des nivellements proprement dits. — Méthode trigonométrique. — Tracé des courbes de niveau. — Représentation graphique du relief des surfaces. — Études de chemins de fer.

SECONDE PARTIE : *Lever des plans de mines.* — Méthode générale. — Tracé et mesure des alignements. — Mesure des angles. — Orientation des plans de mines. — Nivellement souterrain. — Mesure de la profondeur des puits. — Problèmes divers relatifs à l'exploitation des mines. — Tracé des plans souterrains. — Représentation graphique des travaux des mines. — Exécution des plans de mines. — Tracé de courbes de niveau des surfaces souterraines. — Plans en relief. — Cartes minières.

THÉORÈMES

ET

PROBLÈMES DE GÉOMÉTRIE PRATIQUE

OU

DÉMONSTRATIONS

Des Formules indiquées dans le *Traité pratique des Mesurages, Métrages, Jaugeages de tous les corps, etc.*

PAR

E. SERGENT

Ingénieur civil

Deuxième Tirage

1 vol. in 8° raisin, et Atlas oblong, 1884..... 18 fr.

DU MÊME AUTEUR

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

A LA FLEXION ET A LA COMPRESSION

Avec applications numériques aux planches métalliques, aux planches en bois, aux piliers ou supports en maçonnerie ou en bois, aux colonnes en fonte ou en fer, etc.

PREMIÈRE PARTIE : 1 vol. grand in-8° broché, avec Atlas in-folio..... 25 fr.

DEUXIÈME PARTIE : Études pratiques sur les fermes de charpentes de bâtiments, de combles, de hangars, de halles, etc.

Un volume grand in-8° broché, avec Atlas in-folio..... 30 fr.

TABLE

A L'USAGE DES CONSTRUCTEURS

Donnant par la connaissance seule de la corde et de la flèche : le rayon, l'angle au centre, le développement d'un arc de cercle et la surface du segment formé par cet arc et sa corde. In-8° broché, 1882..... 2 fr.

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA FERMENTATION

CONSIDÉRÉE DANS SES RAPPORTS GÉNÉRAUX
AVEC LES SCIENCES NATURELLES ET L'INDUSTRIE

Par N. BASSET

Auteur du *Traité d'Alcoolisation générale*, etc.

1 volume in-18 broché..... 2 fr.

TABLE DES CHAPITRES CONTENUS DANS CET OUVRAGE

PREMIÈRE PARTIE. — THÉORIE DE LA FERMENTATION

- CHAPITRE I. — État général de la question, opinions de quelques auteurs.
CHAPITRE II. — Des corps vivants et de leur essence, des principes ou lois auxquels la nature semble se conformer constamment.
CHAPITRE III. — De l'électricité envisagée comme force vitale, principalement au point de vue de la fermentation, du mouvement dans les corps sphéroïdaux, règles générales.
CHAPITRE IV. — Observations particulières sur le système vitaliste et l'opinion de ses adversaires, connexions et différences, force catalytique, fermentations naturelles, fermentation type.
CHAPITRE V. — De l'action des ferments sur les corps vivants, des poisons, des virus, etc.
CHAPITRE VI. — De la fermentation dans ses rapports avec la médecine et la physiologie, oïdisme, helminthogénie, génération spontanée.
CHAPITRE VII. — Du ferment considéré chimiquement, nature et composition chimique des ferments, de la levûre de bière.
CHAPITRE VIII. — Marche générale de la fermentation, influence de l'eau de l'air, de la chaleur, de l'électricité, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote.
CHAPITRE IX. — Produits chimiques de la fermentation et modifications subies par les corps soumis à l'action des ferments.
CHAPITRE X. — Discussion de quelques variétés de la fermentation.

DEUXIÈME PARTIE. — PRATIQUE DE LA FERMENTATION

- CHAPITRE XI. — Des boissons fermentées en général.
CHAPITRE XII. — Des boissons fermentées en général (suite), observations.
CHAPITRE XIII. — De la fermentation alcoolique et de sa marche, ses accidents, remèdes à y apporter.
CHAPITRE XIV. — De la fabrication des vinaigres.
CHAPITRE XV. — De la fermentation panaire.
CHAPITRE XVI. — De la fabrication des fromages, de l'usage des aliments en voie de putréfaction.
CHAPITRE XVII. — De la conservation des matières alimentaires.
CHAPITRE XVIII. — De la conservation des matières alimentaires (suite), remarques.
CHAPITRE XIX. — Des phases ultimes de la fermentation, carbonisation humide, houilles, tourbes, humus, des engrais, de quelques faits particuliers, rouissage, incendie des fourrages, feux follets, feu grisou, etc.
CHAPITRE XX. — Observations sur quelques substances relativement à leurs effets sur la fermentation.

TROISIÈME PARTIE. — NOTES COMPLÉMENTAIRES

- Note A. — Opinions problématiques de quelques chimistes sur la fermentation.
Note B. — Quelques mots sur l'électricité.
Note C. — Dédoublément de quelques corps en présence de la fermentation.
Note D. — De la fermentation putride ou période ammoniacale de la fermentation.
Note E. — Des principaux gaz qui se dégagent des matières en fermentation.
Note F. — De la décomposition des matières organiques par l'oxydation, le calorique, etc.
Note G. — De quelques matières tinctoriales, du tabac.
Note H. — Observations sur l'acide lactique, sa préparation.
Note I. — Sur quelques falsifications et les moyens de les reconnaître.
Note J. — Acétimétrie, méthode Salleron et Reveil.
Note K. — Moyens de désinfection.

RECHERCHES
SUR LA
CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE
DES MÉTAUX

ET DE LEURS ALLIAGES
RAPPORTS AVEC LA CONDUCTIBILITÉ CALORIFIQUE

COMMUNICATION

FAITE

A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Dans sa séance du 7 mai 1884

PAR

L. WEINLECHER

Brochure in-18 avec tableaux, 1884..... 1 fr.

DICTIONNAIRE ABRÉVIATIF CHIFFRÉ

PAR

F.-J. SITTLER

SIXIÈME ÉDITION

Un volume in-12, cartonné percaline, 1883. 5 fr.

LES
MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

PAR

Le professeur Sylvanus THOMPSON

De l'Université de Bristol

Ouvrage traduit par M. E. BOISTEL

In-8°, broché avec 50 gravures dans le texte, 1884. 2 fr. 25 c.

VIENT DE PARAÎTRE :

LA

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

SOUS FORME D'EXEMPLES PRATIQUES

PAR

R.-E. DAY M.-A.

PROFESSEUR DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE AU « KING'S » COLLÈGE A LONDRES

Ouvrage traduit de l'Anglais par M. G. FOUSSAT et A. PAUL

1 volume, in-18 broché..... 2 fr.

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES

Résistance électrique des fils et des lampes. — Intensité du courant dans un circuit simple. — Chaleur dégagée par un courant dans un circuit simple. — Circuits électriques composés. — Distribution de l'énergie dans un circuit composé.

Nous espérons que ce petit livre, qui a déjà obtenu un vif succès en Angleterre, sera également très apprécié en France, par toutes les Personnes s'occupant d'Électricité.

ÉCLAIRAGE INTENSIF PAR LE GAZ

PHÉNOMÈNES QUI ACCOMPAGNENT LA PRODUCTION DE LA LUMIÈRE

PAR

HANDBERT (A.)

INGÉNIEUR

G⁴ in-8° broché avec gravures dans le texte..... 2 fr.

MANUEL

D'ÉLECTROMÉTRIE INDUSTRIELLE

PAR

R. V. PICOU

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

1 vol. in-8° br. avec fig. dans le texte. 5 fr.

