

4389P

D. CARNEGIE-S.C. GLADWIN ET E. BAZIN

L'ACIER
SA FABRICATION
SON PRIX DE REVIENT

ECOLE CENTRALE DE LILLE



D0000004893

PARIS & LIÈGE

CH. BÉRANGER EDITEUR



L'ACIER

SA FABRICATION
SON PRIX DE REVIENT

A LA MÊME LIBRAIRIE

- Métallographie.** — *Introduction à l'étude de la structure des métaux principalement à l'aide du microscope*, par Arthur H. HORN. Traduit et augmenté par E. BAZIN, ingénieur-chimiste diplômé 9 fr.
- Analyses des Matériaux d'Acieries**, par HARRY BREARLEY et Fred IBBOTSON. Traduit et augmenté par E. BAZIN, ingénieur-chimiste diplômé. . . 25 fr.
- Les Ciments de Laitier, type Portland**, par E. BAZIN, ingénieur-chimiste diplômé (*Nouvelles Annales de la Construction*, mars, avril, mai, juin, juillet, août, septembre et octobre 1904) 14 fr.
- Fabrication des Tuyaux en ciment**, par E. BAZIN, ingénieur-chimiste diplômé (*Nouvelles Annales de la Construction*, avril, mai, juin, juillet, août et septembre 1912). 12 fr.
-

DU MÊME AUTEUR :

- Notes sur la fusibilité des cendres des combustibles.** *Revue générale de chimie pure et appliquée*, décembre 1903.
- Notes sur le pouvoir évaporatoire des combustibles.** *Revue générale de chimie pure et appliquée*, février 1904.
-

LABORATOIRE D'ANALYSES INDUSTRIELLES

E. BAZIN

Ingénieur-chimiste métallurgiste.

2, rue de Toul, NEUVES-MAISONS (Meurthe-et-Moselle).

Analyses des Fontes,
Ferros, Alliages, Combustibles, Sables, Charbons, Fondants, etc.
Arbitrages — Réceptions — Expertises
Travaux forfaitaires d'analyses — Envoi du tarif sur demande.

L'ACIER

SA FABRICATION

SON PRIX DE REVIENT

PAR

DAVID CARNEGIE

F. R. S. E., M. Inst. C. E., M. I. Mech. E., M. I. S. Inst.
Ingénieur-conseil en matières d'aciéries, Londres.
Ex-directeur de l'atelier des obus, manufactures de l'artillerie, Arsenal de Woolwich;
Directeur technique de la Hadfield Steel Foundry Co, Ltd, Sheffield;
puis ingénieur-conseil (et directeur général de la fonderie d'acier)
de MM. Samuel Osborn and Co., Ltd, Sheffield.

EN COLLABORATION AVEC :

SIDNEY. C. GLADWYN

Wh. Ex., A. M. Inst. C. E. (Lauréat du prix Bayliss).
Ingénieur-conseil, Londres.
Anciennement à la section royale des affûts, manufactures de l'artillerie, Arsenal de Woolwich
et chef du bureau des études de MM. Samuel Osborn and Co., Ltd, Sheffield.

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR

E. BAZIN

Ingénieur-chimiste métallurgiste I. C. N.
Laboratoire d'analyses industrielles de Neuves-Maisons (M.-et-M^{lle}).



Avec 10 planches hors texte et 252 gravures dans le texte.

PARIS ET LIÈGE
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1915

Tous droits réservés.

L. A. G. R. B.

SA REUNION

SAN JUAN DE LOS RIOS

DAVID CARNEGIE

EDWIN S. GLADWIN

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DE L'AUTEUR.	XIII
AVANT-PROPOS DU TRADUCTEUR.	XVII

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

CHAPITRE II

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LA FABRICATION DE L'ACIER

SECTION I

Minerais de fer.

Dépôts de minerais de fer. — Analyses des minerais de fer. — Prix des minerais de fer. — Emplois des minerais de fer	9
--	---

SECTION II

Fonte.

Analyses des fontes. — Prix de la fonte. — Prix de vente de la fonte.	14
---	----

SECTION III

Matériaux réfractaires.

Classification des matériaux réfractaires.	21
<i>Matériaux siliceux.</i> — Description générale. — Substances nuisibles dans les argiles employées comme argiles réfractaires. — Analyses des briques argileuses et des briques de silice. — Ganister. — Dilatation et contraction des briques réfractaires. — Prix des matériaux réfractaires siliceux	22
<i>Matériaux basiques.</i> — Description générale. — Dolomie. — Briques de dolomie. — Magnésite. — Briques de magnésite. — Emplois de la magnésite. — Bauxite. — Alundum. — Chromite. — Briques de chrome. — Calcaire. — Classification des matériaux réfractaires.	27
<i>Electrodes pour fours électriques.</i> — Electrodes en charbon amorphe. — Electrodes en graphite. — Prix des électrodes	35

SECTION IV

Fondants.

