

Le tableau de distribution comprend deux panneaux de moteurs synchrones, deux panneaux de génératrices à courant continu, et un panneau de feeder à courant continu.

Postes intermédiaires. — En outre du poste de transformateurs du Brunet, l'installation du transport d'énergie comprend deux postes moins importants, placés en dérivation sur la ligne à 30 000 volts entre l'usine d'Entraygues et Toulon. Ces postes sont voisins des localités de Gonfaron et de Cuers. Ils sont destinés l'un et l'autre à distribuer l'éclairage et la force motrice aux villages voisins.

Le poste de Gonfaron comprend deux transformateurs statiques triphasés de 110 kilowatts abaissant la tension de 28 000 à 3 500 volts. Ces appareils sont à bain d'huile.

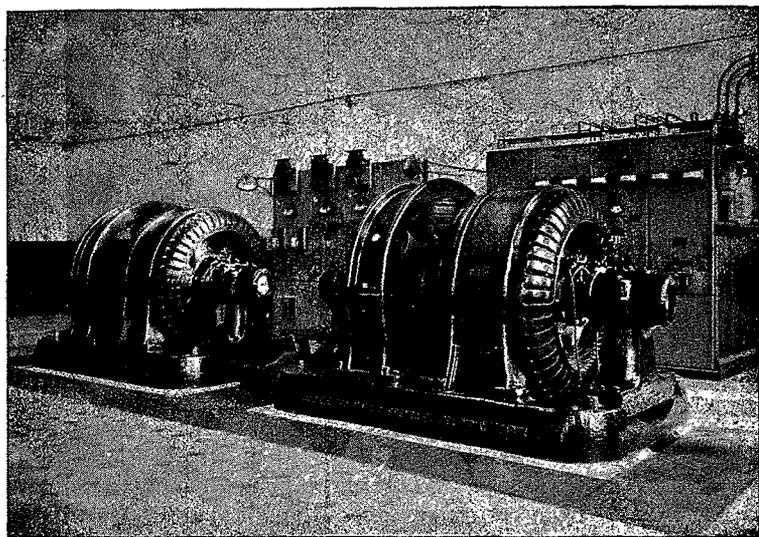


Fig. 5. — Groupes moteurs-générateurs de la sous-station des tramways de Toulon.

La disposition générale des arrivées de ligne, soit à 28 000 volts, soit à 3 500 volts, des parafoudres et des interrupteurs à huile placés sur le primaire et sur le secondaire des transformateurs est la même pour ce poste que pour celui du Brunet.

La ligne principale à haute tension passe à l'intérieur du bâtiment, et peut être sectionnée au moyen d'interrupteurs à couteaux en deux points, entre lesquels est branchée la dérivation du poste. On peut ainsi l'alimenter à volonté, soit par l'usine d'Entraygues, soit par la ligne venant de Toulon, au moyen des groupes réversibles des sous-stations recevant le courant continu fourni par des groupes électrogènes à vapeur, déjà existants avant l'installation du transport de force.

Le poste de Cuers est aménagé pour recevoir ultérieurement trois transformateurs statiques triphasés de 250 kilowatts de puissance chacun, abaissant la tension de 28 000 à 3 500 volts.

Les arrivées et sorties de ligne, à haute et à basse tension, et les parafoudres sont établis de la même façon qu'aux postes du Brunet et de Gonfaron. Les interrupteurs à huile pour haute tension sont aussi, comme dans ces deux postes, du type K à phases séparées par des cloisons à l'épreuve du feu ; ils sont établis sur une passerelle au-dessus des transformateurs, et commandés mécaniquement à distance,

les panneaux étant installés au rez-de-chaussée devant les transformateurs.

La ligne principale à haute tension pénètre dans le poste où elle peut être sectionnée par un interrupteur à huile à commande à la main et à déclenchement automatique.

La boucle formée par cette ligne à l'intérieur du poste peut être court-circuitée, à l'extérieur, par un interrupteur de sectionnement à air libre, à couteaux, qui reste normalement ouvert.