EXTRAIT DE LA TABLE DES MATIÈRES

Lois fondamentales de l'Électro-dynamique. — Mesure des résistances. — Mesure des forces électromotrices. — Mesure des intensités. — Mesure de la quantité. — Mesure de l'énergie électrique. — Piles. — Machines magnéto et dynamo-électriques et moteurs. — Électrolyse. — Éclairage électrique. — De la résistance des fils de cuivre du commerce. — Des résistances spécifiques. — Des sinus et tangentes naturelles.

Extrait du Catalogue des ÉLECTRICIENS (1)

- BONEL (A.)**, Directeur de l'Agence de la Société Générale des Téléphones. — *L'Électricité à l'Exposition de Bordeaux 1882.* — *Extrait de la Table des matières* : De l'Électricité. Le Télégraphe. Le Téléphone. Machines électriques. Lumière électrique. Appareils divers. Liste des Exposants. — Grand in-8° br., 18^c2. 1 fr.
- BOULARD (J.)**, Production et Applications de l'Électricité.
I. Machines magnéto et dynamo-électriques ;
II. Moteurs électriques et transport des forces ; 1 vol. grand in-8° br., avec gravures dans le texte, 1882. 4 fr.
- BALLEZ (C.)**, Lieutenant de vaisseau. — *Traité élémentaire d'Électricité. Notions préliminaires sur l'étude de l'Électricité.* — 1 vol. in-12 br. avec 178 fig. dans le texte, 1882. 4 fr.
- LOUIS (N.-C.)**, Dictionnaire Français chiffré pour correspondance secrète, suivi d'un nouveau système de Télégraphie aérienne. — Grand in-8° br., 1872. 2 fr.
- MALAPERT (E.)**, Lieutenant de vaisseau. — *Dimensions des unités électriques en fonction des unités fondamentales. (Centimètres. Gramme. Seconde.)* — Grand in-8° br., avec fig. dans le texte, 1882. 2 fr.
- SCHOENTJES (H.)**, Ancien élève de l'École Normale des Sciences, Docteur ès-sciences physiques et mathématiques. — *Les grandeurs électriques et leurs unités.* 2^e édition revue et augmentée. — 1 vol. grand in-8° br. avec fig. dans le texte, 1884. 4 fr.

(1) Ce Catalogue sera adressé gratuitement aux Personnes qui en feront la demande par lettre affranchie.

N° 5

DERNIÈRES NOUVEAUTÉS PARUES :

- AGENDA du Chimiste pour l'année 1884**, 1 vol. in-18, cart. percal. gaufrée. 2 fr. 50
- AGENDA Oppermann pour l'année 1884**, à l'usage des ingénieurs, architectes, agents voyers, conducteurs de travaux, mécaniciens, industriels, entrepreneurs. 1 joli carnet de poche contenant les renseignements les plus exacts et les plus pratiques. Relié en percaline. 3 fr.
en cuir. 5 »
- AIDE-MÉMOIRE de Photographie pour 1884**, 9^e année, 1 vol. in-18, avec spécimen broché. 1 fr. 75
cartonné. 2 fr. 25
- ANNUAIRE du Génie Civil, 1^{re} année 1884**, 1 vol. in-8, broché. 2 fr.
- AUDIBERT (J.)**, Chevalier de l'ordre du Sauveur (Grèce), créateur de l'industrie des vins de raisins secs, membre de l'Académie nationale agricole, manufacturière et commerciale, médaillé par M. le ministre de l'agriculture et du commerce, etc. **Les raisins secs**, leur commerce et l'industrie de leur vin, leur conséquence économique pour le Trésor et la viticulture. In-8 broché. 1 fr. 50
Cette édition renferme tous les documents justificatifs, circulaires ministérielles, de la Régie, analyses, etc.)
- BAILLON (H.)**, Professeur d'histoire naturelle médicale, à la faculté de médecine de Paris. **Traité de Botanique médicale phanérogamique.** 1 vol. in-8 de 1500 pages avec 3,487 figures dans le texte. 28 fr.

Envoi franco dans toute l'Union postale, contre mandat-poste ou timbres-poste, des ouvrages portés sur ce Catalogue (sauf quelques rares exceptions).

- BAPST** (Germain). Les Métaux dans l'antiquité et au moyen âge. L'Étain, 1 vol. in-8, br. avec 44 planches hors texte..... 10 fr.
- BARBOT** (Ch.). Guide pratique du joaillier, ou traité complet des pierres précieuses, leur étude chimique et minéralogique. Nouvelle édition, revue, corrigée et annotée, par Ch. Baye. 1 vol. in-18, br., avec 3 planches renfermant 178 figures..... 4 fr.
- BAUBSON** (Em.). Tracé des chemins de fer, routes, canaux, tramways, etc.; études préliminaires, études définitives. Recherche et choix de matériaux, de construction et de ballastage. 1 vol. gr. in-8, br., avec 4 pl. et 95 fig. dans le texte. 10 fr.
- BLUME**. Stratégie (Étude). 1 vol. in-8, broché..... 7 fr. 30
- BOURGOIS** (L.), préparateur du cours de chimie organique au Museum d'histoire naturelle. **Reproduction artificielle des minéraux.** 1 vol. in-8, br., avec planches et tables, formant le tome II, (1^{er} appendice) de l'Encyclopédie chimique de Frémy.. 15 fr.
- BRULL** (A.). Mémoire sur la chaîne flottante des mines de fer de Dcido, province de Santander (Espagne), br. in-8, avec planches..... 3 fr. 50
- CANUS** (Gustave), membre de la Société Botanique de France. **Guide pratique de botanique rurale.**
1^{re} partie: Herborisation de la flore des environs de Paris.
2^e partie: Études des grandes familles des Phanérogames. Renonculacées, Umbellifères Composées, Cyperacées, Graminées, etc., 1 vol. in-8, cart. avec 52 planches et nombreuses gravures dans le texte..... 10 fr.
- CASSAGNE** (Armand). **Traité pratique de perspective appliquée au dessin artistique et industriel.** Nouvelle édition, revue et augmentée. 1 vol, in-8, br., avec 265 fig. géométriques, gravés sur cuivre et 60 eaux-fortes dessinées par l'auteur..... 8 fr.
- CHARLES-HENRY**. Des Méthodes d'intégration pour les équations différentielles, lorsqu'on connaît une première valeur approchée (Mémoire inédit de J. A. N. Caritat, marquis de Condorcet, publié avec une notice sur sa vie et ses écrits mathématiques). In-4, broché..... 2 fr. 50
- CHAVÉE-LEROY**. Les microbes organisés et la crémation. Réflexions et objections sur les mémoires de MM. Tyndall et Pasteur. 2^e édition revue et augmentée avec fig. dans le texte..... 0 fr. 60
- CLÈVE, LECOQ de BOISBAUDRAN et SABATIER**. Métaux terreux : Glucinium, Zirconium, Thorium, Cérium, Lanthane, Didyme, Samarium, Décipium et Terbium, etc., etc. 1 vol. in-8, br., formant le tome III. 5^e cahier, de l'Encyclopédie chimique de Frémy..... 17 fr.
- CODEX Medicamentarius**. Pharmacopée Française, rédigée par ordre du gouverne-
- ment. 1 vol. gr. in-8, cart..... 7 fr. 50
Le même ouvrage franco..... 8 fr. 50
- COURS des Écoles de Tir**. Tome premier : Cours théorique. 1 vol. in-8, avec fig. dans le texte..... 5 fr.
- DELAUNEY** (J.), capitaine d'artillerie de la marine. — **Lois des grands tremblements de terre et leur prévision.** 2^e édition, 1 vol. in-8, broché..... 3 fr.
- DIDIER-GOYARD**. **Nouveau traité de solivage métrique des bois en grume aux 5^e et 6^e déduits, etc.** Nouvelle édition, 1 vol. in-18, broché..... 1 fr.
- ÉTAT militaire du corps de l'Artillerie pour 1884.** 1 vol. in-12 de 863 pages.. 4 fr. 50
- ÉTUDES sur l'armement réglementaire de l'Infanterie.** Modifications apportées depuis 1874, au fusil et à la cartouche; études théoriques et expérimentales sur les cartouches; fabrication des armes et des munitions en France. — **Le fusil de l'avenir.** 1 vol. in-12, avec fig. dans le texte..... 2 fr. 50
- FERON** (M^{me}), institutrice, professeur de Coupes, directrice des cours dans les écoles communales. — **Petit manuel des divers travaux à l'aiguille.** — Théorie et pratique de la couture en général, in-18, cart. 0 fr. 50 (Cette petite méthode a obtenu une médaille de bronze, ainsi que plusieurs mentions honorables.)
- FIGUIER** (Louis). **Les Nouvelles conquêtes de la Science.** Ce volume contient les nouvelles découvertes relatives à la Lumière électrique, le Téléphone et le Microphone, l'Électricité comme force motrice, et forme 1 beau vol. in-4, contenant 222 gravures et portrait.
Prix broché..... 20 fr.
- GALLIFFET** (Général de). **L'Armée Française en 1884.** Brochure in-8..... 1 fr.
- GAUTIER** (A.). **La Sophistication des vins, méthodes analytiques et procédés pour reconnaître les fraudes.** 3^e édition, 1 vol. in-18, Jésus, avec une planche coloriée, comprenant 53 tons de vins naturels ou colorés artificiellement..... 4 fr. 50
- GENDEBIEN** (A.), Ingénieur honoraire des mines. **Les Ventilateurs à force centrifuge des mines et des forges.** 1 vol. in-8, br., avec gravures et tableaux..... 4 fr.
- GÉNIE CIVIL** (Le). **Revue générale hebdomadaire des Industries Françaises et Étrangères.** 4^e année, 1^{er} semestre 1884, 1 beau vol. in-4, de 430 pages, avec nombreuses gravures, plans et dessins..... 20 fr.
- On prend les abonnements pour ce journal au même prix qu'au Bureau.
- GIRARD** (Ch.), chef du laboratoire municipal, et **PABST**, attaché au même laboratoire. **Matières colorantes; série aromatique et ses applications industrielles.** 1 vol. in-8, br.,

