

LA LIGNE 2

DU CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN

L'inauguration récente de cette ligne, depuis l'Étoile jusqu'à la place d'Anvers, n'a donné lieu à aucun accident, mais elle a éveillé dans le public le désir de connaître un peu plus complètement les conditions de service de la ligne. Nous résumerons ci-dessous les conditions principales, telles que nous les avons observées, au cours de la visite faite à l'occasion de l'inauguration de la ligne.

On connaît la construction du tunnel et des gares, qui présente beaucoup d'analogie avec la construction de la première ligne. On sait qu'une partie de la voie est en tunnel et une partie en viaduc : cette dernière n'étant pas encore en service, il n'a encore été donné à personne de voir circuler des trains sur le viaduc, mais nous avons tout lieu de croire qu'on ne relèvera à la charge de celui-ci, aucun des inconvénients si vivement ressentis par les populations de Berlin et de New-York avec leurs chemins de fer élevés, inconvénients éprouvés aussi lors de l'Exposition de 1900 par les riverains du petit chemin de fer, auquel on reprochait le bruit et les trépidations gênantes. L'établissement de la voie sur la plateforme métallique du viaduc n'a pas été fait sans l'emploi d'un ballast qui nous garantira sans doute des inconvénients auxquels il vient d'être fait allusion ; quant à la voie même du tunnel, elle paraît très bien établie, et assure aux trains un roulement très doux. Elle est en rails de 52 kg, employés par longueur de 18 mètres, les éclisses y sont longues et bien supportées sur les traverses voisines des joints, où elles sont d'ailleurs solidement ancrées dans les rampes ; la fixation des éclisses et contre-éclisses est faite par 6 boulons, dont les écrous sont maintenus exempts de trépidations, à l'aide de rondelles élastiques Grower. De part et d'autre de chaque éclisse aboutissent les connexions électriques, destinées à assurer la bonne conductibilité de la voie, utilisée, ainsi qu'on le sait, au retour du courant. Ces connexions diffèrent de celles de la première ligne : elles sont encore faites à l'aide de joints du principe connu sous le nom de « Chicago », mais le cuivre y est employé sous forme de ruban, et les têtes sont fixées de chaque côté du rail sur les patins de celui-ci, au moyen de goujons matés à la manière ordinaire. Chaque joint électrique de la voie de roulement comporte 4 connecteurs, dont 2 fixés sur chaque patin.

La section individuelle des lames est de $1,5 \times 25$ mm de longueur. Chacun des 4 connecteurs d'un joint comporte 7 lames, et par conséquent une section $7 \times 57,5 = 262 \text{ mm}^2$ environ, soit $57,5 \text{ mm}^2$.

La section totale par joint est ainsi d'environ :

$$4 \times 262 = 1048 \text{ mm}^2.$$

Et, comme les 4 rails des deux voies sont réunis, la section totale des joints, tous les 18 mètres, atteint par conséquent la valeur de 4000 mm^2 environ. Le retour de courant est ainsi assuré d'une manière

parfaite, et avec une résistance dont il est facile de donner une idée.

Examinons maintenant l'autre moitié du circuit, constituée par le troisième rail, relié au pôle positif et isolé ; il est supporté par des isolateurs d'ambroïne, fixés sur les traverses à l'aide de trois tire-fonds. Ces isolateurs se distinguent par leur très faible encombrement, qui est quelque peu surprenant à première vue. Le troisième rail lui-même est analogue, comme section et longueur, aux rails de roulement ; il est donc employé par sections de 18 mètres du poids de 52 kgs le mètre courant, mais il est de composition beaucoup plus douce, et par conséquent bien meilleur conducteur que les rails de roulement. On a sacrifié ici, pour obtenir une conductibilité très élevée, un peu de la résistance mécanique et un peu de l'économie d'achat de ce troisième rail, mais on y a gagné de pouvoir réduire beaucoup la résistance rencontrée par le courant, et nous pensons que cet exemple, qui vient d'être donné par le Métropolitain de Paris, après le Manhattan de New-York et le Nantasket Beach, mérite d'attirer l'attention des Compagnies de Chemins de fer désirant faire de la traction électrique.

