

EXPOSITION DE DUSSELDORF

Les Machines d'extraction Électriques

PAR

V. FIRKET

Ingénieur au Corps des mines à Liège ;
Ingénieur électricien.

[6213 : 62267 (435)]

Les lecteurs des *Annales* connaissent déjà, par une note récente de M. E. Masson, les principales applications de l'électricité à l'art des mines exposées à Dusseldorf (1).

Cette note montre l'importance prédominante des **installations d'épuisement**; les pompes électriques, à marche lente ou à marche rapide, presque toutes à attaque directe, étaient bien représentées à l'Exposition; elles ont au surplus déjà fait leurs preuves et leur succès définitif n'est plus contestable.

Quant au **transport électrique souterrain**, nous n'avons vu à Dusseldorf que deux locomotives, l'une à trolley de la *Benrather Maschinen fabrik A. G.*, l'autre avec accumulateurs de la firme A. Koppel.

Les applications de l'électricité étaient plus nombreuses en ce qui concerne l'**aérage** et nous avons remarqué de petits modèles bien étudiés de ventilateurs, avec moteurs triphasés, convenant très bien pour l'aérage des travaux préparatoires; ils remplaceraient avanta-

(1) L'électricité dans l'art des mines et la métallurgie à l'Exposition de Dusseldorf, en 1902, par le Dr HOFFMANN, traduit et résumé par E. MASSON. *Annales des Mines de Belgique*, t. VII.

geusement les ventilateurs à main et même les Koerting à air comprimé. Il y avait aussi un grand ventilateur Rateau, entraîné par un moteur Hélios ; mais, ces applications n'ont rien de bien nouveau et elles ne présentent pour l'électricien que peu de difficultés à vaincre.

Il est loin d'en être ainsi de la **perforation mécanique**, qui continue à occuper les principales firmes allemandes. Nous ne traiterons cependant pas cet important sujet et nous ne nous occuperons pas davantage de l'intéressante question des **signaux électriques** pour mines, question d'ailleurs résolue par la *Société Siemens et Halske*.

Dans le présent travail, nous donnerons simplement une description succincte des principales machines d'extraction électriques exposées à Dusseldorf ; leur puissance et leur caractère de nouveauté rendent ces machines dignes de l'attention des techniciens.

Pour les douer d'une souplesse suffisante au point de vue de la vitesse et de la puissance, pour leur donner une docilité et une sécurité de fonctionnement parfaites, il a fallu résoudre de sérieuses difficultés ; il était d'autre part essentiel de leur conserver un rendement élevé dans toutes leurs conditions de marche.

En effet, la création de ces machines a été surtout motivée par la consommation exagérée des machines d'extraction à vapeur, consommation qui pourrait atteindre 40 à 50 kilog. de vapeur par cheval et par heure, d'après une estimation du D^r H. Hoffmann (1).

Les nouvelles machines d'extraction électriques sont toutefois très coûteuses et l'avenir seul nous dira si la réduction de la consommation, que l'on prétend abaisser à 15 kilog., sera suffisante pour compenser l'accroissement certain des frais d'amortissement et d'entretien.

Pour l'établissement des stations centrales destinées à alimenter ces machines, il faudra tenir compte des variations considérables de l'énergie absorbée par l'extraction ; si l'on ne peut desservir, par une seule centrale très puissante, un nombre suffisant de machines d'extraction et d'autres moteurs appartenant à plusieurs sièges, la demande d'énergie restera très irrégulière ; les génératrices, qui devront être calculées très largement, ne fonctionneront que rarement à pleine charge et le rendement général de l'installation en souffrira.

Cette irrégularité de la consommation existe également dans les

(1) Les machines de mines dans le bassin de la Ruhr, par H. HOFFMANN, traduit par E. MASSON, *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, 4^{me} livraison.

stations centrales de tramways et l'on y remédie par l'emploi d'une batteries d'accumulateurs, dite *batterie tampon*. Ce moyen a été adopté par la Maison Siemens et Halske, pour sa puissante machine destinée au puits Zollern II de la Gelsenkirchener B. A. G. Divisée en sections, la batterie permet en outre de faire varier la tension aux bornes des moteurs pour le réglage de la vitesse.

Nous décrirons cette machine, de même que celle exposée par *Elektrizitäts A. G.*, anciennement Schuckert et C^o, de Nuremberg, dans son pavillon spécial du Rheinwerft. Toutes deux utilisent les courants continus, de même qu'un gros treuil exposé dans la halle des machines, par la firme L. Soest. Bien qu'il ne soit pas à attaque directe, comme les machines précédentes, ce treuil présente quelques particularités dignes d'être signalées.

Nous consacrerons enfin un paragraphe à la machine polyphasée dont l'*Allgemeine E. G.* présentait des plans et des photographies (1).

Quant à la machine à engrenages de la mine Germania, dont la Société Hélios exposait les plans, elle a été décrite par le *Glückauf* (2), de même que plusieurs treuils qui présentent des dispositions de sûreté intéressantes; ces treuils, très recommandables pour l'exploitation par vallées, sont trop connus pour que nous nous en occupions davantage.

Machine pour le puits Zollern II, de la « Gelsenkirchener B. A. G. ».

Construite par la *Bergwerksverein Friedrich Willehmshütte*, de Mülheim, avec le concours de la Société *Siemens et Halske* pour la partie électrique, cette machine était exposée, en fonctionnement, dans le bâtiment des mines.

Elle constitue une nouvelle application, plus puissante, de la disposition déjà utilisée par la firme Siemens et Halske, dans la machine de Thiederhall, dont une description détaillée extraite du *Glückauf*, a été donnée par M. Masson dans cette revue (3).

(1) Un article du Dr H. HOFFMANN, donnant une description détaillée des mêmes machines, est en cours de publication dans le *Zeitschrift des vereines deutscher Ingenieure*; nous en avons eu connaissance alors que notre travail était presque achevé.

(2) *Glückauf*, n^o 42, 1901.

(3) Voir *Glückauf*, 9 juin 1900, et *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 65.

Toutefois, la machine à tambour de Thiederhall, destinée à un sous-bure, extrait de la profondeur de 200 mètres une charge utile de 800 kilog., à la vitesse de 6 mètres par seconde ; tandis que l'installation nouvelle destinée au puits de Zollern II de la Gelsenkirchener B. A. G., doit élever de 500 mètres de profondeur une charge de 4,200 kilog., à une vitesse variant de 10 à 20 mètres par seconde.

Nous empruntons au *Glückauf*, deux photographies (fig. 1 et 2) montrant l'ensemble de cette intéressante installation, qui comporte deux électro-moteurs pour courant continu à 500 volts, calés sur l'arbre d'une poulie Koepe de 6 mètres de diamètre

La machine est représentée en plan et en coupe, avec ses appareils accessoires, dans les figures 3 et 4 ; la figure 5 donne un schéma des connexions électriques y compris les génératrices et la batterie d'accumulateurs.