Envoi franco dans toute l'Union postale, contre mandat-poste ou timbres-postes, des ouvrages portés sur ce Catalogue (sauf quelques rares exceptions).

- avec planches, formant le tome X, 6^e partie, de l'Encyclopédie chimique de Frémy. 6 fr. 25
- HARBAUD (Ch.) BADOIS** et ingénieurs. **Les Ascenseurs hydrauliques pour bateaux.** Notice sur l'ascenseur hydraulique pour bateaux, système Edwin-Clark. In-8, br., avec planches..... 3 fr. 50
- HOSPITALIER (E.)**, ingénieur des arts et manufactures, rédacteur en chef de l'*Électricien*. **Formulaire pratique de l'Électricien.** 2^e année 1384, 1 vol. in-18, avec figures dans le texte, cart. à l'anglaise..... 5 fr.
- HOUZEAU (Louis)**, contrôleur des lignes télégraphiques. **Guide pratique de Télégraphie.** Emploi de l'appareil Morse et de l'appareil à Cadran. 7^e édition, 1 vol. in-8, br., avec gravures dans le texte..... 3 fr. 50
- HUGEL (L.)**. L'école industrielle, (dessin appliqué), nouvelle méthode simple et facile pour l'enseignement pratique à donner aux ouvriers mécaniciens, serruriers, menuisiers, charpentiers, tailleurs de pierres et autres ouvriers de l'industrie. Un album de 24 planches, in-folio, en autographie donnant les teintes conventionnelles, généralement employées dans les dessins industriels et texte explicatif. Prix en carton.... 40 fr.
- JAGNAUX (Raoul)**, ingénieur-chimiste. **Traité pratique d'analyse chimique et d'essais industriels.** Méthode nouvelle pour le dosage des substances minérales, minerais, métaux, alliages et produit d'art; à l'usage des ingénieurs, des chimistes, des métallurgistes etc. 1 vol. in-18, br., Jésus, avec figures dans le texte..... 6 fr.
- LAGONDIE (C^e de)**. **Le Cheval et son cavalier**, traité d'hippologie et d'équitation; école pratique pour la connaissance, la conservation et l'amélioration du cheval de course, de chasse et de guerre. 4 vol. imprimé sur papier teinté avec nombreuses vignettes dans le texte, cart. percaline, tranches en couleur..... 7 fr. 50
- LANESSAN (de) (J.-L.)**. **Flore de Paris (Phanérogames et Cryptogames)**, contenant la description de toutes les espèces utiles ou nuisibles, avec l'indication de leurs propriétés médicales, industrielles et économiques etc. 1 beau vol. in-18, Jésus, br., avec 702 figures dans le texte..... 8 fr.
- LANGIN (D^r A.) et LORRAIN (J.-V.)**. **La crise agricole, revendication de l'agriculture.** Brochure in-18..... 0 fr. 50
- LE PLAY (H.)**. **L'impôt sur le sucre considéré au point de vue des progrès à réaliser dans la fabrication du sucre (1863)**, suivi d'une étude sur l'exercice des raffineries et des sucreries (1875) et sur l'influence néfaste des législations françaises sur le développement des progrès dans la fabrication du sucre en France. 4 br. in-8... 2 fr.
- LE PONT (H.)**. **Notes de géométrie**, broch. in-8..... 0 fr. 75
- Le même : **Notes de géométrie analytique**, Théorèmes sur quelques courbes et surfaces remarquables. Brochure in-8^e. 0 fr. 75
- MEMENTO de l'ingénieur et du constructeur**, publié par le Journal « Le Moniteur Industriel ». 2^e année 1884, 1 joli petit volume diamant, relié basane..... 2 fr. 50
- PARTIOT (L.)**, inspecteur général des Ponts et Chaussées. **Instruction pour la préparation des projets et la surveillance des travaux de la plateforme des chemins de fer**, suivie de tables pour le calcul des courbes et pour l'évaluation des volumes, des déblais et des remblais. 1 vol. in-4 cart., avec figures dans le texte et 8 planches..... 15 fr.
- PÉRISSE (S.)**, ingénieur. **De l'emploi de l'acier dans les constructions navales, civiles et mécaniques**, gd in-8, broché..... 3 fr.
- PICARD (P.)**, membre de la Société Internationale des électriciens. **Les planètes sont-elles électro-magnétiques ou magnéto-électriques?** In-8, br., avec 9 figures dans le texte..... 2 fr.
- POLY (Ch. de)**. **Traité d'équitation pratique au point de vue de la promenade et de la chasse.** 1 vol. in-18, Jésus..... 2 fr. 50
- POST (J.)**, Professeur de chimie industrielle à l'université de Göttingue. **Traité complet d'analyse chimique appliquée aux essais industriels.** Ouvrage traduit de l'Allemand par L. Gautier. 1 vol. gd in-8, broché, avec 274 gravures dans le texte..... 28 fr.
- RESAL (H.)**, membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique et à l'École supérieure des mines. **Physique mathématique.** Electrodynamique, Capillarité, Chaleur, Électricité, Magnétisme, Élasticité. 1 vol. in-4, avec figures..... 15 fr.
- RIVIÈRE (chef de bataillon d'infanterie hors cadre)**. **L'armée allemande sur le pied de guerre (Armée de campagne et armée de garnison)**. 1 vol. in-8, br., avec de nombreuses fig. et carte..... 7 fr. 50
- ROBINET (E.)**. **Manuel général des vins.** Vins mousseux, Vins rouges, Vins blancs, Vins de raisins secs, Vins artificiels, Vendanges, Vinification, Sucrage, Coupages, Soins des Sommeliers, Utilisation des résidus de la Vigne et des Vins. 3^e édition entièrement refondue, corrigée et accompagnée de planches. 1 vol. in-18 broché..... 3 fr. 50
- *Du même auteur* : **Manuel pratique d'analyse des vins, fermentation, alcoolisation, falsification. Procédés pour les reconnaître.** 4^e édition, 1 vol. in-18, broché..... 3 fr. 50
- RÖSWAG**, ingénieur civil des mines. **Désargement des minerais de plomb.** 1 vol. in-8, br., avec figures, planches et tableaux, formant le tome V, 2^e section, de l'Encyclopédie chimique de Frémy..... 25 fr.
- ROUBO**. — **Traité théorique et pratique de l'Ébenisterie**, contenant des modèles de

Envoi franco dans toute l'Union postale, contre mandat-poste ou timbres-poste, des ouvrages portés sur ce Catalogue (sauf quelques rares exceptions).