Les joints du troisième rail sont assurés par des éclisses évidemment moins longues et moins solides que celles de la voie de roulement. L'éclisse proprement dite, d'une longueur de 80 centimètres, est fixée, par 4 boulons traversant le rail, à des contre-éclisses placées de l'autre côté de l'âme du rail, et entre ces contre-éclisses sont logées les connexions électriques, qu'on a pu, par cette heureuse disposition, faire aussi courtes que possible. Elles sont au nombre de 4 par joint, ce sont des « Chicagos » ordinaires, fixés par goujons matés non pas dans le patin du rail, mais dans l'âme de celui-ci ; montés du côté des contre-éclisses, ces « Chicagos » trouvent place entre les deux contre-éclisses ; et, de l'autre côté de l'âme du rail, les extrémités des goujons des « Chicagos » sont logées dans des trous ménagés à dessein dans l'éclisse même, trous au nombre de huit par conséquent, puisqu'il y a quatre connecteurs par joint.

L'ancrage de la voie est fait par huit tire-fonds, à chaque joint, assujettis aux traverses voisines des éclisses. Ces traverses sont distantes seulement de 540 mm, tandis que la distance des traverses en voie courante est de 900 mm.

La ligne est desservie par des trains de huit voitures, à unités doubles Thomson-Houston, auxquelles nous consacrerons plus loin une description un peu plus détaillée.

Le trait caractéristique et l'avantage de ces trains est de présenter à chaque bout une automotrice, d'où peut se faire la commande du train, de sorte que le train est parfaitement réversible, et peut faire un service de navette, sans recourir au système de la boucle, ou aux sujétions des trains qui ne présentent qu'un tracteur. Puisque dans le cas présent il existe un tracteur à chaque extrémité du train, il suffit que le

conducteur se transporte de l'un à l'autre bout pour assurer la marche du train dans l'un ou l'autre sens.

On a vu déjà ces trains en fonctionnement pendant plusieurs mois sur la première ligne du Métropolitain, où le système était loin cependant d'être aussi indispensable, étant donnée la boucle ménagée à chaque extrémité de la ligne 1, pour le retour du train d'un sens à l'autre. La nouvelle ligne ne présentant aucune boucle, cette disposition paraît non seulement utile, mais absolument indispensable. Il nous a semblé aussi que le profil de la nouvelle ligne présente des rampes assez fortes, notamment une rampe de 40 pour 1000, à la sortie du premier tronçon maintenant en exploitation, rampe d'ailleurs suivie bientôt d'une pente d'égale valeur.

Là encore la présence de plusieurs tracterurs assu-

ra une plus grande adhérence, et elle permettra au train de gravir plus facilement la rampe. Au point de vue de son alimentation, la ligne nouvelle reçoit son courant, comme l'ancienne ligne et en parallèle avec elle, par Bercy et par les sous-stations des Champs-Élysées et de l'Étoile, et sur son trajet est installée une nouvelle sous-station qui permettra d'assurer mieux

l'alimentation du reste de la ligne. Cette sous-station est destinée, comme les précédentes à recevoir le courant alternatif triphasé de l'usine génératrice à 5500 volts du Métropolitain et à le transformer en courant continu à 550 volts pour alimenter le troisième rail. C'est au voisinage de la gare, encore inexploitée, de Barbès qu'est située la sous-station, ac-