Chacun des moteurs peut fournir 1,400 chevaux ; le travail utile à la vitesse maxima de 20 mètres est d'autre part de 1,120 chevaux ; l'extraction totale peut atteindre 2,700 tonnes, en 16 heures.

Suivant que les moteurs fonctionnent en série ou en dérivation, on réalise les vitesses de 10 et de 20 mètres ; on dispose, pour le démarrage et le réglage de la vitesse, des rhéostats et des commutateurs figurés dans le schéma ; celui-ci mentionne les divers couplages possibles ; l'on y voit aussi le servo-moteur à air comprimé, qui commande le levier des rhéostats.

Quant aux faibles vitesses, pouvant descendre jusqu'à 0^m30 par seconde, nécessaires notamment lors de la visite du puits, on les obtient par la mise en circuit des diverses sections de la batterie et par la variation de l'excitation du champ magnétique des moteurs. L'augmentation du voltage résulte de l'adjonction successive des divers groupes de la batterie, entre lesquels sont intercalés de petits rhéostats ; ils sont mis en circuit alternativement de gauche à droite et de droite à gauche, afin d'épuiser les différentes sections d'une façon uniforme ; quelques éléments placés aux extrémités de la batterie sont uniquement utilisés lors des manœuvres.

Les appareils de sécurité, le frein notamment, présentent un intérêt tout spécial ; ils sont visibles dans les figures 3 et 4. Le frein à sabot peut être actionné soit par un cylindre à air comprimé, soit à la main, soit automatiquement par l'appareil de sûreté, système Baumann ; qui déclanche un contrepoids agissant sur la vis de serrage du frein.