Des interrupteurs de sectionnement à couteaux sont aussi placés dans le poste sur l'entrée et sur la sortie de la ligne principale. La dérivation alimentant le poste peut être, elle-même, coupée par un interrupteur à huile à commande à la main et à déclenchement automatique.

Ces dispositions permettent d'isoler complètement le poste sans interrompre le courant sur la ligne principale, ou de l'alimenter soit par Entraygues, soit par Toulon.

M. P.

La Fabrication électrique de l'Acier

Communication faite par M. Gustave GIN, au Congrès international des Mines, de la Métallurgie, de la Mécanique et de la Géologie appliquées, tenu à Liège (juin et juillet 1905).

L'évolution de la métallurgie du fer procède maintenant de principes scientifiques dont la rigueur et la précision s'affirment chaque jour davantage. Il en résulte une amélioration rapide des méthodes opératoires et une utilisation plus parfaite des diverses formes de l'énergie pour la réalisation de réactions de mieux en mieux connues.

A ce point de vue, il était naturel que l'énergie électrique, employée à titre purement accessoire dans les usines sidérurgiques, dût briguer bientôt un rôle plus élevé et un champ d'action plus vaste.

Il en a été, du reste, de la métallurgie électrique de l'acier comme de la science même, dont Renan a dit qu'elle n'est « qu'une succession d'inexactitudes se rapprochant peu à peu de la vérité ».

Les premiers appareils étaient imparfaits et peu puissants, et il paraissait dérisoire de comparer les fours électriques avec les convertisseurs Bessemer ou les grands fours Martin.

Ce n'est pas sans humilité que j'entendais, il y a à peine deux ans, un ingénieur des forges de Denain et Anzin me dire, en montrant un groupe de convertisseurs Bessemer : « Vous n'arriverez jamais avec l'électricité à réaliser l'énorme production de ces appareils ».

Nous sommes maintenant certains que cette affirmation sera bientôt démentie, car les expériences menées à bonne fin sont assez nombreuses pour fixer les idées sur le rôle futur et les conditions d'emploi de l'énergie électrique dans la fabrication de l'acier.

Les procédés électriques et les méthodes existantes. — L'électricité, qui est la plus souple, la plus docile, la plus maniable de toutes les formes de l'énergie, doit être généralement considérée comme une énergie de luxe, dont il faut souvent restreindre l'emploi aux seules opérations pour lesquelles elle se montre nettement supérieure ou non remplaçable, et l'on ne peut s'en montrer prodigue que dans les régions privilégiées où les grandes forces hydrauliques permettent de produire à un prix infime une énergie qui ne saurait trouver sur place d'autres emplois immédiats.

La supériorité de l'énergie électrique se manifeste surtout par la haute valeur du rendement d'utilisation et par la précision des opérations.

Le grand rendement thermique des fours électriques a été constaté et expliqué depuis longtemps par la concentration possible des opérations dans un espace des plus réduits.

Dans mon four canal, le dégagement calorifique se produit dans le sein même du métal à affiner, c'est-à-dire dans un milieu qui pèse 7 kgs par dm^3 et qui peut emmagasiner près de 2700 calories entre les températures de 0 et 1800°. Dans le four Martin les gaz convoyeurs de la chaleur ne pèsent sous le même volume que quelques décigrammes et ne peuvent guère emmagasiner plus d'un quart de calories entre les mêmes limites de la température.

Le rapport de concentration thermique des deux milieux est donc comme 1 est à 10 000. Aussi le simple bon sens indique-t-il que les opérations accomplies avec le concours de l'énergie électrique peuvent se réaliser dans des espaces de dimensions très réduites, dont les pertes par émission sont notablement moindres que celles des fours dans lesquels le véhicule thermique est gazeux.