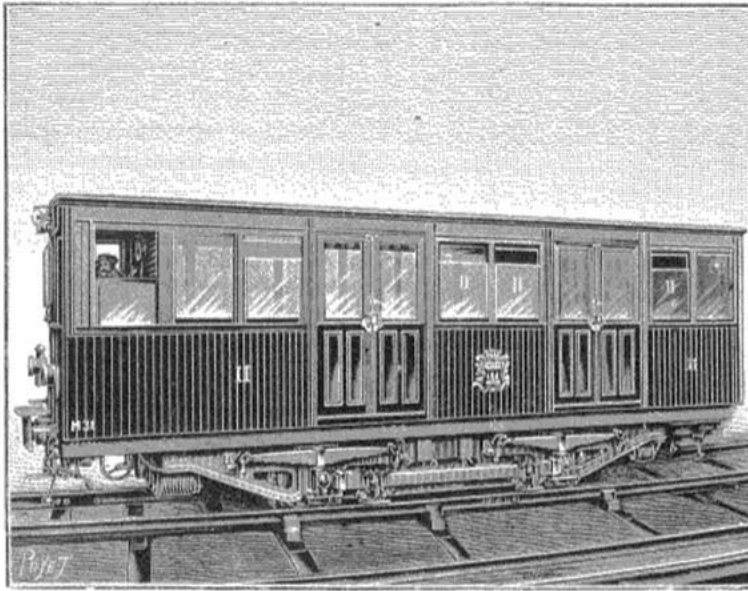


Fig. 1. — Un train du Métropolitain.

tellement en montage, installée, comme les extensions des précédentes par les soins de la Compagnie française Thomson-Houston. Le bâtiment, bien aéré

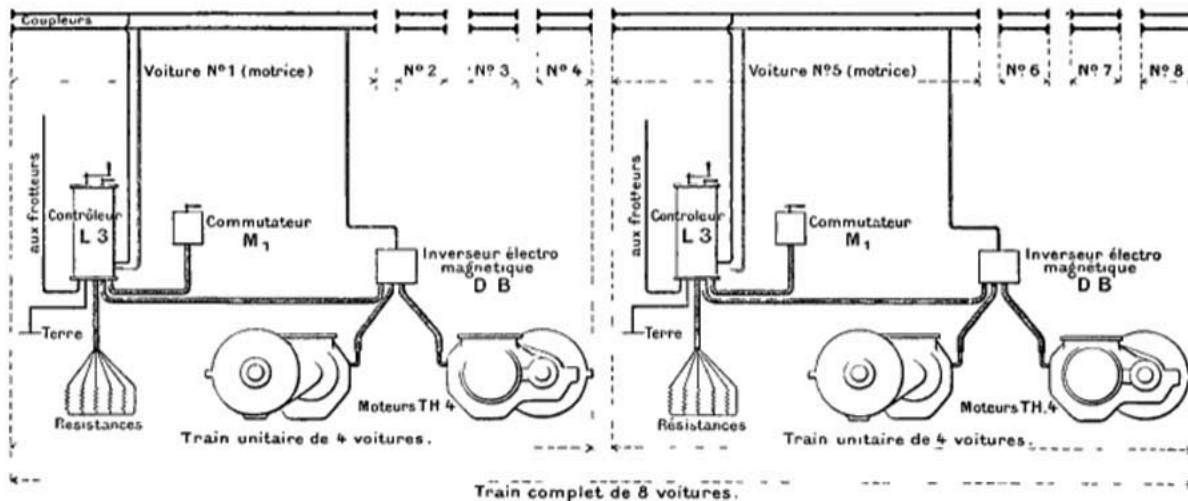


Fig. 2. — Schéma des couplages.

et très bien disposé, quoique de proportions relativement réduites, est destiné à contenir quatre machines transformatrices de 750 kw., commutatrices hexaphasées à six fils, recevant le courant alternatif, de tension réduite préalablement, par transformateurs statiques, et donnant du courant continu au collecteur. Les transformateurs statiques, dont plusieurs sont déjà en installation, reposent sur un caniveau devant servir à l'amenée d'air pour ventiler

leurs enroulements et combattre tout échauffement par chaleur Joule.