L'air comprimé, utilisé pour le servo-moteur et le cylindre du

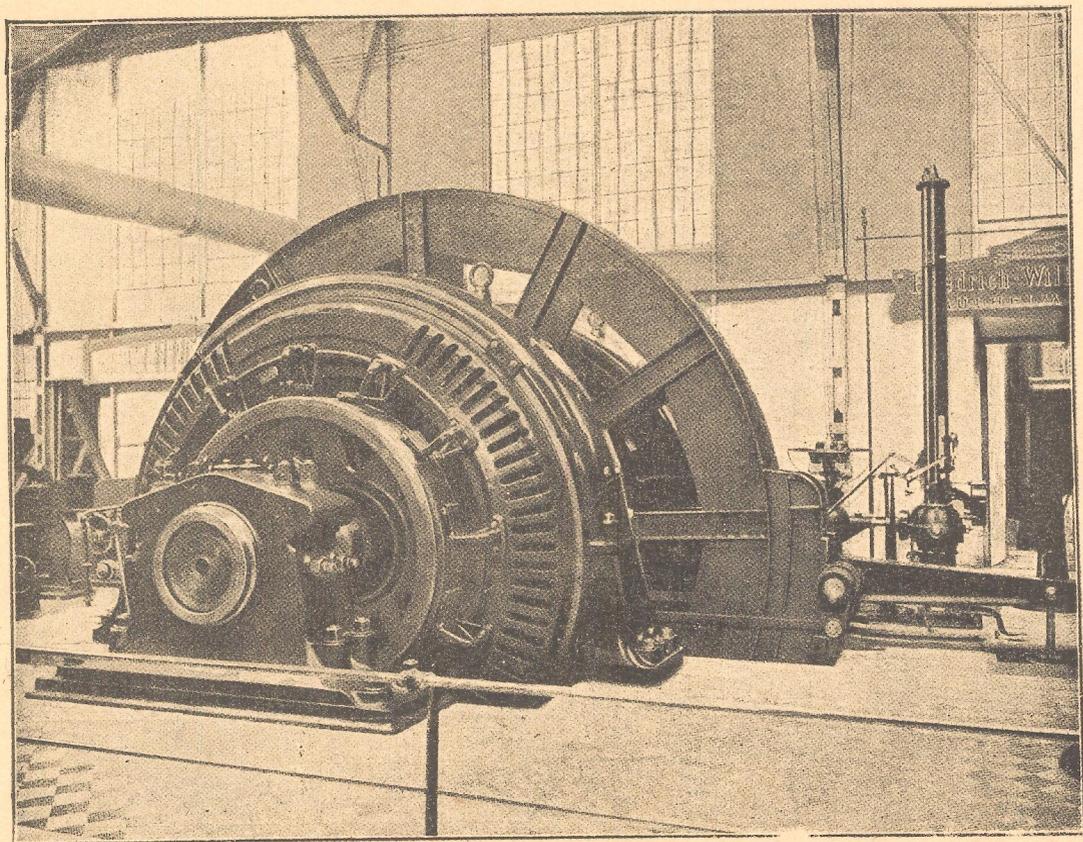


FIG. 1. — MACHINE DU Puits ZOLLERN II. — *Vue de côté.*

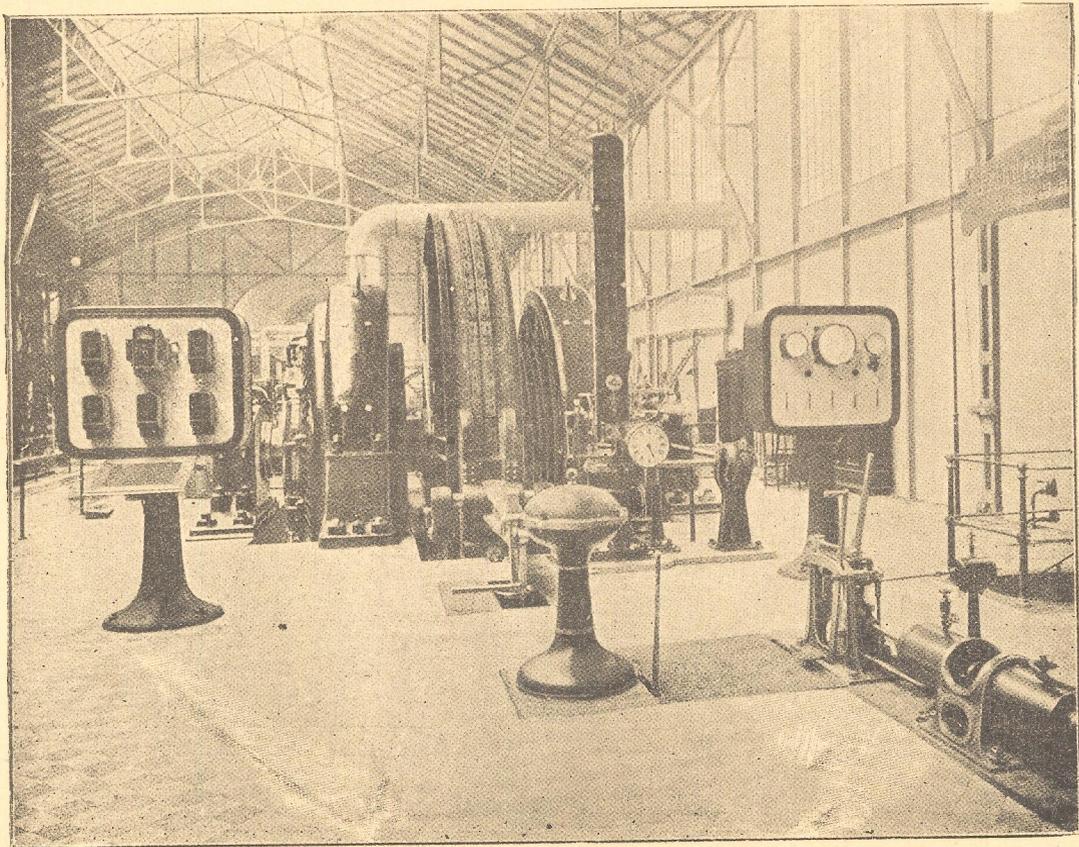
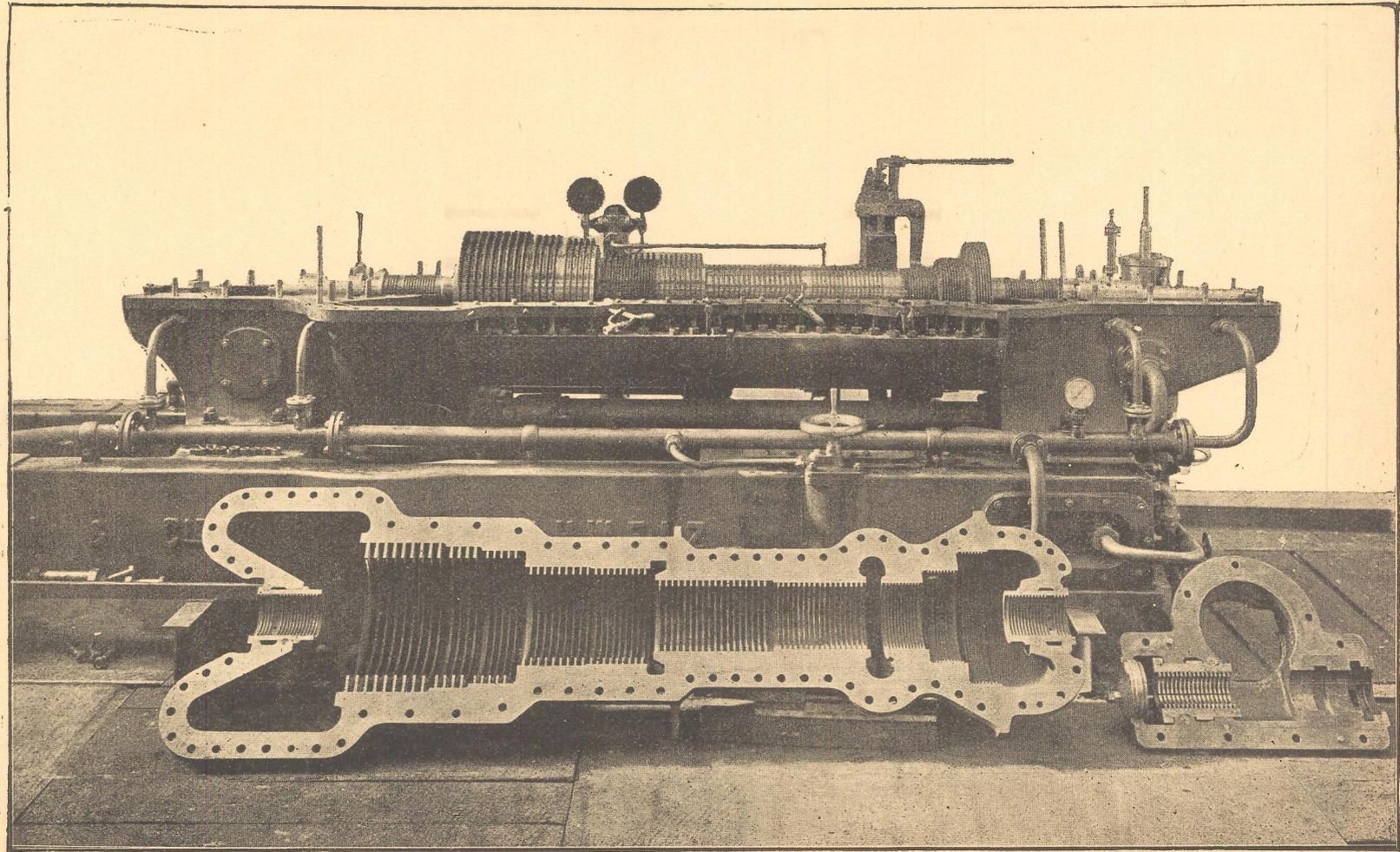


FIG. 2. — MACHINE DU Puits ZOLLERN II. — *Vue prise de l'arrière.*



TURBINE A VAPEUR AVEC LE COUVERCLE ENLEVÉ.

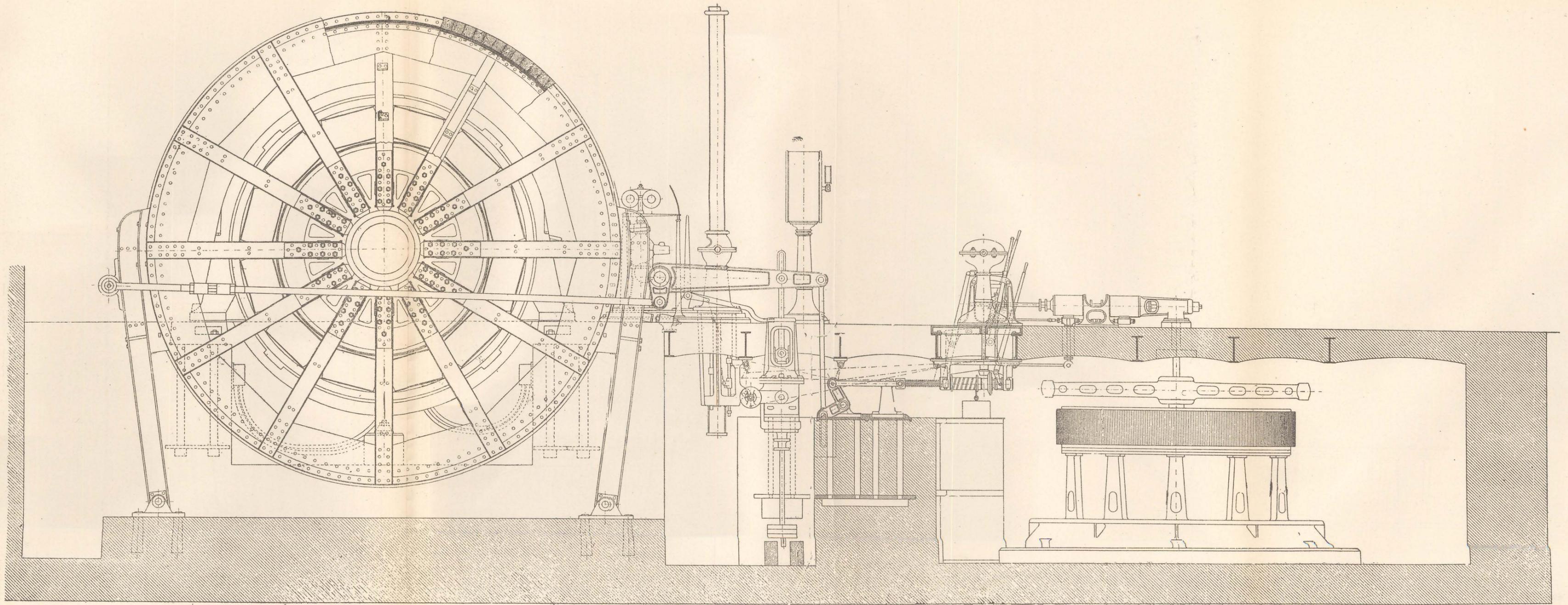


FIG. 3.