- tous genres et de tous styles, avec plan, coupe, détails et un texte historique et explicatif, avec la collaboration de MM. Aug. TRICHET, G.-Félix LENOIR, DUFIN, MARCAL, VERCHÈRE, POUSSIER, DELBREL, DAUBERLIEU, MATHIOT, etc. Un volume grand in-8, broché, et Atlas in-folio, 1884..... 40 fr.
- SAY** (Léon.) Dictionnaire des Finances. 3^e FASCICULE, gr. in-8, br..... 3 fr. 50
- SALMON** (G.). — *Traité de Géométrie analytique (Courbes planes)*, destiné à faire suite au *Traité des Sections coniques*. Traduit de l'Anglais, sur la 3^e édition, par O. CHEMIN, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, et augmenté d'une *Etude sur les points singuliers des courbes algébriques planes*, par G. HALPHEN. In-8..... 42 fr.
- SCHREIBER** (D. J.). *Traité pratique de massage et de gymnastique médicale*. 1 vol. in-18, cart. avec 117 fig. dans le texte. 7 fr.
- THIRION** (Ch.), ingénieur civil. — *La nouvelle législation anglaise sur les patentes d'invention, les marques et les dessins de fabrique*. 1 vol. in-8, br..... 5 fr.
- UHLAND** (W. H.), ingénieur civil. — *Notes et formules de l'ingénieur et du constructeur mécanicien*, ouvrage traduit de l'Allemand et annoté par MM. C. de Laharpe, Fontaine et Jarry, ingénieurs des arts et manufactures, 4^e édition, revue et augmentée. 1 volume in-18, cartonné, percaline. 1884..... 5 fr.
- VACQUANT** (Ch.). *Cours de géométrie élémentaire* :
- 1^{re} partie : Géométrie plane, 1 vol in-8, broché..... 4 fr.
 - 2^e partie : Géométrie de l'Espace, 1 vol. in-8, broché..... 4 fr.
- Chaque partie se vend séparément.
- VALLOT** (J.). *Essai sur la Flore du pavé de Paris*, limité aux boulevards extérieurs, ou Catalogue des plantes qui croissent spontanément dans les rues et sur les quais, suivi d'une florule des ruines du Conseil d'Etat. 1 vol. in-16, imprimé en caractères élzéviens..... 3 fr.
- VIOLLE** (J.), profes. à la Faculté des sciences de Lyon. *Cours de physique*. T. 1^{er}, *Physique moléculaire*, seconde partie. 1 vol. gr. in-8, br. avec 309 fig. dans le texte... 43 fr. La 1^{re} partie de cet ouvrage parue récemment est de 15 fr.
- VIVAREZ** (Henri), ancien élève de l'École polytechnique et de l'École des mines. *Des progrès réalisés dans la construction des lignes télégraphiques et téléphoniques, fils de bronze silicieux, supports, appareils*. 1 vol. in-8, br., avec 4 planches..... 3 fr.
- WAZON** (A.), ingénieur civil. *Principes techniques d'assainissement des villes et des habitations suivis en Angleterre, en France, en Allemagne, et aux Etats-Unis, et présentés sous forme d'études sur l'assainissement de Paris. Alimentation générale d'eau pure, distribution d'eau domestique, drainage des résidus domestiques, voie publique, égouts, utilisation agricole des eaux d'égout*. 1 vol. gr. in-8. br., avec 50 fig. dans le texte..... 15 fr.

Envoi franco dans toute l'Union postale, contre mandat-poste ou timbres-poste des ouvrages portés sur ce Catalogue (sauf quelques rares exceptions.)

BIBLIOGRAPHIE ANCIENNE. — ACQUISITIONS NOUVELLES.

- LALANNE** (L.), ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. *Manuel du service de la 2^e section de la navigation de la Marne*. 1 vol. in-18, rel., avec carte et pl. 1867.... 2 fr. 50
- LAMANDÉ**. *Pont en pierre à construire sur la Seine à Rouen*. Deuxième devis des ouvrages, précédé d'un mémoire sur les projets proposés, sur les moyens de construction et sur la situation des travaux au 1^{er} janvier 1813. 1 vol. in-4, rel. avec pl. 1815. 3 fr. 50
- LAMOURE**, ébéniste. — *Nouveau manuel de l'ébéniste*. 1 vol. in-16, br. avec planche. 1838. (Ce volume contient les préceptes généraux pour la composition des vernis). 2 fr. 50
- LA MORICHIÈRE** (Le général de). *De l'espèce chevaline en France*. Rapport fait au Conseil supérieur des haras sur les travaux de la session de 1850. Paris, Imprimerie Nationale. 1 vol. in-4, rel. avec cartes et tableaux 1850..... 3 fr.
- Rapport fait au Conseil supérieur des haras, sur les travaux de la session de 1850. 1 vol. in-4, br., avec cartes (rare).... 5 fr. (Un peu taché d'humidité).
- LAMY** (Le R. P. Bernard). *Les éléments de géométrie*, ou de la mesure de l'étendue, qui comprennent les éléments d'Euclide ; les plus belles propositions d'Archimède touchant le cercle, la sphère, le cylindre et le cône ; avec une idée de l'analyse et une introduction aux sections coniques. 7^e édition, 1 vol. in-18, rel. avec figures dans le texte et planches, 1738..... 3 fr. 50
- LANÇON** (Honoré). *L'Art du lapidaire*. 1 vol. in-18, rel. 1830..... 3 fr. 50
- LANGLEBERT** (J.), et E. CATALAN. *Nouveau manuel des aspirants au baccalauréat ès-sciences complet*. 8^e partie : *Histoire naturelle*. 8^e édit. 1 vol. in-18, br., avec de nombreuses figures. 1860. 1 fr. 50