Une des commutatrices est également en installation. Toutes les manœuvres nécessaires sont assurées par un pont roulant, système De Mocomble.

On sait que la mise en marche des commutatrices peut se faire par le courant alternatif ou par le continu, et qu'il est préférable, à bien des égards, de l'effectuer de cette dernière manière. La solution adoptée ici

est l'emploi de courant continu, et, comme on ne disposerait que d'une tension trop réduite et sujette d'ailleurs à des variations considérables en prenant le courant continu servi à la ligne par les autres sous-stations, on a installé un groupe de démarrage, qui fournira le courant continu destiné à mettre en marche la première commutatrice. Il comporte un moteur asynchrone à courant alternatif entraînant une génératrice à courant continu de tension voulue. Il est aisé de soustraire la tension de cette machine aux variations qui résulteraient de la ligne, en conservant la faculté de la relier aux machines à actionner, sans la mettre en relation avec les barres omnibus fournissant le courant à la ligne. On voit qu'il suffit d'un jeu de barres omnibus, ou même d'une

seule barre omnibus spéciale à cet effet, solution qui paraît devoir être adoptée.

Le tableau de distribution, qui est l'âme d'une installation de ce genre en même temps que la partie la plus délicate et la plus dangereuse en cas de mal-façon, paraît avoir été très bien étudié. On voit d'un côté la carcasse du tableau à courant continu qui portera tous les appareils à 550 volts distribuant le courant à la ligne de traction. De l'autre côté, sont disposés les panneaux de commande du courant alternatif qui, bien que destiné à commander du courant à 5500 volts, ne présente aucun point dangereux et aucune tension élevée, grâce aux dispositions spéciales employées. La carcasse du tableau à courant continu est constituée par des panneaux de marbre