Machine pour le puits Zollern II.

Coupe verticale.

frein, est emmagasiné dans un petit réservoir par un compresseur avec moteur spécial ; le tout est indiqué au plan de la figure 3.

Le levier du frein ne peut être manœuvré qu'après la rupture du

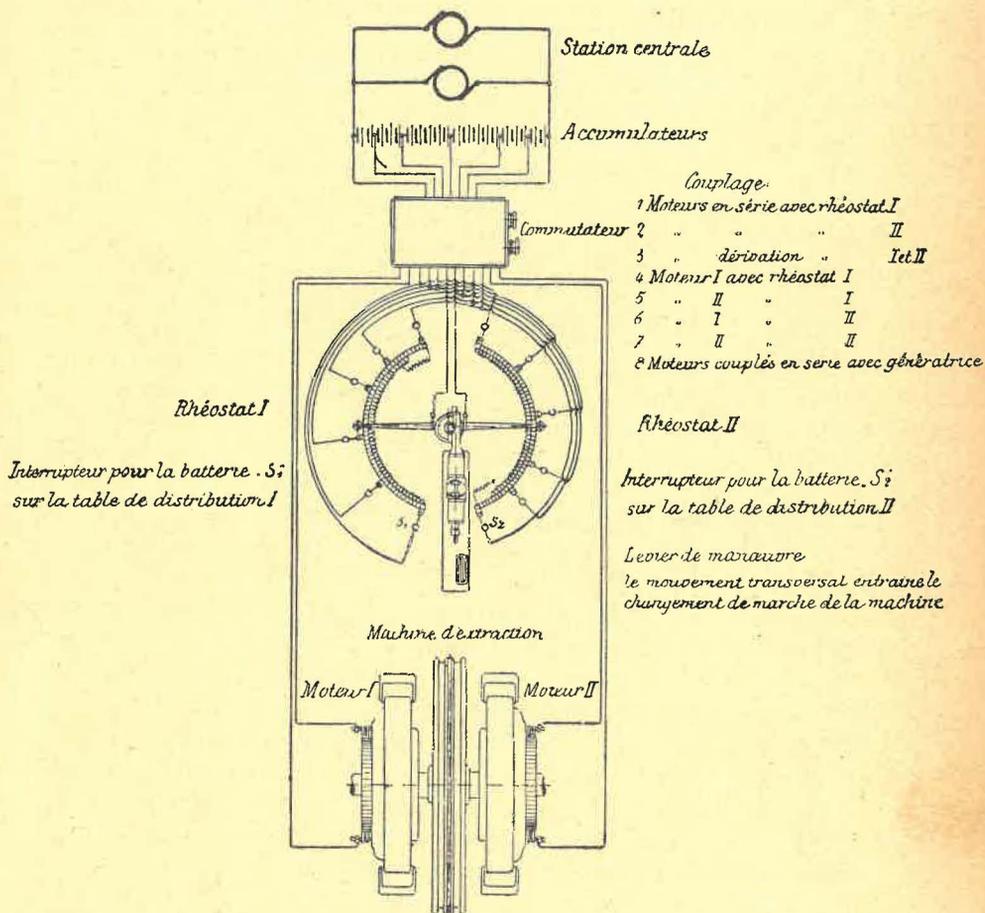


FIG. 5. — Schéma des connexions.

courant ; celui-ci est d'autre part interrompu automatiquement, lorsque la cage approche de la recette supérieure.

Nous ne ferons que mentionner l'indicateur de la marche des cages,

placé sous les yeux du machiniste, de même qu'un ampèremètre; derrière lui, se trouvent le servo-moteur et le commutateur, tandis que les rhéostats, le tableau de distribution et les appareils accessoires sont logés sous le plancher de manœuvre.

D'après les renseignements recueillis à Dusseldorf, le prix de l'installation complète exposée est de 250,000 marks, soit 312,500 francs, y compris la batterie d'une capacité de 500 ampères-heure. Cette batterie, qui a coûté 50,000 francs, a été fournie par la Compagnie Tudor. Moyennant une redevance annuelle de 2,500 francs, cette Compagnie en a accepté l'entretien pendant 10 ans.

Cette redevance est relativement peu élevée; par contre, l'immobilisation nécessitée par l'installation qui vient d'être décrite est bien supérieure à celle qu'entraînerait une machine à vapeur de même puissance.

On espère, il est vrai, réduire la consommation de vapeur à 14 kilog. par cheval effectif; mais, la diminution de la consommation de charbon suffira-t-elle à compenser la plus-value considérable des frais d'amortissement et d'entretien? C'est ce que l'expérience seule pourra nous apprendre.

Machine d'extraction de la firme « Schuckert et C^o », de Nuremberg.

Cette machine, qui constituait l'attraction principale du pavillon spécial élevé en dehors de l'Exposition par la firme *E. A. G. V. Schuckert et C^{ie}*, comporte comme la précédente deux moteurs à courant continu attaquant directement une poulie motrice, genre Koepe; il convient d'y distinguer la partie mécanique, œuvre de M. Buschmann, et la partie électrique due à la Maison Schuckert.

Le câble plat de 70 ^m/_m de largeur et 16 ^m/_m d'épaisseur, passe sur trois poulies à friction dont la disposition est clairement montrée par les figures 6 et 7; le diamètre de ces poulies n'étant que de 2^m500, il doit en résulter une certaine fatigue du câble; le constructeur affirme toutefois avoir obtenu de bons résultats avec un câble rond de 25 ^m/_m, en fils d'acier de 2 ^m/_m, sur une poulie de 2^m430; d'autre part, la légèreté relative des masses en mouvement, constitue un avantage précieux lors du démarrage.

Dans le même ordre d'idées, nous signalerons la position des paliers, d'où il résulte un porte à faux des moteurs, en remarquant

que ces critiques ne s'adressent pas à la partie électrique, qui nous intéresse plus spécialement. Avant de l'aborder, nous mentionnerons encore que la machine est construite pour une charge utile de 1,400 kilog. à élever de 400 mètres de profondeur à la vitesse maxima de 15 mètres, ce qui donne un travail utile de 280 chevaux.