- LANGLOIS (A.).** Règlement sur les manœuvres de l'infanterie belge, annoté d'après les ouvrages les plus récents. 1^{re} Partie : Exercices de tirailleurs. 2^e Partie : Indications générales pour servir à l'exécution des exercices de combat. 2 vol. in-18, br. 1875..... 2 fr. 50
- LANGLOIS (H.).** Les artilleries de campagne de l'Europe en 1874. 1 vol. in-18, br., avec 5 pl. et 33 tabl. 1873..... 3 fr. 50
- LANZ ET BÉTANCOURT.** Essai sur la composition des machines. 2^e édition. 1 vol. in-4, rel., avec 12 pl. 1819..... 6 fr. 50
— Le même ouvrage br., 1^{re} édit. 1808.. 4 fr.
- LAUGEL (Aug.).** Science et philosophie. 1 vol. in-18, br. 1863..... 2 fr. 25
- LAVALLÉE (J.).** La chasse à tir en France. 2^e édit. 1 vol. in-18, rel., avec gravures. 1855 (rare)..... 4 fr. 50
- LAVALLÉE (Th.).** Les frontières de la France. Suivi d'un appendice renfermant le traité de Paris du 30 mai 1814, avec les articles additionnels et le traité de Paris du 30 novembre 1815, avec les conventions spéciales. 1 vol. in-18, relié..... 2 fr. 50
- LEBLANC (P.).** Description d'un pont suspendu de 198^m d'ouverture et de 39^m 70 de hauteur au-dessus des basses mers, construit sur la Vilaine, à la Roche-Bernard. (Route de Nantes à Brest.) 1 vol. in-4, rel. et atlas in-folio, 1841..... 15 fr.
- LE BOUCHER (Aug.).** Guide télégraphique à l'usage des fonctionnaires, employés et agents de cette administration ; contenant un dictionnaire raisonné de toutes les questions et matières se rattachant au service. 1 vol. in-18, br. 1863..... 2 fr.
- LECLERC (D.-H.)** capitaine. Tableaux statistiques des pertes des armées allemandes, (1870-1871). Assemblées chronologiquement dans l'ordre des opérations, (batailles, combats, sièges, etc.) et réparties par compagnies, batteries, escadrons et régiments. 1^{re} partie : Evénements militaires du 24 juillet au 3 septembre. — 2^e partie : Evénements militaires et pertes diverses du 3 septembre 1870 au 30 mai 1871. 2 vol. in-4 oblongs, br. 1873..... 18 fr.
- LECLERC (J.) et J. TOUSSAINT.** Traité pratique d'arpentage et de nivellement à l'usage des agriculteurs. 3^e édit. 1 vol. in-18, br. avec fig., et pl. dont une coloriée. 1869..... 2 fr. 50
- LECOY (F.).** Méthode simple et facile pour lever les plans, suivie d'un traité du nivellement et d'un abrégé des règles du lavis. 1 vol. in-18, rel., avec planches coloriées. 1803..... 2 fr. 50
- LEFÈVRE (A.).** Connaissances du géodésiste ou traité spécial de la division des propriétés rurales, suivi d'un article sur leur abornement et leurs clôtures. 1 vol. in-18, br., avec pl. 1837. (Le titre manque).. 2 fr.
- LEGRAND (A.).** Traité de physique. 1 vol. in-18, br., avec pl. 1825..... 1 fr. 50
- LEGRIS** ingénieur-géomètre. La nouvelle mécanique manufacturière. Ouvrage contenant plus de deux cents nouvelles inventions, applicables à tous les arts et métiers, sans en excepter l'agriculture. Suivi d'un 2^e supplément à la mécanique militaire. 1 vol. in-8, br., avec planches. 1826..... 3 fr.
- LEIBNIZ.** Pensées sur la religion et la morale. (Seconde édit. de l'ouvrage intitulé : Esprit de Leibniz.) 2 vol. in-8, rel. 1803. 6 fr.
- LE LOUTEREL.** Manuel des reconnaissances militaires. Contenant : Un aperçu des reconnaissances militaires, avec un modèle de mémoire à produire. Des notions indispensables de géométrie. Des éléments de topographie militaire avec modèles. Des éléments de fortification passagère. Des données sur l'art de la petite guerre, ou guerre des postes, pour le service en campagne. 6^e édit. 1 vol. in-8, br., avec nombreuses planches. 1872..... 2 fr.
- LE MIÈRE DE CORVEY.** Des partisans et des corps irréguliers, ou manière d'employer avec avantage les troupes légères, quelque soit leur dénomination : Partisans, voltigeurs, etc., et généralement toute espèce de corps irréguliers contre des armées disciplinées. Ouvrage utile dans les guerres régulières, et indispensable dans le cas d'une invasion étrangère. Mêlé de réflexions et d'instructions sur l'art militaire, d'anecdotes et de citations ; précédé d'une revue de tous les peuples anciens et modernes, la manière dont ils faisaient la guerre ; terminé par une notice sur les récompenses nationales des anciens, et sur la création des principaux ordres de chevalerie. 1 vol. in-8, rel., avec gravures 1823..... 4 fr.
- LE NOEL (Émile).** Des sciences politiques et administratives et de leur enseignement. 1 vol. in-8, rel. 1865..... 4 fr. 50
- LE NORMAND (L.-S.).** Manuel pratique de l'art du dégraisseur, ou instruction sur les moyens faciles d'enlever soi-même toutes sortes de taches. 3^e édit., suivie d'un appendice renfermant : 1^o Une instruction sur la préparation et l'emploi du lac-lake, et du lacye. — 2^o Des observations sur le bablah ou tannin oriental. 1 vol. in-18, rel. avec fig. 1826..... 2 fr. 50
- LÉON (Jules),** pharmacien-chimiste. — Flora landaise et médecine par les plantes vulgaires. 1 vol. in-8, br. 1876..... 4 fr.
- LEPÈRE (Gratien).** Recueil des rapports et observations sur les expériences faites à Cherbourg, pour remplacer la pouzzolane dans les constructions hydrauliques. Suivi du Mémoire de M. Guyton de Morveau, sur les ciments et pouzzolanes. 2^e édition. 1 vol. in-4, rel. avec tabl. 1805, (Rare)..... 5 fr.
- LEROUX (Ch.).** Traité pratique sur la filature de laine peignée, cardée peignée et cardée, contenant : 1^{re} partie : Mécanique pratique, formules et calculs appliqués à la filature. 2^e partie : Filature de la laine peignée, cardée peignée sur le Mull-Jenny. 3^e partie : Filage anglais et français sur con-