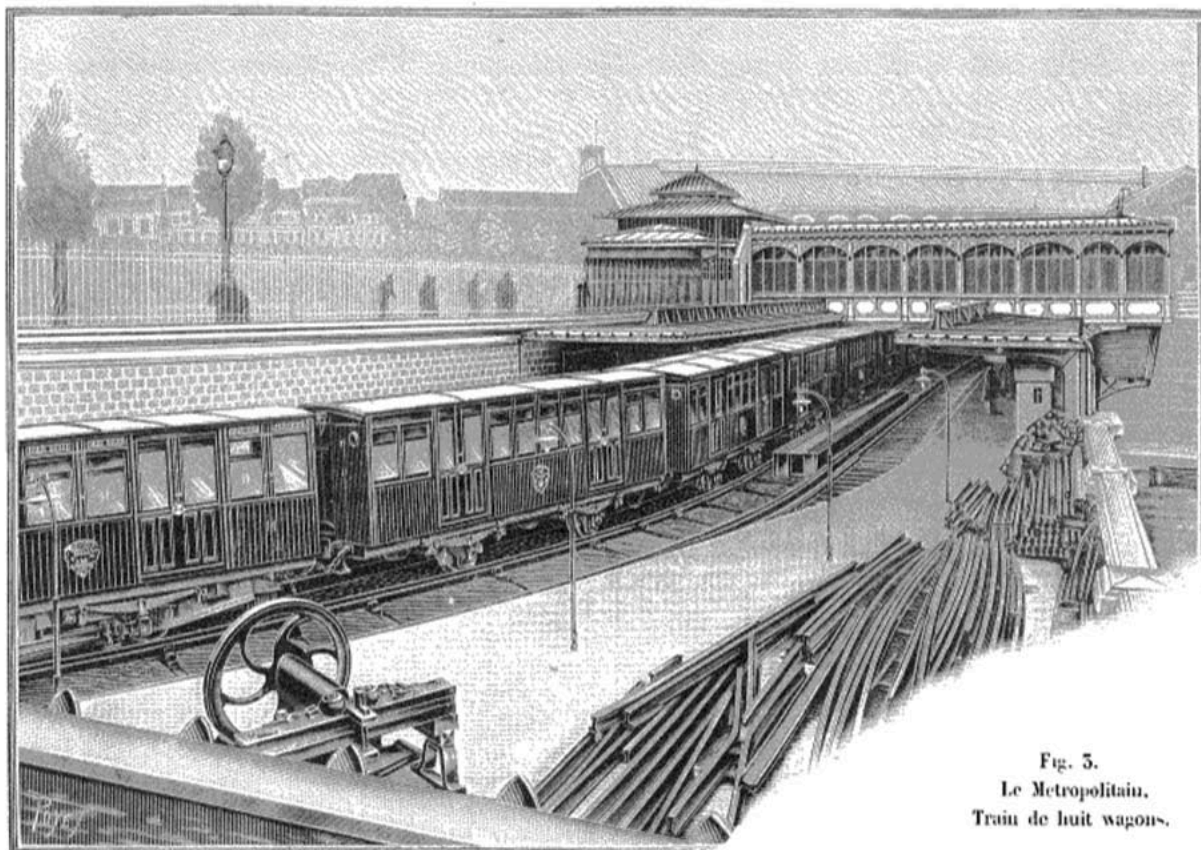


Fig. 5.
Le Métropolitain.
Train de huit wagons.

distincts, mais juxtaposés à la manière ordinaire, et dont quelques-uns portent déjà des appareils disjoncteurs automatiques, ampèremètres, etc. Le disjoncteur automatique est destiné à protéger les machines contre les dangers d'une surcharge excessive, résultant d'un court-circuit sur la ligne. Ici le courant maximum admis paraît devoir être considérable, puisque l'échelle du disjoncteur spécial employé va jusqu'à 18000 ampères. Ce disjoncteur est commandé automatiquement, d'après les principes ordinairement employés dans les disjoncteurs Thomson à commande électro-magnétique, mais il peut être déclenché à la main comme ceux-ci. En raison de la grande intensité du courant qu'il porte, on n'a pas eu besoin de constituer de plusieurs tours la bobine de cuivre destinée à effectuer le déclenchement de l'appareil. En cas de surcharge, la seule

action du courant passant de la face avant à la face arrière du tableau à travers la grosse connexion de cuivre de l'appareil, suffit pour assurer le déplacement d'un déclat en fer, soumis à l'action du flux créé par le conducteur de cuivre, flux d'ailleurs dirigé et convenablement fermé, par le socle même fixant l'appareil sur le marbre.

Plusieurs des panneaux de commande à courant alternatif sont déjà en place, ce qui permet de se rendre compte des précautions prises pour éviter les dangers de la haute tension. Les câbles sont tous amenés par caniveaux aux machines ou au tableau, et les câbles à haute tension sont conduits au tableau avec des précautions spéciales; ils aboutiront à des bornes placées dans des récipients remplis d'huile, et l'interruption du courant se fera dans ce bain d'huile, au moyen de ponts de contact mobiles com-

mandés à distance. L'interrupteur à huile ainsi constitué ne présente extérieurement aucun contact à haute tension; seule la commande isolée de cet interrupteur aboutit par une série de leviers, analogues aux renvois de sonnettes bien connus, à la poignée de commande montée sur le panneau même. Chacun de ces panneaux porte, en outre, un ampèremètre de 150 ampères et un wattmètre de 1500 kw.

Nous avons indiqué plus haut le principe et les avantages des trains à unités doubles Thomson-Houston, nous en donnerons maintenant la description avec un peu plus de détails, en nous aidant des renseignements que les constructeurs ont bien voulu nous communiquer.