Il est utile de remarquer que le convertisseur Bessemer présente également l'avantage du dégagement calorifique dans la masse même du métal en voie de transformation. On utilise alors la chaleur d'oxydation du carbone, du silicium, du manganèse et du phosphore. En fait, l'énergie dépensée pendant le convertissage avait été fournie par les opérations réductrices du haut-fourneau et subsistait à l'état potentiel dans le métal non affiné. Mais, il faut observer aussi que cette énergie potentielle est en quantité limitée et parfois insuffisante, ce qui nécessite l'introduction de combustibles intermoléculaires empruntés à une source extérieure. Au contraire, dans le four électrique, la source d'énergie est permanente et c'est là un avantage essentiel par rapport aux convertisseurs à vent dans lesquels l'élaboration de l'acier exige, par crainte du refroidissement, l'emploi de réactifs thermogènes et une précipitation incompatible avec la précision que l'on est en droit de souhaiter. Enfin, l'emploi de l'air soufflé introduit certainement dans le bain plus de gaz occlus que l'opération électrique.

Si l'on envisage maintenant le four Martin, on voit encore que certaines opérations sont entravées par le contact du métal avec les masses gazeuses auxquelles il est parfois difficile de donner, en temps opportun, une composition neutre ou réductrice.

Dans le four électrique, au contraire, l'action chimique de l'atmosphère est inexistante, car l'on peut opérer pour ainsi dire en vase clos. Il n'y a, si on le désire, aucune introduction d'air extérieure et les gaz intérieurs proviennent simplement des réactions oxydantes qui ne peuvent fournir d'autre gaz que l'oxyde de carbone.

Les réactions perturbatrices sont donc réduites au minimum tandis que, d'autre part, l'introduction des additions finales ou des constituants spéciaux est réglable à volonté. Il est donc possible d'obtenir d'une façon précise et presque mathématique des aciers de nuances définies dans les limites les plus étroites. Et cette facilité est d'autant plus réelle que l'on peut, pour réaliser la mise à la nuance, atténuer ou prolonger l'action thermique autant qu'il est nécessaire.

De cette dernière observation, on conclut d'abord que vraisemblablement le four électrique s'assurera à bref délai le monopole de la fabrication des aciers fins et spéciaux, et que cette conquête sera probablement rapide et définitive, comme il en a été pour les fabrications de ferrosiliciums riches et des ferrochromes à basse teneur en carbone pour lesquelles le four électrique a dès maintenant supplanté le haut-fourneau.

La deuxième conclusion qui semble s'imposer c'est que le four électrique permettra de fabriquer, avec plus de précision et de régularité, les aciers demi-fins que l'on ne peut obtenir par conversion, mais seulement par l'affinage sur sole. Il est vraisemblable que ces aciers demi-fins seront aux bons aciers Martin, ce que sont ces derniers aux aciers Bessemer.

Limitation du rôle de l'énergie électrique. — Le rôle si élastique de l'énergie électrique peut se borner à la mise à la nuance d'un acier presque élaboré dans les appareils connus, ou aller jusqu'à la fabrication intégrale en partant du minerai pour aboutir à un acier de composition quelconque.

Entre ces deux limites, le four électrique peut parcourir toute la gamme des opérations productrices de l'acier et les considérations économiques seules peuvent étendre ou restreindre son champ d'action.

En vertu de cette erreur commune à tous les inventeurs de rechercher toujours la difficulté, les premiers chercheurs se sont attaqués d'abord à la fabrication intégrale, et comme le problème était aussi ardu que complexe, la solution s'est fait attendre. Plus tard les expériences ont porté sur le seul affinage de la fonte brute, prise à l'état solide ou préalable-ment fondue, puis on a essayé la fabrication au moyen des riblons qui est plutôt une fusion qu'un affinage. Enfin, on en est arrivé à éliminer du rôle de l'énergie électrique, non seulement la réduction du minerai et la fusion du métal, mais même l'affinage préalable, pour ne lui laisser que la mise au point finale.

Procédés duplex. — On peut avec le concours du four électriques réaliser une fabrication mixte basée sur les principes analogues à ceux du procédé Witkowitz ou la méthode duplex Talbot ou Bertrand-Thiel.