Chacun des deux moteurs a une puissance de 300 chevaux; d'autre part, ils peuvent réaliser toutes les vitesses entre 0 et 15 mè-

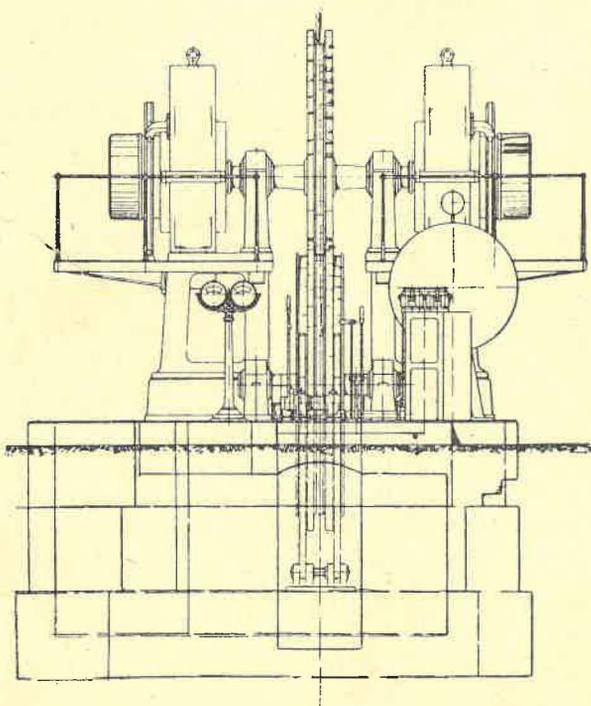


FIG. 6.

tres, grâce à une disposition donnée schématiquement par la figure 8.

En vue d'obtenir un couple de démarrage puissant, les deux électromoteurs de la machine d'extraction sont excités sous la tension constante de 500 volts, tandis qu'un groupe accessoire de deux dynamos *A* et *B* accouplées, fait varier la tension aux bornes des inducts des moteurs entre 0 et 1,000 volts.

Le schéma montre que ces inducts sont montés en série avec

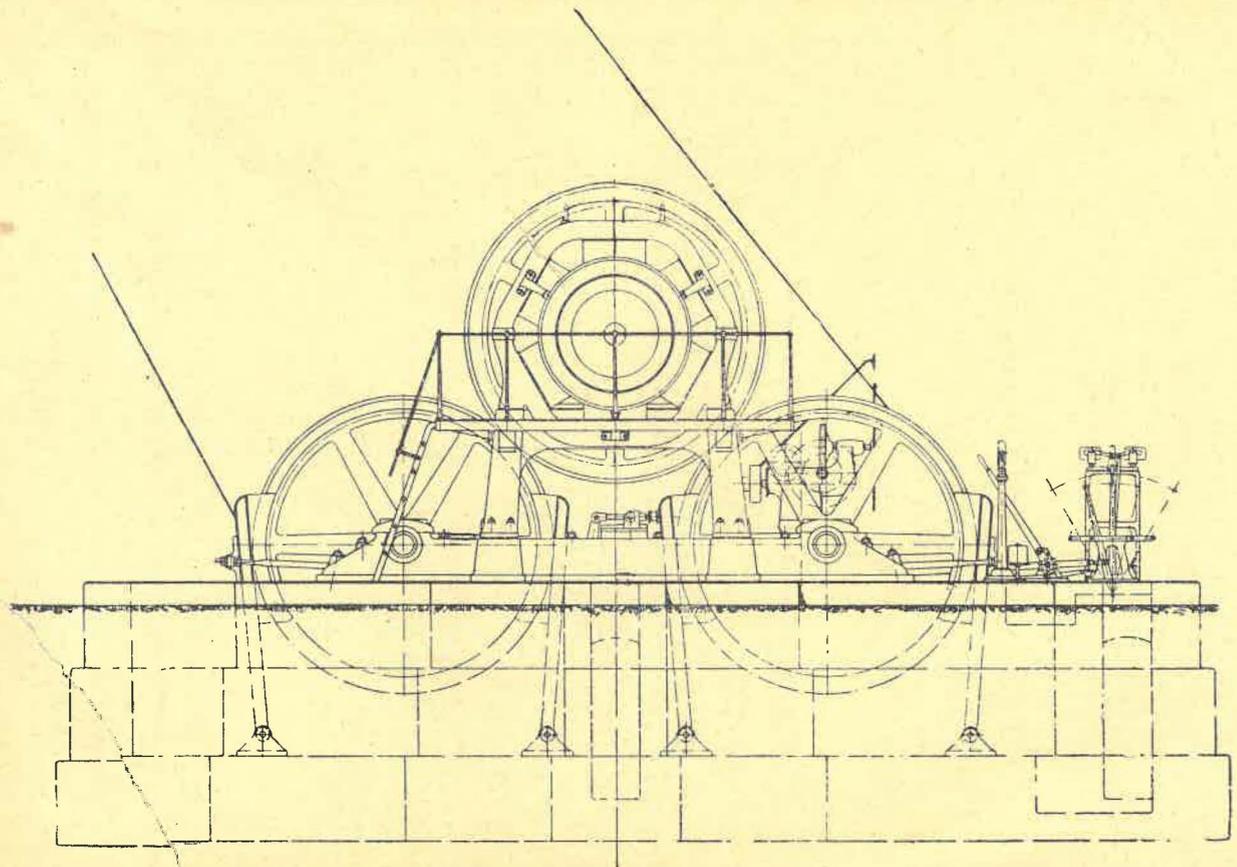


FIG. 7.