Le système de traction à « unités doubles » adopté sur le réseau du Métropolitain correspond à la réalisation pratique des conditions d'exploitation suivantes :

Aux heures de faible trafic, faire circuler, à des intervalles de temps déterminés, par exemple toutes les trois minutes, des trains composés chacun d'une voiture motrice et de trois voitures de remorque, d'un poids total en charge d'environ 50 tonnes, effectuant le trajet aller et retour de Vincennes à la porte Maillot en 1 heure environ.

Au moment où le trafic augmente, accoupler les trains précédents deux par deux, de manière à en doubler la capacité et à en former un seul train, composé de deux voitures motrices l'une en tête, l'autre en queue, et de 6 voitures de remorque intercalées entre les deux, mais de telle façon que ce nouveau train double ainsi constitué puisse être commandé par un seul wattman, avec le contrôleur de la cabine qui est à l'avant du train, les moteurs des deux motrices fonctionnant simultanément avec une concordance parfaite.

Le grand avantage du système adopté, et qui est décrit plus loin, réside dans les caractères suivants : 1° Simplicité remarquable de l'accouplement des voitures motrices associées deux par deux, chacun des trains simples ou doubles se conduisant absolument comme une motrice unique, au moyen d'un contrôleur série parallèle; 2° marche économique en série-parallèle dans les meilleures conditions possibles dans les deux cas; 3° la commande de la deuxième voiture à la queue du train par le contrôleur de la première s'effectue seulement par l'intermédiaire d'un câble unique courant, sur toutes les voitures de remorque, d'un bout à l'autre du train, d'où simplicité remarquable; 4° freinage électrique en cas d'urgence en renversant le courant dans les deux motrices à la fois. A cet effet, deux fils de très faible section courent tout le long du train à côté du câble ci-dessus. Ces deux fils ne reçoivent le courant qu'au moment précis du freinage électrique, et sont morts le reste du temps. Ces fils servent à inverser le sens de marche des moteurs du train; 5° absence complète de tout appareil automatique, excepté les inverseurs de marche. En somme, le système de traction ainsi constitué présente exactement, au point de vue électrique, les mêmes qualités que les sys-

tèmes de traction à unités multiples qui ont été décrits antérieurement¹.

La solution actuelle emprunte une grande simplicité aux conditions spéciales du réseau du Métropolitain, particulièrement au fait que chaque motrice est munie d'une seule cabine de wattman, puisque les trains utilisent aux extrémités de lignes une boucle de voie pour passer du quai d'arrivée au quai de départ. Le système de traction à « unités doubles » Thomson-Houston s'explique très facilement au moyen d'un schéma de couplage indiqué dans la figure 2, page 56. Toutes les motrices sont identiques entre elles et absolument interchangeables au point de vue de la marche en train à 4 ou 8 voitures. La cabine du wattman de la motrice contient les appareils suivants : 1 Contrôleur à soufflage magnétique L. 5; 1 Disjoncteur automatique M. K; 1 Plomb fusible à soufflage magnétique M. L; 1 Parafoudre; 1 Compresseur d'air électrique à commande automatique pour les freins; 1 Commutateur spécial M₁ à deux positions.

Puis sur la voiture motrice se trouvent encore : un jeu de résistances pour la marche en série parallèle; un inverseur électromagnétique pour la marche arrière; 2 moteurs T. H. 4 de 140 chevaux chacun et 4 frotteurs de prise de courant pour troisième rail. Sur chacune des faces avant et arrière de la voiture se trouvent : un coupleur gros câble pour la commande de la motrice de queue et un coupleur à deux fiches pour inverseurs.

Voici en quelques mots comment s'effectuent les manœuvres très simples pour la marche à 4 ou à 8 voitures : Supposons le train à 4 voitures en service. Le wattman met la poignée du commutateur spécial M-1 dans la position « 4 voitures », accroche les coupleurs aux extrémités du train dans leurs supports respectifs, et le train est prêt à partir.