Dans le procédé de Witkowitz, on emploie un convertisseur complété par un four Martin. Le convertisseur élimine la majeure partie des impuretés dont le départ intégral s'achève dans le Martin. On conçoit aisément que l'on conserve le convertisseur comme dégrossisseur de l'affinage et que l'on remplace le four Martin par un four électrique jouant le rôle d'épurateur final. (J'ai proposé cette solution en 1902 à un groupe métallurgique français). Le four électrique de mise au point fonctionnera avec une faible dépense d'énergie, puisque l'acier sort du convertisseur avec une haute température et une faible proportion d'impuretés. A un autre point de vue, le four électrique sera supérieur au Martin, car dans ces conditions, il peut agir avec une plus grande vitesse.

Dans le procédé de Witkowitz, l'affinage final au four Martin exigeant au moins trois heures, il faut quatre fours pour desservir un seul convertisseur. Avec un four électrique de puissance convenable, il est certain que la durée de l'opération peut être diminuée de moitié, ce qui réduit dans la même proportion le nombre de fours électriques nécessaires pour le service d'une même quantité de cornues.

Dans le procédé duplex Talbot, on réalise un premier affinage de la fonte dans le Talbot par oxydation à l'aide du minerai ou des battitures, et on envoie le produit grossièrement affiné dans un Martin fixe, qui achève la transformation.

Ce Martin fixe peut évidemment être remplacé par un four électrique, dans lequel la mise à la nuance s'effectue en présence d'une quantité minime de scories et avec du métal à une température convenable.

Là encore, la dépense d'énergie est relativement faible et comme on peut dans l'un et l'autre appareil maintenir la température, il est possible de régler les puissances relatives des deux appareils de manière à assurer la continuité des opérations sans perte de temps et sans consommation inutile d'énergie.

La même adaptation peut se faire pour le procédé Bertrand-Thiel, le four électrique pouvant doubler son rôle d'oxydation complémentaire par celui de l'appareil de fusion des riblons et des ferrailles ou le borner comme dans le cas précédent à une simple mise à la nuance.

On peut donc réaliser avec l'énergie électrique tous les avantages des procédés duplex, c'est-à-dire une moindre corrosion des garnissages dans les deux fours, une égale rapidité de travail et une très grande précision dans l'obtention du produit final.

Le tableau qui suit résume les diverses applications du four électrique à la fabrication de l'acier et l'importance pour chacune d'elles, du rôle réservé à l'énergie électrique.

TABLEAU DES FABRICATIONS POSSIBLES

PROCÉDÉS	OPÉRATIONS RÉALISÉES	ÉNERGIE MASSIQUE EN KW-H : TONNE
Fabrication intégrale partant du minerai.....	Fusion et réduction du minerai....	2800 à 3200
	Oxydation des impuretés.....	
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	
Partant de la fonte solide	Fusion du métal brut.....	1000 à 1100
	Oxydation des impuretés.....	
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	
Partant d'un mélange de fonte et riblons solides	Fusion du métal brut.....	900 à 1000
	Oxydation partielle des impuretés.....	
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	
Partant de la fonte liquide.....	Chauffage du métal.....	450 à 250
	Oxydation des impuretés.....	
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	
Partant de la fonte liquide et des riblons solides.....	Fusion des riblons et chauffage du mélange.....	700 à 800
	Oxydation partielle des impuretés.....	
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	
Partant de l'acier inachevé d'un convertisseur ou d'un four Martin.	Oxydation réduite des impuretés.....	200 à 300
	Désoxydation du métal affiné.....	
	Recarburation à la nuance.....	

Tous les procédés mixtes de la métallurgie actuelle peuvent être assimilés à l'un des exemples cités dans le tableau précédent qui donne une idée approchée de la consommation d'énergie correspondante et par suite du prix de revient possible, car il est bien évident que tous les perfectionnements mécaniques imaginés pour réduire le coût des manutentions seront appliqués dans l'avenir aux appareils électriques.

Il n'est pas douteux non plus que la conquête d'une nouvelle source d'énergie dans les gaz des hauts-fourneaux ne donne à bref délai un essor important à la création des appareils électriques d'élaboration de l'acier, surtout si le rôle de ces appareils est réduit à une simple mise au point après les opérations classiques du convertisseur ou du four Martin.