- tinus. 4^e partie : laine cardée. 1 vol. in-8, br., avec atlas de 12 pl. 1860..... 15 fr.
- LEROY (J.-B.).** Méthode simple et raisonnée du calcul mental, ou théorie de problèmes dont la solution doit être obtenue par le travail de tête et sans plume. 1 vol. in-8, br. 1840..... 3 fr.
- LEROY (F.).** Analyse appliquée à la géométrie des trois dimensions, comprenant les surfaces du second ordre, avec la théorie générale des surfaces courbes et des lignes à double courbe. 1 vol. in-8, br., avec planches. 1829 (Titre taché)..... 3 fr. 50
- LEROY (C.-F.-A.).** Traité de géométrie descriptive. 1 vol. in-4, br., avec atlas de même format. 1834..... 4 fr. 50
- LEPAGE.** L'Art du charpentier, précédé de notions sur la coupe, le dessèchement et la résistance des bois ; et terminé par un vocabulaire raisonné de tous les termes employés dans la charpenterie. 1 vol. in-18, rel., avec planches. 1827..... 3 fr.
- LE ROUX (F.-P.).** Cours de géométrie élémentaire, à l'usage des lycées et des candidats aux écoles du gouvernement. 2^e partie : Géométrie de l'espace. 1 vol. in-18, br. avec figures. 1864..... 1 fr. 25
- LESAGE (P. C.).** Recueil de divers mémoires extraits de la bibliothèque des Ponts et Chaussées, à l'usage des élèves ingénieurs. 1 vol. in-4, rel., avec nombreuses planches et plans. 1806..... 3 fr. 50
- Deuxième recueil de divers mémoires extraits de la bibliothèque nationale des Pont et Chaussées, à l'usage de Messieurs les ingénieurs. 1 vol. in-4, rel., orné de nombreuses planches. (Avec une dédicace de l'auteur). 1808..... 3 fr. 50
- LESSEPS (Ferd. de).** Percement de l'isthme de Suez. Rapport et projet de la commission internationale. 3^e série. 1 vol. in-8, br. 1856..... 2 fr.
- LEUCHS (J.-Ch.).** Traité complet des propriétés, de la préparation et de l'emploi des matières tinctoriales et des colorants. 1^{re} partie : Matières tinctoriales. — 2^e partie : Fabrication des colorants. Traduit de l'Allemand. Revu pour la partie chimique par M. E. Péclot. 2 vol. in-8, rel., avec planches, 1829..... 12 fr.
- LE VERRIER (U. J.).** Recherches sur les mouvements de la planète Herschel. 1 vol. in-8, br., avec tableaux. 1846..... 3 fr. 50
- Théorie du mouvement de Mercure. 1 vol. in-8, br. avec tableaux. 1845..... 3 fr.
- LIBRI (Guillaume).** Mémoires de mathématique et de physique. Extrait de la table des mémoires : Mémoire sur la théorie de la chaleur. — Sur les fonctions discontinues. — Sur la résolution des équations indéterminées à l'aide des séries, etc., etc. 1 vol. in-4, br. 1829, (rare)..... 8 fr.
- LIEBERT (A.).** Laphotographie en Amérique ou traité complet de photographie pratique par les procédés américains, sur glaces, papier, toile à tableaux, toile caoutchouc, plaques mélanotypes pour médaillons, etc. Contenant les découvertes les plus récentes, les procédés et la description des appareils américains. 1 vol. in-8. br., avec fig. et tabl. 1864, (taché d'encre)..... 3 fr. 50
- LIEBIG (J.).** Manuel pour l'analyse des substances organiques. Traduit de l'Allemand par A. J. L. Jourdan. Suivi de l'examen critique des procédés et des résultats de l'analyse des corps organisés par F. V. Raspail. 1 vol. in-8, br. avec planches gravées. 1838..... 2 fr. 50
- Chimie organique appliquée à la physiologie animale et à la pathologie. Traduite sur les manuscrits de l'auteur, par M. Ch. Gerhardt. 3 vol. in-8, rel. 1840-42.... 14 fr.
- LIEBIG (J.).** Lettres sur la chimie considérée dans ses applications à l'industrie, à la physiologie et à l'agriculture. 1 vol. in-18, br. 1847.
- Nouvelles lettres sur la chimie. Fermentation, putréfaction. — Rapports avec la physiologie. — Respiration. — Aliments. — Influence des sels sur la nutrition. — Composition de la viande. 1 vol. in-18, br. 1852. (Les deux vol. ensemble)..... 4 fr. 50
- LIGER (F.),** architecte. — Constructions en fers. Pans de fers et planches. — Maisons en fers recouvert d'enduits. — Imprimerie en fer apparent. 2^e édit. 1 vol. in-8, br., avec 8 pl. et de nombreuses figures. 1878. 2 fr. 50
- LISKENNE ET SAUVAN.** — Bibliothèque militaire. Tome I. Essai sur la tactique des Grecs. 1 fort vol. in-8, rel. 1835.... 2 fr. 50
- Le même ouvrage, 6 vol. reliés..... 18 fr.
- LIXAUTE (A.).** Le guide du constructeur de travaux publics, ou traité pratique de construction de routes, ponts fixes en maçonnerie et en fonte de fer, ponts suspendus, canaux, chemins de fer ordinaires et atmosphériques, travaux de tunages, théorie des sources et ouvrages d'irrigation. 1 vol. in-8, br., et atlas, même format. 1850. 5 fr.
- LOBET (J.).** Des chemins de fer en France, et des différents principes appliqués à leur tracé, leur construction et leur exploitation. Accompagné d'un examen comparatif sur l'utilité des différentes voies de communication ; d'un résumé général de l'état actuel des chemins de fer dans tous les pays d'Europe, et d'un appendice sur les nouveaux systèmes de chemins de fer exécutés ou proposés jusqu'à ce jour. 1 vol. in-18, rel. avec planches..... 5 fr.
- LOCKERT.** La vapeur et ses merveilles. 1 vol. in-18, br., orné de 75 grav. 1870. 0 75 c.
- LOI** sur la police des chemins de fer, promulguée le 21 juillet 1846 ; suivie du rapport et de l'ordonnance du 15 novembre 1846, portant règlement d'administration publique sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer. 1 vol. in-8, rel. 1846.. 1 fr.
- LOIS, décrets et cahier des charges des concessions, etc :** 1^o Des chemins de fer du midi, — 2^o Du canal latéral de la Garonne.

- 3° Du réseau pyrénéen. 4° Des routes agricoles, etc. 1 vol. in-8, rel. 1858. 1 fr. 25
- LORRAIN** (Claude). Dictionnaire universel des comptes d'intérêts, à l'usage de la banque, du commerce et des administrations. Paris, Imprimerie Nationale, 1 vol. in-4, rel. 1823..... 5 fr.
- LOUIS** (F.). Dictionnaire du commandement et de l'administration des corps de troupe de toutes armes. 1 vol. in-4, rel. 1863..... 3 fr. 50
- LOUPOT** (C.). Cours de géométrie élémentaire, à l'usage des classes de troisième. Suivi d'un supplément où l'on expose, d'une manière élémentaire, les principes du calcul logarithmique et du calcul trigonométrique. 1 vol. in-8, rel., avec 14 pl. 1834... 3 fr. 50
Le même ouvrage broché..... 3 fr.
- LOUYET** (P.). Cours élémentaire de chimie générale inorganique, théorique et pratique, à l'usage des Universités et Ecoles industrielles. 3 vol in-8, br. 1841-1842-1844. 6 fr.
- LUCAS** (Félix). Etudes analytiques sur la théorie générale des courbes planes, 1 vol. in-8, br. avec planches. 1864..... 4 fr. 50
- LYELL** (Sir Ch.). Manuel de géologie élémentaire, ou changements anciens de la terre et de ses habitants, tels qu'ils sont représentés par les monuments géologiques. Traduit de l'Anglais, sur la 5° édit. par M. Hugard. 5° édit. 1 vol. in-8, br., avec 750 grav. sur bois. 1857. (Quelques mouillures)... 4 fr. 50
- MABRU** (G.). Les magnétiseurs jugés par eux-mêmes. Nouvelle enquête sur le magnétisme animal. 1 vol. in-8, br. 1858... 6 fr.
Le même ouvrage, relié..... 6 fr. 50
- MAHISTRE**. Cours de mécanique appliquée. 1 vol. in-8, br. avec 241 fig. dans le texte. 1858..... 5 fr. 50
- MAIRE** (I.). Éléments de fortification passagère, à l'usage des officiers de toutes armes. 3 parties en 2 vol. in-8, br., avec nombreuses figures. 1873-1875..... 5 fr.
- MAISEAU**. Histoire descriptive de la filature et du tissage du coton, ou descriptions des divers procédés et machines employés jusqu'à ce jour, pour égrener, battre, carder étirer, filer et tisser le coton, ourdir et parer les chaînes, et flamber les étoffes. Ouvrage traduit de l'Anglais et augmenté des inventions faites en France par Maiseau. 1 vol. in-8, rel. avec 26 pl. 1827..... 5 fr.
Le même ouvrage broché..... 4 fr. 50
- MAITZ de GOIMY** (le comte du). Traité sur la construction des vaisseaux. 1 vol. in-4, reliure basane avec planches. 1776. (Rare)..... 8 fr.
- MALAPERT** (F.). Histoire de la législation des travaux publics. 1 vol. in-8, br., 1880. (Bibliothèque du Constructeur)..... 5 fr.
- MALCOR** (Alban). L'armée homogène ou unification du corps d'officiers. 1 vol. in-8, br., 1872..... 1 fr. 25
- MALHERBE** (Rénier). De l'exploitation de la houille dans le pays de Liège. 1 vol. in-18, br. 1863..... 4 fr.
- MANDAR** (C. F.). De l'architecture des fortresses, ou de l'art de fortifier les places, et de disposer les établissements de tout genre, qui ont rapport à la guerre. 1^{re} partie: Essai sur la fortification. Où l'on expose les progrès de cet art, depuis son origine jusqu'à nos jours; les principes de l'ordonnance générale et particulière des fortresses, et le parallèle des projets des plus habiles ingénieurs. 1 vol. in-8, rel. avec planches. 1801. 3 fr.
- MANIÈRE** (Nouvelle) de fortifier les places, tirée des méthodes du chevalier de Ville, du comte de Pagan, et de monsieur de Vauban. 1 vol. in-8, rel. basane, avec pl. 1689. (Exempl. bien conservé). Rare..... 5 fr.
- MANUEL** des experts en matières civiles, ou traités d'après les codes civils, de procédure et de commerce. 1° Des experts, de leur choix, de leurs devoirs, de leur rapport, de leur nomination, de leur nombre, de leur récusation, de leurs vacations, et des principaux cas où il y a lieu d'en nommer. — 2° Des biens, et des différentes espèces de modifications de la propriété. — 3° De l'usufruit, de l'usage et de l'habitation. — 4° Des servitudes, ou services fonciers. — 5° Des réparations locatives, de la garantie des défauts de la chose vendue, de la vérification des écritures, du faux incident civil, des mines, relativement aux indemnités auxquelles elles peuvent donner lieu entre les propriétaires de terrains et les concessionnaires, et de l'estimation ou fixation de la valeur des différentes espèces de biens. Ouvrage contenant plusieurs modèles de rapports, et qui est indispensable aux personnes attachées à l'ordre judiciaire, aux architectes, entrepreneurs, propriétaires fermiers et locataires. Par un ancien jurisconsulte, 3° édit. 1 vol. in-8, rel. 1819..... 3 fr. 50
- MANUEL** des agents de change et des courtiers de commerce, contenant les édits, déclarations, lettres patentes, arrêts et règlements avant 1789, les lois, décrets, arrêtés, ordonnances du roi, et règlements depuis 1789 jusqu'à ce jour, sur les fonctions, droits, prérogatives, police, discipline et cautionnement de ces officiers publics, et un recueil des lois, décrets, etc., sur la Banque de France. 1 vol. in-8, rel. 1823..... 2 fr.
- MANUEL** de connaissances militaires pratiques, utiles à MM. les officiers et sous-officiers d'infanterie et de cavalerie. Contenant: 1° Topographie militaire. — 2° Exécution d'un croquis pittoresque. — 3° Fortification. — 4° Artillerie. — 5° Reconnaissances, étude, organisation et emploi du terrain; petites opérations, statistique. — 6° Quelques principes d'hygiène. — 7° Connaissance et hygiène du cheval. — 8° Compte rendu d'une reconnaissance: exemples d'une question à traiter. Par un officier d'État-major. 1 vol. in-18, cart., avec pl. et figures. 1870..... 3 fr.
- MARCHE-MANŒUVRE** (Une) de cavalerie en Argonne, 1878. (Opérations hypothétiques, avec une carte en 4 feuilles.) Par un capitaine de cavalerie. 1 vol. in-8, br. 1879.. 3 fr. 50
- MARESTIER**. Mémoires sur les bateaux à