Lorsque le trafic augmente les chefs de mouvement donnent l'ordre de former un certain nombre de trains de 8 voitures, qui s'intercalent entre des trains à 4 voitures. Il suffit pour cela de rapprocher bout à bout deux trains de 4 voitures, de faire les attelages à la manière habituelle, de ficher les coupleurs correspondants et de mettre dans chacune des motrices le commutateur spécial dans la position « 8 voitures ». Le train est prêt à partir et le wattman peut se placer dans l'une quelconque des cabines, quelle que soit leur position relative dans le train, pour commander la marche de tout le train. On conçoit combien la simplicité de ce mode de traction permet de suivre avec la plus grande facilité toutes les fluctuations de trafic sur une ligne, et de profiter des affluences qui peuvent se produire, en doublant en très peu de temps la capacité de transport des trains, ce qu'on ne serait pas en mesure de faire en augmentant la fréquence des départs, attendu que cette fréquence ne peut pas être augmentée au delà d'un certain chiffre, à cause de la longueur même des blocs automatiques qui la limitent. Les motrices, ainsi que

¹ Voy. nos 1472, du 10 août 1901, p. 170; 1485, du 9 novembre 1901, p. 576; 1505, du 16 mars 1902, p. 254.

nous l'avons dit, peuvent être accouplés dans une position respective quelconque l'une par rapport à l'autre : soit les deux en tête d'un train à 8 voitures, soit l'une en tête, l'autre au milieu, soit l'une en tête, l'autre en queue.

Ces divers modes de couplage ont été essayés et ont chacun leurs avantages pour l'exploitation. Le mode de couplage qui a donné le plus de satisfaction jusqu'ici sur la ligne du Métropolitain est celui qui consiste à avoir les deux motrices en tête et en queue, de manière à pouvoir marcher dans un sens ou dans l'autre en cas de nécessité : ainsi, dans le cas où l'une des boucles terminales viendrait à être obstruée, il suffirait au wattman de se transporter de la cabine de tête dans la cabine de queue, et de marcher en sens inverse pour reprendre son service comme si rien n'était. Tel est aussi *a fortiori* le cas sur la ligne 2, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Ce mode de traction est applicable quand il n'y a que deux voitures motrices accouplées ou qu'il est superflu d'employer les unités multiples; ainsi il a été fait récemment pour une ligne de tramways à deux motrices en Italie.

C. DURAND.

ALUMINO-THERMIE

On a beaucoup parlé depuis quelque temps d'une méthode originale de traitement des minerais sans charbon. Le producteur de chaleur est un métal convenablement choisi. En l'espèce, le combustible est l'aluminium. On supprime le charbon et, par suite des propriétés de l'aluminium, on parvient à produire des températures sensiblement équivalentes à celles de l'arc électrique.

Pour réduire un composé métallique, par exemple un oxyde, on peut le mélanger intimement avec un métal pur ayant pour l'oxygène plus d'affinité que le métal combiné, et provoquer la combinaison du métal libre avec l'oxygène de l'oxyde en portant le mélange à une température déterminée. Le métal que l'on veut extraire est mis en liberté, et il semble qu'on ait là un excellent procédé métallurgique permettant d'extraire certains métaux sans le secours du charbon. Malheureusement la réaction se produit brusquement et avec une extrême violence, les corps mis en présence sont projetés dans tous les sens, ce qui constitue une perte et un danger; les récipients, enveloppes, creusets, etc., sont rapidement mis hors de service. M. le Dr Hans Goldschmidt, d'Essen-sur-Ruhr, est parvenu à éliminer ces inconvénients en se contentant d'amorcer la réaction en un point seulement de la masse à traiter.