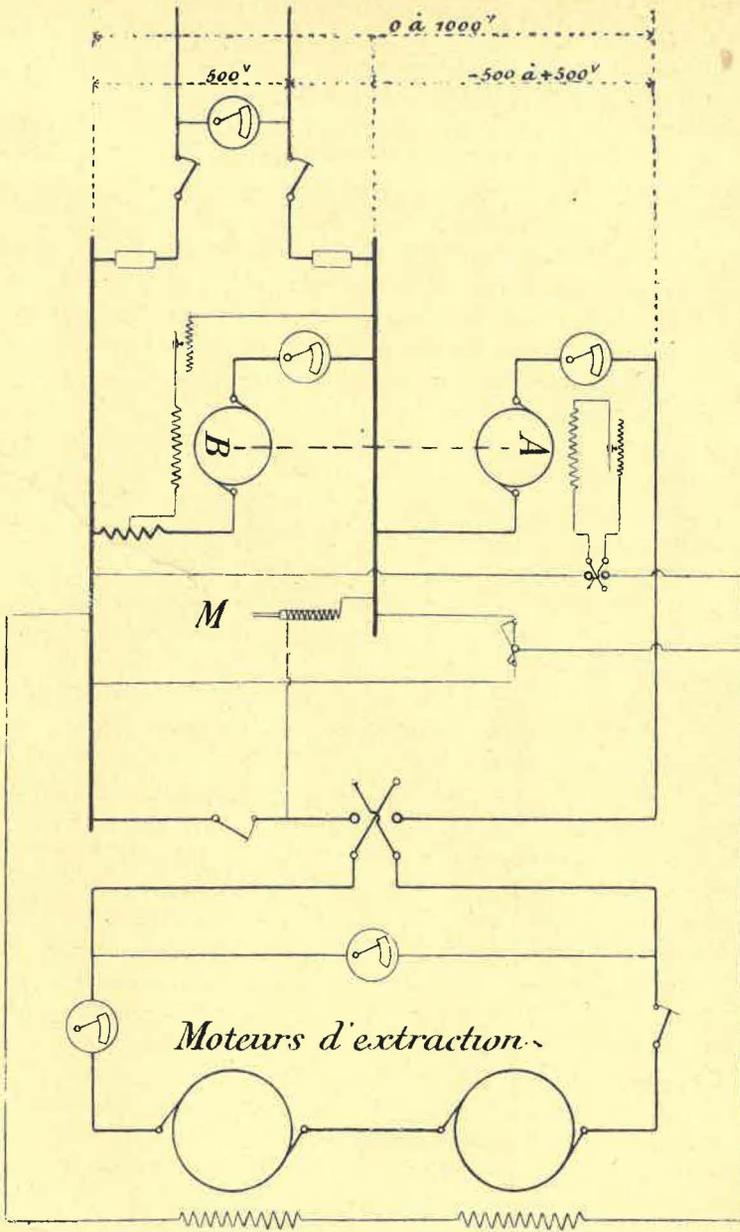


FIG. 8.
Machine Schuckert. — *Disposition schématique.*

celui de la machine *A* ; l'induit de *B* est dérivé sur le circuit principal à 500 volts et possède un rhéostat de démarrage ; l'on peut, d'autre part, régler le champ magnétique de *A* de façon à faire varier le sens et la valeur de la force électromotrice de cette machine qui, fonctionnant à volonté comme moteur ou comme générateur, affaiblit ou renforce la tension aux bornes des moteurs de la machine d'extraction, dont la vitesse est ainsi réglée sans qu'il soit nécessaire d'introduire des résistances dans le circuit principal. L'énergie absorbée par *A* est positive ou négative ; elle est restituée ou empruntée au réseau par *B*, diminuée ou augmentée des pertes du groupe *AB* ; celui-ci tournant constamment, ces pertes ne cessent d'absorber une quantité de travail assez notable, qui doit influencer défavorablement le rendement ; la garantie de consommation est toutefois de 15 kilog. de vapeur par cheval utile.

L'installation peut être complétée par une batterie d'accumulateurs, en vue de diminuer la puissance des groupes générateurs ; toutefois, contrairement à ce qui caractérise la machine Siemens et Halske, cette batterie n'est pas utilisée pour le réglage de la tension et par suite de la vitesse ; ce réglage est en effet réalisé par les dynamos accessoires *A* et *B*.

Comme appareils de freinage et de sécurité, il existe un double frein à sabot sur chacune des deux poulies à friction inférieures et un dispositif de sûreté système Schlüter.

Le frein peut être serré au moyen d'un cylindre à air comprimé ou par un contrepoids dont le déclanchement est provoqué soit par le machiniste au moyen d'une pédale, soit par l'appareil de sûreté, lorsque la vitesse dépasse le maximum fixé ou lorsqu'on atteint les limites de la course, soit enfin par un dispositif magnétique *M* fonctionnant en cas d'interruption accidentelle du courant.

Le levier qui agit sur le cylindre à air comprimé du frein est enclanché avec le levier de démarrage, de telle façon que le machiniste ne peut mettre en marche qu'après avoir ouvert le frein.

L'appareil Schlüter comporte un indicateur de la marche des cages, avec sonnette d'alarme et évite-molettes, une disposition contrôlant la régularité de la vitesse et limitant celle-ci ; enfin, un moyen de retarder la marche automatiquement à l'approche des niveaux de recette.

**Machine à tambour de « Louis Soest et C^o ».
à Dusseldorf-Reisholz.**

Cette machine était exposée dans la halle des machines; nous empruntons au *Glückauf* la coupe de la fig. 9. Capable d'élever de 450 mètres, une charge utile de 1,000 kilog. à une vitesse moyenne de 3^m80, elle comporte un seul moteur Lahmeyer pour courant continu sous 440 volts, d'une puissance maxima de 160 chevaux. Ce moteur attaque par un double jeu d'engrenages le tambour cylindrique, qui peut recevoir les vitesses suivantes :

1^o 5 mètres, vitesse maximum d'extraction, obtenue par la mise en série des inducteurs ;

2^o 2 mètres, vitesse de translation du personnel, réalisée en mettant les différentes bobines du circuit inducteur en dérivation, ce qui a pour conséquence d'augmenter le flux et la force contre-électromotrice ;

3^o Pour la visite du puits, le moteur est alimenté par un courant de 10 à 15 volts dû à un transformateur rotatif, qui absorbe 7 1/2 ampères à 450 volts et fournit 135 ampères à la basse tension précitée.

La machine possède trois freins à bande; le premier, à pédale, est placé sur l'arbre de l'électromoteur; les deux autres agissent sur le tambour au moyen d'une vis et d'un contrepoids avec déclanchement magnétique, en cas de rupture du courant.

Cette rupture est également réalisée automatiquement lors du serrage du premier frein.

**Machine du puits n^o 1 de Preussen II,
de l' « Allgemeine E. G. »**

La firme *Allgemeine E. G.*, qui termine actuellement, au siège Preussen II, le montage d'une importante installation d'extraction basée sur l'emploi des courants triphasés à 2,000 volts, en présentait les plans dans la halle des mines.

Un moteur unique, monté sur l'arbre de la poulie Koepe, ainsi

qu'on le voit dans le schéma de la figure 10, peut extraire de la profondeur de 700 mètres une charge utile de 2,200 kil à la vitesse de 16 mètres; la poulie a 6 mètres de diamètre et le câble est rond comme dans la machine de Siemens et Halske.

La vitesse, qui est réduite à 6 mètres pour la translation du personnel, est réglée par un rhéostat liquide introduit dans le circuit de l'induit. Une vanne met en communication les deux compartiments de ce rhéostat; lorsqu'elle est fermée, une pompe centrifuge actionnée par un moteur à 190 volts, alimenté par un transformateur, remplit rapidement le compartiment renfermant les lames; la résistance décroît et la vitesse du moteur augmente.

Le levier de manœuvre en agissant sur cette vanne règle la vitesse; ce même levier commande le commutateur inverseur, qui renverse le sens du courant dans deux des circuits de l'inducteur.

Un frein ordinaire à sabots agit sur la jante de la poulie Koepe; il est actionné par l'air comprimé au moyen d'un levier, ou par la pédale qui déclanche un contrepoids et en même temps coupe le courant principal.