Calcaire. — Prix du calcaire. — Chaux. — Prix de revient de la chaux. — Spath-fluor	38
---	----

SECTION V

Combustible et force électrique employés dans la fabrication de l'acier.

Production mondiale de la houille. — En Amérique. — En Allemagne. — Autres pays. — Emplois de la houille. — Valeur calorifique des houilles. — Coke. — Combustibles liquides. — Valeur calorifique du pétrole. — Production mondiale du pétrole. — Gaz naturel. — Prix de la force électrique	41
---	----

SECTION VI

Ferro-alliages.

Classification des ferro-alliages. — Fabrication des ferro-alliages,	52
<i>Particularités et analyses des ferro-alliages.</i> — Spiegeleisen. — Ferro-manganèse. — Ferro-silicium. — Ferro-silico-aluminium. — Silico-manganèse. — Ferro-chrome. — Ferro-tungstène. — Ferro-molybdène. — Ferro-vanadium. — Ferro-titane. — Ferro-nickel. — Ferro-phosphore. — Alliages divers	53

PREMIÈRE PARTIE

LE PROCÉDÉ AU CREUSET

CHAPITRE III

FABRICATION DE L'ACIER AU CREUSET

Historique. — Remarques générales. — Fabrication de l'acier au creuset. — Réactions chimiques du procédé au creuset.	65
--	----

CHAPITRE IV

L'ÉVOLUTION DU FOUR A CREUSETS

Usages très anciens des creusets. — Four Huntsman. — Fours chauffés au coke utilisant la chaleur perdue. — Four à creusets multiples — Four à creusets à récupération de Siemens. — Revêtements perfectionnés pour les fours à creusets. — Cubilot et procédé au creuset combinés. — Four à creusets oscillant. — Four à creusets de Siemens chauffé au gaz. — Four à creusets à combustible liquide. — Fours à creusets modernes chauffés aux huiles lourdes. — Application du gaz à l'eau aux fours à creusets. — Economie dans l'entretien des fours. — Four chauffé au gaz de Dawson, Robinson et Pope. — Matériel pour retirer les creusets des fours. — Perfectionnements dans les fours portatifs. — Dessin d'un four perfectionné à combustible liquide. — Four à creusets à récupération avec double laboratoire. — Fours à creusets à tirage forcé. — Fours oscillants chauffés à l'huile lourde. — Four oscillant à récupération chauffé à l'huile lourde. — Fours à creusets Siemens chauffés au gaz. — Fours à creusets chauffés à l'anthracite. — Fours à creusets chauffés au gaz naturel. — Considérations générales sur le tracé des fours à creusets. — Tracé idéal d'un four. — Rendement en acier. — Consommation de combustible. — Nombre de chauffes de chaque creuset. — Résistance du four	69
--	----

CHAPITRE V

FABRICATION DES CREUSETS

<i>Creusets en argile.</i> — Dimensions des creusets. — Matériaux employés. — Mélange des matériaux. — Moulage des creusets à la main. — Moulage des creusets à la machine. — Séchage des creusets. — Cuisson des creusets. — Couverts et supports des creusets	89
<i>Creusets en plombagine.</i> — Matériaux employés. — Préparation des matériaux et fabrication des creusets. — Creusets en graphite de Styrie	92

CHAPITRE VI

FOUR A CREUSETS CHAUFFÉ AU COKE. — TYPE HUNTSMAN

Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix d'un four. — Dépenses de fabrication. — Récapitulation des dépenses	94
<i>Four à creusets avec quatre creusets dans chaque laboratoire.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient.	100

CHAPITRE VII

FOURS A CREUSETS CHAUFFÉS AU COKE A TIRAGE FORCÉ

<i>Four Miller.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient	103
<i>Four Râdio.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient.	106
<i>Four Lindemann.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Résumé du prix de revient	109

CHAPITRE VIII

FOURS A CREUSETS CHAUFFÉS AU GAZ

<i>Four Siemens « Type ordinaire ».</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient	111
<i>Four Siemens « Nouveau type ».</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient. — Prix de revient comparatifs des fours Siemens « type ordinaire » et « nouveau type »	116
<i>Four Dawson, Robinson et Pope.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient	120

CHAPITRE IX

FOURS A ACIER AU CREUSET. — PRATIQUE AMÉRICAINE

<i>Fours chauffés au gaz.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient.	125
<i>Fours chauffés aux huiles lourdes.</i> — Description du four. — Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient.	128

CHAPITRE X

**PRIX DE L'ACIER AU CREUSET, POUR LES ACIERS A OUTILS AU CARBONE
ET LES ACIERS A OUTILS A COUPE RAPIDE**

Fonctionnement du four. — Production et prix du four. — Prix de revient de l'acier à outils au carbone et de l'acier à outils à coupe rapide. — Résumé du prix de revient. 134