La chaleur que dégage cette réaction même suffit pour qu'elle se propage de proche en proche dans toute la masse et sans autre apport de chaleur. La température ainsi atteinte par la masse dépend de la nature des corps mis en présence; avec certains corps, elle peut être de l'ordre de celles qu'on obtient avec l'arc électrique, c'est-à-dire excessivement élevée. On obtient donc ainsi deux effets par la réaction : 1° une réduction d'oxyde qui peut être utilisée pour la préparation des métaux et alliages purs, exempts de carbone, etc.; 2° un grand dégagement de chaleur qui peut être utilisée dans certaines applications concurremment avec la réduction de l'oxyde, ou, au contraire, d'une façon tout à fait indépendante, par

exemple, comme moyen de chauffage local pour souder ensemble deux pièces de même métal. On voit donc que l'on peut baser sur cette réaction tout un ensemble de procédés; c'est à cette méthode que M. Hans Goldschmidt donne le nom d'« Alumino-thermie ». Le mot a été choisi parce que l'aluminium paraît convenir le mieux en général comme métal réducteur en raison de son prix et de sa grande chaleur de combustion. On obtiendra ainsi, avec différents oxydes et mélanges d'oxydes, des températures que l'on pourra graduer à volonté, en tenant compte de l'opération à effectuer. Pour des basses températures, on pourra se servir des sulfures, dont la chaleur de combustion est moindre.

Voici en quelques lignes les deux genres d'opérations qui caractérisent l'alumino-thermie : 1° Préparation des métaux réfractaires. Le mélange d'oxyde que l'on veut réduire et d'aluminium convenablement réduit en poudre, ou en petits grains, est introduit dans un creuset garni intérieurement d'un enduit réfractaire, et armé, à l'extérieur, d'une sorte de grillage pour éviter la rupture du creuset; pour amorcer, on place une cartouche de bioxyde de baryum et aluminium, que l'on enflamme par l'intermédiaire d'un fil de magnésium ou d'une alumette-tison. La réaction commence aussitôt; malgré la chaleur dégagée, elle se poursuit très tranquillement, et, si les matières premières sont bien sèches, il n'y a pas de projection en dehors du creuset. Le métal pur s'accumule au fond, l'alumine résultant de la combinaison de l'aluminium avec l'oxygène reste au-dessus. Cette alumine fondue donne un corps présentant toutes les propriétés du corindon et notamment la dureté. On peut en fabriquer des meules à aiguiser; lorsqu'il provient de la préparation du chrome, on y remarque de petites cavernes renfermant du corindon teinté de rouge, c'est-à-dire des rubis, très petits d'ailleurs. 2° Alumino-thermie proprement dite. Nous donnerons simplement, à titre d'exemple, la description des opérations à effectuer pour souder deux tubes en fer. On commence par bien nettoyer les parties à réunir, à la lime, par exemple; on joint les deux tubes en les assujettissant dans des pinces réunies par des tirants à vis, qui permettent de forcer le serrage au moment voulu. On entoure la partie à souder d'un moule en tôle qui épouse la forme du tube, en laissant un certain jeu pour recevoir la matière en fusion. Puis on met dans un creuset une petite quantité de thermitite.

La thermitite est un mélange breveté par M. Goldschmidt qui contient de l'aluminium et de l'oxyde de fer. On provoque la réaction au moyen de la cartouche d'allumage mentionnée plus haut ou par quelque autre moyen analogue. On ajoute ensuite progressivement la thermitite jusqu'à ce que la fusion soit complète. A ce moment, on verse le contenu du creuset dans le moule. Le corindon qui surnage coule le premier, rencontrant les parois froides du moule, il les recouvre d'une couche épaisse de 2 à 3 millimètres, ce qui permet d'opérer la coulée sans provoquer une fusion générale. Le fer de la thermitite s'accumule en lingots à la partie inférieure. Quand la température atteint son maximum, on force sur les vis de serrage et l'union se fait intime entre les deux parties du tube. On enlève le moule peu de temps après et on détache la gangue; l'opération est terminée. Il est bon, avant de la commencer, de tasser autour du moule du sable maintenu en place par une boîte extérieure distante du moule de 20 à 50 millimètres. La nouvelle méthode paraît susceptible de prendre certains développements. Z.