ÉTUDE SUR LES

BARRAGES EN MAÇONNERIE

et Murs de Réservoirs

(suite)

ÉTUDE DES ACTIONS MOLÉCULAIRES DÉVELOPPÉES DANS UN BARRAGE RECTILIGNE

Avant de procéder au calcul des actions moléculaires développées dans un barrage en maçonnerie, nous allons tout d'abord démontrer qu'un pareil barrage peut pratiquement être assimilé à une poutre encastree à une de ses extrémités et libre à l'autre.

Considérons, en effet, une console dont l'un des côtés AC est horizontal, et qui supporte une charge verticale F , (ou un système équivalent de forces verticales), et négligeons provisoirement le poids de cette console. Supposons, en

outre, qu'au lieu d'être encastree directement dans un mur vertical, cette console soit fixée, par des boulons ou des rivets tels que AB, contre une pièce qui, elle, est encastree dans le mur. Si le serrage des boulons est suffisant, tout se passe comme si la console et son encastrement formaient une seule pièce.

La charge verticale F produit, dans la section AB, un moment fléchissant M_1 et un effet tranchant T . Cet effort tranchant tend à cisailer les boulons A et B et à faire glisser la console. Le moment fléchissant produit un effort d'arrachement de l'écrou du boulon A et un effort de compression de la console sur son siège en B. Supposons maintenant que l'on vienne à appliquer sur la console une force horizontale N (ou un système équivalent de forces horizontales). Cette force N va tendre à appliquer la console contre sa pièce d'encastrement, et sa composante en A va diminuer l'effort d'arrachement du boulon A. Si la force N est convenablement choisie, il pourra arriver, que, non seulement

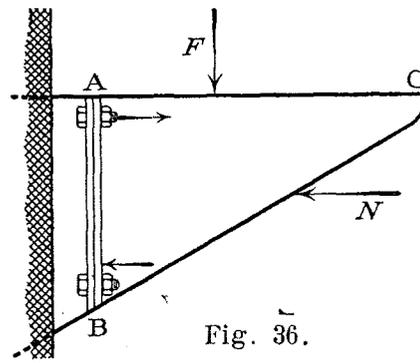


Fig. 36.

cet effort d'arrachement devienne nul, mais même qu'il se transforme à son tour en un effort de compression sur la pièce d'encastrement. Enfin, si la force N est assez grande, le frottement développé en AB pourra être supérieur à l'effort de glissement provoqué, suivant cette section, par

l'effort tranchant T . Si cette double condition est réalisée, il est bien certain que l'on peut enlever les deux boulons A et B, puisqu'ils n'ont plus à supporter aucun effort.

Faisons tourner maintenant toute la figure de 90°, de manière que la console et la force N deviennent verticales, et la charge F horizontale, nous trouvons que cette console représente exactement le cas d'un barrage en charge, la section de jonction AB devenant un joint horizontal quelconque, par exemple la surface de séparation du mur de barrage et du rocher, la pièce d'encastrement devenant le rocher lui-même. Si AB est une section quelconque à mi-hauteur, la partie inférieure du mur remplace la pièce précédente d'encastrement.

Si la force N , qui est ici le poids du barrage, était telle, en grandeur ou position, qu'il subsista encore en A un effort d'arrachement, il faudrait que la résistance des maçonneries à la traction soit suffisante pour compenser cet effort.

Puisqu'un barrage peut être assimilé à une poutre encastree, nous avons tous les éléments nécessaires pour pouvoir déterminer les efforts auxquels le barrage est soumis en chaque point.

En effet, l'état élastique en un point quelconque d'un corps est déterminé lorsqu'on connaît les actions moléculaires qui agissent sur ce point.

Soit M un point quelconque d'une section horizontale d'un barrage; considérons-le comme le sommet d'un parallépipède infiniment petit. L'axe longitudinal du barrage étant supposé rectiligne, et les forces extérieures auxquelles est soumis le barrage, c'est-à-dire son poids et la poussée de l'eau, restant constantes au fur et à mesure qu'on se déplace sur la section horizontale considérée et parallèlement à l'axe de l'ouvrage, les actions moléculaires parallèles à cet axe qui proviennent des forces extérieures