- vapeur des États-Unis d'Amérique ; avec un appendice sur diverses machines relatives à la marine. Précédé du rapport fait à l'Institut sur ce mémoire, par MM. Sané, Biot, Poisson et C. Dupin. Paris, Imprimerie nationale. 1824. 1 vol. in-4, br., avec atlas de 17 pl. in-folio. 10 fr.
- MARIANO CUBI SOLER** (Don.). Leçons de phrénologie scientifique et pratique, complétée par de nouvelles et importantes découvertes psychologiques et nervo-électriques. 2 vol. in-8, rel., avec 147 grav. 5 fr.
- MARIE** (l'abbé). Traité de mécanique. 1 vol. in-4, br., avec planches. 1774. 5 fr.
- MARIE** (M.). Leçons d'algèbre élémentaire. 1 vol. in-8, br. avec fig. 1863. 2 fr. 50
- MARIELLE** (C.-P.). Répertoire de l'École polytechnique, ou renseignements sur les élèves qui ont fait partie de l'institution, depuis l'époque de sa création en 1794, jusqu'en 1853 inclusivement ; avec plusieurs tableaux et résumés statistiques, et suivi de la liste des élèves admis en 1854 et de l'indication des mutations survenues dans l'intérieur de l'École jusqu'au 25 septembre 1855. 1 vol. in-8, br. 1855. 4 fr.
- MARIVAUT** (De). Notions élémentaires de géologie, de physique, de chimie, de botanique et de physiologie végétale appliquées à l'agriculture. 1 vol. in-16, rel. 1836. . 3 fr.
- MARTIN DES PALLIÈRES**. Orléans, campagne de 1870-1871, par le général Martin des Pallières, commandant en chef le 15^e corps d'armée. 1 vol. in-8, br. orné de 3 cartes stratégiques. 1872. 4 fr. 50
- MARTIN** (C.-F.). Les tables de Martin, ou le régulateur universel des calculs en parties doubles ; ouvrage par invention, pour trouver, d'une manière certaine, tous les rapports réciproques du nouveau système et des poids et mesures de tous les pays, ainsi que des francs, livres, tournois et monnaies étrangères. Précédé d'une instruction générale, et suivi d'un tableau décimal complet en dix pages ; de tables d'intérêt depuis $\frac{1}{8}$ jusqu'à 25 pour cent ; des opérations des divers changes avec les principales villes de l'Europe, la conversion des monnaies étrangères en monnaies de France, et vice versa, du cubage des bois rond, équarris et autres, etc. 1 vol. in-8, rel. avec nombreux tableaux. 1817. 3 fr. 50
- MARTIN** (P.-D.). Description du pont suspendu, construit sur la Garonne à Langon ; suivie du détail des travaux exécutés pour sa construction. 1 vol. in-4, rel. avec planches et un plan de la ville de Langon. 1832. 6 fr.
- MASCHERONI** (L.). Géométrie du compas. Traduit de l'Italien, par M. Carette, officier de génie. 1 vol. in-8, rel. avec planches. 1798. 4 fr.
- MATHOREL** (H.). Tables d'intérêt calculés pour tous les taux, jour par jour, depuis 1 jusqu'à 365, présentant au premier coup d'œil, et sans aucun calcul, l'intérêt à 50/0 de toutes les sommes possibles, et pour quelque échéance que ce soit. Ouvrage nécessaire à Messieurs les receveurs généraux, agents de change, banquiers, capitalistes, négociants, manufacturiers, avoués, notaires, caissiers, etc. 1 vol. in-4, cart. 1852. 7 fr.
- MAUDUIT**. Introduction aux sections coniques, pour servir de suite aux éléments de géométrie de M. Rivard. Ouvrage dans lequel on a renfermé les propriétés essentielles à l'intelligence du mouvement des corps qui font leurs révolutions dans quelque une de ces courbes, suivant les lois de la gravitation universelle. 1 vol. in-8, br. 1761. 2 fr.
- MAUDUIT**. Leçons de géométrie théorique et pratique, à l'usage des élèves de l'Académie d'architecture, 2 parties rel. en un vol. in-8, avec 14 pl. 1809. 3 fr.
- MAURY**. (P. L. L. D.). Géographie physique de la mer, traduit par P. A. Terquem, professeur d'hydrographie. 2^e édit. française, complétée sur la dernière édit. anglaise. 1 vol. in-8, br. 1861. (Texte seul). 3 fr. 50
- MÉCANIQUE** du feu (La) ou l'art d'en augmenter les effets, et d'en diminuer la dépense. 1^{re} partie contenant le traité de nouvelles cheminées qui échauffent plus que les cheminées ordinaires et ne sont pas sujettes à fumer, etc. 1 vol. in-12, rel. basane, avec planches. 1713. (Rare.) 4 fr.
- MÉMOIRES** du duc de Navailles et de la Vallette, pair et maréchal de France, 1 vol. in-12, rel. basane. 1701. (Bel exemplaire). 5 fr.
- MÉMOIRE** sur les manufactures de draps et autres étoffes de laine. 1 vol. in-18, rel. 1764. 2 fr.
- MÉRAY** (Ch.). Nouveaux éléments de géométrie. 1 vol. in-8, broché, avec planches. 1874. 3 fr. 50
- MERCIER** (P. M. R.). Tables de conversions des anciennes mesures locales de toute nature du département de l'Aisne, en mesures nouvelles, et réciproquement, précédées d'un exposé du système métrique, et suivies de la loi qui les rend obligatoires. 1 vol. in-18, br-1839. 1 fr. 50
- MESRUAU** (Ch.). Souvenirs de l'Hôtel-deville de Paris. 1848-1852. 1 vol. in-8, br. 1875. 3 fr. 50
- MÉRY** (E.). Mémoire sur l'équilibre des voûtes en berceau. in-8, rel. avec pl. 1840. (Rare.) 3 fr.
- MESNIL-MARIGNY** (du). Le rôle de l'industrie française et les traités de commerce 1 vol. in-18, broché. 1 fr.
- MEUNIER** (Victor). La science et les savants en 1867. 4^e année. 1 vol. in-18, broché 1868. 2 fr.
- De l'orfèvrerie électro-chimique. Histoire et description. 1 vol. in-18, br. 1861. 3 fr. 50
- MICHON**, capitaine du génie, professeur à l'École d'application. Instruction sur la résistance des matériaux. (Stabilité des constructions.) Suivie d'applications aux pièces droites et aux fermes de charpente des bâtiments. 1 vol. in-4, autographié, rel. avec 7 tableaux et 6 pl. 1848. 9 fr.