Ce frein fonctionne, d'autre part, automatiquement aussi bien par l'action du contrepoids que de l'air comprimé, lorsque le courant fait défaut ou lorsqu'entre en jeu l'appareil de sécurité, système Hahn, dont la description a été donnée par le *Glückauf* (1).

Un enclanchement par tiges rigides, figuré au schéma de la figure 9 amène la rupture du courant avant le serrage du frein.

D'autre part, un démarrage trop rapide est rendu impossible par la disposition employée; en effet, en manœuvrant son levier, le mécanicien peut fermer plus ou moins rapidement la vanne du rhéostat; mais celui-ci, en se remplissant de liquide, ne peut réduire que progressivement la résistance des circuits de l'induit.

La disposition adoptée par l'*Allgemeine* est évidemment plus simple, grâce à l'emploi du courant triphasé, que celles des machines à courant continu; elle entraîne, toutefois, une certaine perte d'énergie dans le rhéostat lors du démarrage et pendant les manœuvres.

Pour se prononcer sur l'efficacité et l'économie de cette disposition, il faut attendre les résultats des essais qui seront faits au siège Preussen II.

Un projet d'installation de quatre machines du même système, pour

(1) *Glückauf*, n° 21, fig. 7.

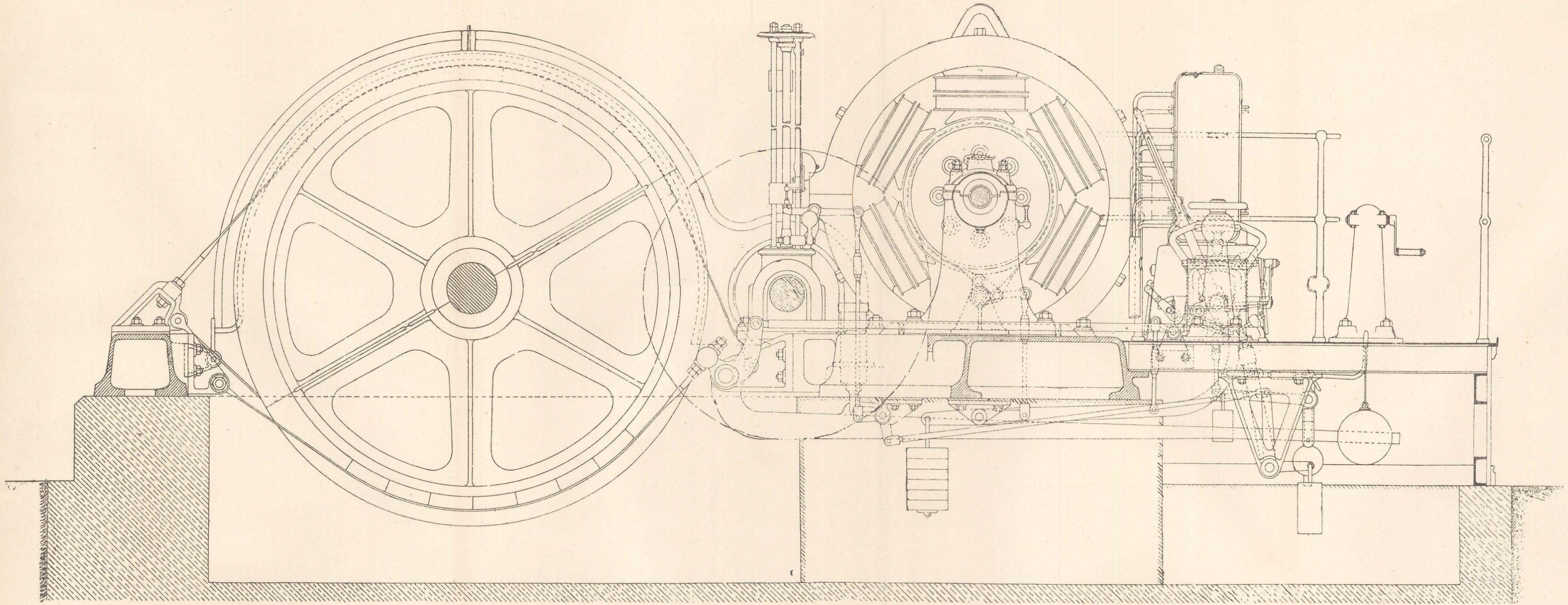


FIG. 9.

Machine de Louis Soest et C^o.

Coupe verticale.

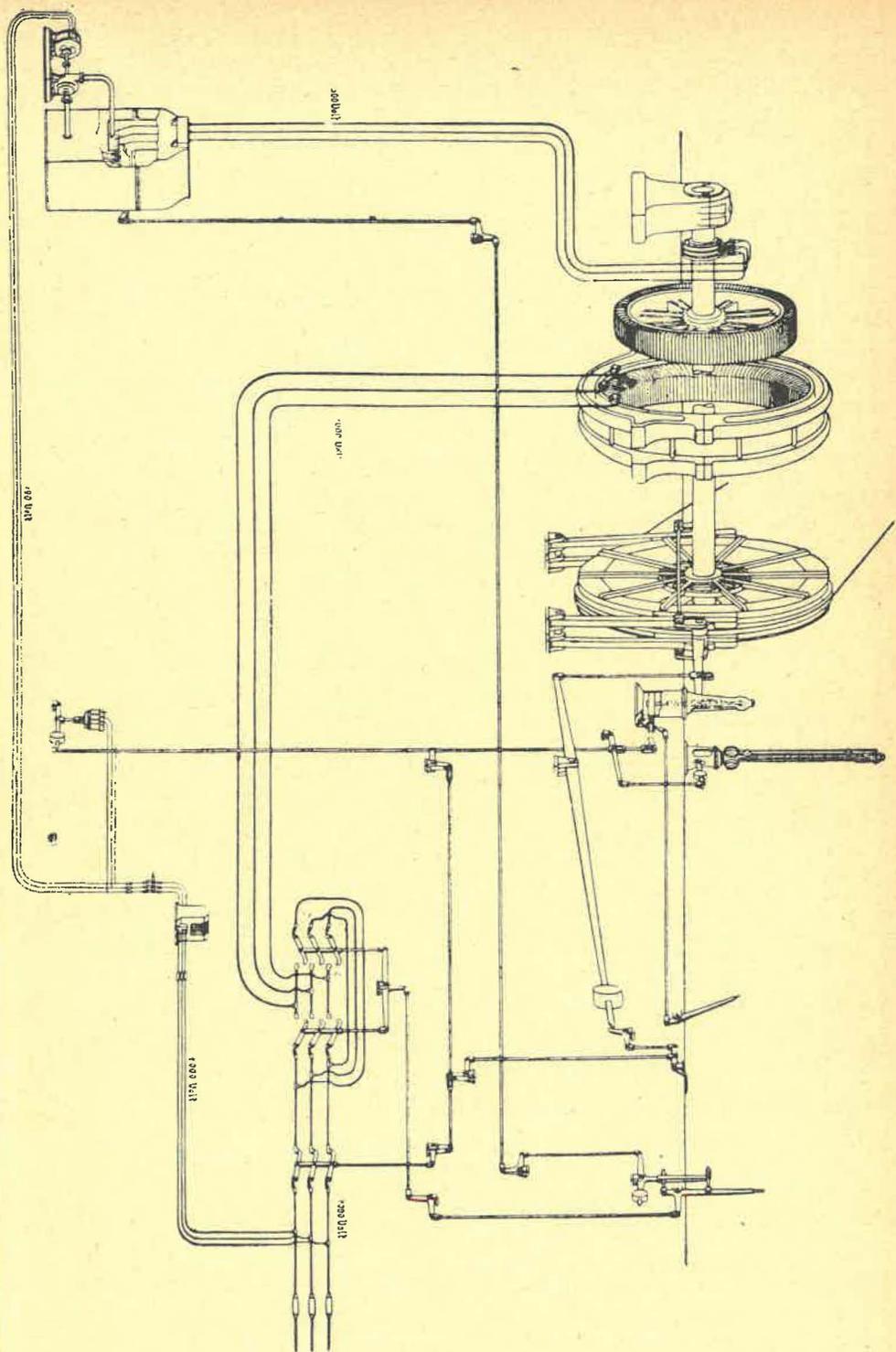


FIG. 10. — *Disposition schématique de la machine de l'Allgemeine E. G.*

le Charbonnage du Grand-Hornu, serait à l'étude si nous sommes bien renseignés.

Alors que les machines que nous venons de décrire n'ont pas encore reçu la sanction de la pratique, il serait prématuré de tirer des conclusions trop absolues d'une comparaison entre les divers systèmes d'extraction électrique exposés à Dusseldorf.

Dans son état actuel, la question de l'extraction électrique ne peut être considérée comme résolue; c'est pourquoi nous n'ajouterons aux descriptions précédentes que quelques considérations d'ordre général.

Nous avons déjà rappelé la grande irrégularité du travail absorbé par les machines d'extraction; nous mentionnerons à ce sujet les diagrammes de la puissance utile, publiés par le D^r Hoffmann dans un article récent (1); pour une machine à tambour extrayant 4,300 kilog. de charge utile, de 383 mètres de profondeur, en 48 secondes, avec des pauses de 50 secondes, la puissance maxima étant de 3,300 chevaux, la puissance moyenne est de 610 chevaux pendant l'extraction et de 300 chevaux pauses comprises.

Une des conséquences de cette irrégularité, c'est que l'on ne pourra éviter l'usage encombrant et coûteux d'une batterie tampon que dans les installations comprenant un nombre suffisant de machines dépendant d'une même centrale.

Des diagrammes dressés par le même auteur, en ce qui concerne la machine du puits Zollern, donnent l'énergie électrique consommée pour les vitesses maximum de 20 et de 10 mètres; ils montrent très clairement l'influence du travail nécessaire au démarrage pour imprimer aux masses en rotation une vitesse croissante, c'est-à-dire, pour augmenter leur force vive.

C'est ainsi que la vitesse de 20 mètres n'est atteinte qu'au milieu de la course et après une consommation qui s'élève à 80 p. c. de l'énergie totale absorbée pendant une course complète. Cela montre combien il importe de réduire au minimum le poids des masses en rotation; or, pour les machines à attaque directe, ces masses comprennent les induits des électromoteurs. Pour réduire le poids des induits, les constructeurs ont augmenté le nombre des pôles et ont admis des coefficients d'induction spécifique très élevés. Schückert a d'autre part, diminué le poids des masses en mouvement en adoptant

(1) *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 25 octobre 1902.

des poulies de faible rayon ; mais cela est peu compatible avec la conservation des câbles et exclut pour ceux-ci l'emploi de l'aloès.

Quant aux moyens employés pour le réglage de la vitesse, ils sont nombreux ; nous examinerons ci-dessous les divers systèmes possibles, pour les courants continus et pour les courants alternatifs ; d'une façon générale, tous ces systèmes occasionnent des pertes d'énergie que l'on doit rendre aussi petites que possible.

Dans les moteurs continus en dérivation, on ne peut modifier le champ que dans des limites assez restreintes, par des résistances intercalées dans le circuit inducteur ; on doit donc recourir à une variation du voltage aux bornes, soit par un rhéostat, qui donne des pertes par effet Joule, soit par une batterie d'accumulateurs sectionnée. Cette disposition, adoptée par Siemens et Halske, exige un appareillage assez compliqué et des plots de contacts énormes, où se produisent de fortes étincelles ; une batterie d'accumulateurs est, d'autre part, un accessoire encombrant, coûteux et qui demande des soins et un entretien constants. Au surplus, il est peu pratique de faire dépendre l'extraction d'un organe tel qu'une batterie d'accumulateurs, qui ne possède pas la simplicité et la robustesse indispensables dans les installations de mines.

La machine de Schuckert échappe à cette critique, puisqu'elle peut fonctionner sans batterie ; par contre, on doit lui reprocher l'existence de deux dynamos accessoires ayant une puissance égale à la moitié de la puissance des moteurs d'extraction. Il en résulte une augmentation notable du coût de l'installation et des frais d'entretien, ainsi qu'une réduction du rendement ; en effet, les machines accessoires, qui fonctionnent sans arrêt, donnent lieu à des pertes par frottements, hystérésis et courants de Foucault.

D'autre part, les courants continus se prêtent mal à la distribution à distance de l'énergie produite par une station centrale ; or, l'application de l'électricité à l'extraction s'imposera surtout lorsque, par la création d'une puissante centrale, on cherchera à desservir tous les moteurs de plusieurs sièges d'exploitation assez éloignés les uns des autres.

Dans une telle centrale, la demande d'énergie sera assez régulière ; on y réalisera une concentration avantageuse de tous les services et le rendement des génératrices pourra y rester fort élevé.

Il sera très avantageux d'y adopter les courants polyphasés à haute tension, ce qui rend spécialement intéressante la machine construite par l'*Allgemeine E. G.* pour le siège Preussen ; cette machine, qui

utilise les courants triphasés, constitue d'ailleurs une solution très simple du problème de l'extraction électrique.

Des pertes par effet Joule sont, il est vrai, inévitables dans le rhéostat liquide mis en circuit avec le rotor ; mais elles se produiront surtout au démarrage et lors des manœuvres ; elles pourront donc n'avoir que peu d'influence sur le rendement, si la profondeur d'extraction est suffisamment grande.

Quoi qu'il en soit, tous ceux qui s'intéressent à l'application aux machines d'extraction de l'énergie électrique, attendent avec quelque impatience les résultats des essais qui auront lieu prochainement à Preussen ; le montage de la machine que nous avons décrite s'y poursuit et sa mise en marche ne tardera plus longtemps.

Décembre 1902.