- NIÈGE (B.).** Vade-mecum pratique de télégraphie électrique, à l'usage des employés du télégraphe. 1^{re} partie: Cours élémentaire professé à l'Administration centrale des lignes télégraphiques. 2^e partie: Etudes pratiques sur le système et l'appareil Morse, par T. R. Ungéer. 1 vol. in-18, br., avec planches et figures. 1835..... 2 fr. 50
- MILET (V.).** Aide-mémoire d'administration à l'usage des sous-officiers de cavalerie. 1 vol. in-8, rel. 1861..... 3 fr. Le même ouvrage broché..... 2 fr. 50
- MILLET.** Cours de géographie à l'usage des candidats à l'École militaire de St-Cyr. in-8, rel. 1842..... 4 fr. 50
- MILLON (E.). J. REISET et J. NICKLÈS,** collaborateurs. Annuaire de chimie, comprenant les applications de cette science à la médecine et à la pharmacie, ou répertoire des découvertes et des nouveaux travaux en chimie, faits dans les diverses parties de l'Europe. Années 1849 et 1851. 2 vol. in-8, rel. Chaque..... 5 fr.
- MILLOT (L'abbé).** Mémoires politiques et militaires, pour servir à l'histoire de Louis XIV et de Louis XV. Composés sur les pièces originales, recueillies par Ad. Maurice Duc de Noailles, Maréchal de France et Ministre d'Etat. 4 vol. in-18, rel. basane. 1777. (Ouvrage recherché)..... 10 fr.
- MISSESSY (H. de).** Politique à propos de marine, ou les deux enquêtes. 1 vol. in-8, br. 1851..... 3 fr. 50
- MONNET (L.).** Nouveau traité général, astronomique et civil d'horlogerie théorique et pratique, d'après les plus habiles auteurs et les progrès récents de l'art. Contenant: une nouvelle méthode pratique et universelle de l'engrenage, suivant la science modifiée par l'application, avec figures exactes et en grand, des pignons et dentures, aisément réductibles en petit, les échappements anciens et modernes et les échappements libres actuels, cadratures, main-d'œuvre, tables, etc., le tout sans algèbre et à l'usage des ateliers. Enrichi d'éléments de physique générale, ou 1^{res} notions usuelles de géométrie pratique, de mécanique, chimie, gnomonique, pour méridiens, cadrans solaires, baromètres, thermomètres, etc. 2 vols. gr^d in-8, rel. avec 51 pl. 1848. (Au lieu de 40 fr.)..... 22 fr.
- MOLLET (Joseph).** Hydraulique physique, ou connaissance des phénomènes que présentent les fluides, soit dans l'état de repos, soit dans celui de mouvement. Ouvrage élémentaire renfermant l'hydrostatique et l'hydrodynamique. 1 vol. in-8, br. avec planches. 1810..... 4 fr.
- MOMENHEIM et E. CATALAN.** Solutions des problèmes de mathématiques et de physique, donnés à la Sorbonne dans les compositions du baccalauréat es-sciences. 1 vol. in-18, br. avec fig. dans le texte. 3 fr. 50
- MOMENHEIM et Ch. FRANCOIS-FRANCK.** Examens et compositions de mathématiques. (Épuisé.) 1 vol. in-8, cart., avec figures. 1862. 5 fr.
- MONESTIER-SAVIGNAT (A.).** Étude sur les phénomènes, l'aménagement et la législation des eaux, au point de vue des inondations, avec application au bassin de l'Allier. 1 vol. in-8, rel., avec planches. 1858.. 5 fr. Le même ouvrage broché..... 4 fr.
- MONGE (G.).** Géométrie descriptive, avec un supplément par M. Hachette. 1 vol. in-4, rel. 1811..... 12 fr. Le même ouvrage, 5^e édit., augmentée d'une théorie des ombres et de la perspective, extraite des papiers de l'auteur, par M. Brisson. 1 vol. in-4, broché, avec planches. 1827..... 15 fr.
- MONGE.** Application de l'analyse à la géométrie, à l'usage de l'École polytechnique 1 vol. in-4, rel. avec planches. 4^e édition. 1809..... (VENDU) Le même ouvrage br. 1807..... 20 fr.
- MONGRUEL (L.-P.).** Traité pratique industriel et commercial des huiles minérales à l'usage des fabricants, marchands et consommateurs de pétroles, schistes et autres huiles analogues. Ouvrage également utile aux négociants entrepositaires et consignataires, aux employés ou préposés des douanes et des octrois, aux experts et arbitres près les tribunaux, etc., etc. 1 volume in-18, relié 1864..... 1 fr. 50
- MONROY (J.-F.).** Traité d'architecture pratique, concernant la manière de bâtir solidement, avec les observations nécessaires sur le choix des matériaux, leurs qualités et leur emploi, suivant leur prix fixé à Paris et autres endroits, d'après un tableau de comparaison, le salaire des ouvriers, etc., etc. 1 vol. in-8, rel. avec planches. 1789..... 3 fr.
- MONTFERRIER (A.-S. de).** Traité élémentaire de physique et de chimie. 1 vol. in-8, br. avec planches. 1839..... 5 fr.
- MONTIGNY (Le comte de).** Manuel des piqueurs, cochers, grooms et palefreniers, à l'usage des écoles de dressage et d'équitation de France. 2^e édit. 1 vol. in-18, br. avec planches. 1867..... 2 fr. 50
- MONTMAHOU (C. de).** Éléments d'histoire naturelle. Zoologie. 4^e édit. 1 vol. in-18, cart. avec figures. 1874..... 1 fr. 50
- NAQUET (A.).** Principes de Chimie fondée sur les théories modernes. 3^e édit. 2 vol. in-18, brochés, avec nombreuses gravures. 1875..... 7 fr.

(à suivre).