CHAPITRE XI

**COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET EMPLOIS
DE L'ACIER FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ AU CREUSET**

Emplois de l'acier au creuset. — Matériaux employés dans les charges. — Charges employées et analyses. — Aciers à coupe rapide et se trempant d'eux-mêmes. — Charges pour les aciers à grande coupe. — Aciers à outils au carbone. — Charges pour les aciers à outils au carbone. — Charges pour les moulages en acier 139

DEUXIÈME PARTIE

LE PROCÉDÉ BESSEMER

CHAPITRE XII

LE PROCÉDÉ BESSEMER ACIDE

Historique. — Le procédé Bessemer. — Marche et durée de l'opération. — Charge de fonte pauvre en manganèse et en silicium. — Charge de fonte riche en silicium et pauvre en manganèse. — Pratique suédoise. — Pratique anglaise et du continent. — Additions faites à la charge. 149

CHAPITRE XIII

LE PROCÉDÉ BESSEMER BASIQUE

Historique. — Revêtements basiques. — Flux basiques. — Développement du procédé basique. — Mélangeur à fonte. — Le soufflage 158
Modifications du procédé basique. — Modification de Scheibler. — Modification de Flohr. — Modification de Richards. — Modifications diverses. — Chargeur dégagee et absorbée durant le procédé. 163

CHAPITRE XIV

L'ÉVOLUTION DU CONVERTISSEUR BESSEMER

Premières expériences. — Convertisseur avec tuyères sur le côté. — Convertisseur avec tuyères dans le fond. — Retour aux idées premières. — Fonds détachables (de Bessemer). — Fonds détachables (de Holley) 168
Petits convertisseurs à soufflage latéral. — Convertisseurs de Witthöft. — De Clapp et Griffiths. — De Hatton. — De Witherow. — De Walrand. — De Robert. — De Tropenas. — Convertisseurs « Drop. Bottom ». — Convertisseur Stock. . . 173

CHAPITRE XV

ATELIERS DE GRANDS CONVERTISSEURS BESSEMER

Plan et disposition générale des ateliers Bessemer. — Cubilots. — Chargement mécanique des cubilots. — Convertisseurs. — Fonds de convertisseurs. — Manœuvre du convertisseur. — Tourillons-supports. — Valves de manœuvre. — Valve de secours et de retenue. — Machines soufflantes. — Groupement des convertisseurs par rapport aux autres appareils de l'atelier. — Equipement auxiliaire	180
<i>Pratique anglaise du Bessemer.</i> — Atelier des convertisseurs de 10 tonnes de la « North-Eastern Steel Works ». — Disposition générale de l'atelier. — Convertisseurs. — Revêtement des convertisseurs. — Blocs à tuyères des convertisseurs. — Séchage du revêtement. — Chargement des scraps et de la chaux. — Emplacement des grues.	189
<i>Pratique américaine du Bessemer.</i> — Atelier des convertisseurs de 10 tonnes de la « Youngstown Steel and Tube Co, Ltd. »	199
<i>Pratique allemande du Bessemer.</i> — Atelier des convertisseurs de 24 tonnes à Burbach.	200

CHAPITRE XVI

MACHINES SOUFFLANTES POUR LES CONVERTISSEURS BESSEMER

Machines soufflantes à vapeur (générateurs chauffés à la houille). — Machines soufflantes à vapeur (générateurs chauffés au gaz). — Machines soufflantes à gaz. — Machines soufflantes actionnées par un moteur. — Turbo-soufflantes	211
--	-----

CHAPITRE XVII

PRIX DE L'ACIER POUR LINGOTS, FABRIQUÉ DANS LES GRANDS CONVERTISSEURS BESSEMER

<i>Atelier de quatre convertisseurs basiques de 10 tonnes.</i> — Capacité de l'installation. — Prix de l'installation. — Amortissement et intérêt de l'installation. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient. — Prix de transformation de la fonte en acier basique en Allemagne. — Ditto à Charleroi (Belgique).	218
<i>Atelier de quatre convertisseurs basiques de 24 tonnes.</i> — Capacité de l'installation. — Prix de l'installation. — Amortissement et intérêt. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient	225

CHAPITRE XVIII

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ DANS LES GRANDS ATELIERS BESSEMER

<i>Convertisseurs à revêtement acide.</i> — Emplois de l'acier Bessemer acide. — Composition des charges.	229
<i>Convertisseurs à revêtement basique.</i> — Emplois de l'acier Bessemer basique. — Composition des charges. — Additions au métal soufflé. — Pertes de matériaux pendant le soufflage	237

CHAPITRE XIX

**INSTALLATIONS MODERNES DE CONVERTISSEURS BESSEMER
DE DEUX TONNES, SOUFLÉS PAR LE FOND,
POUR FONDERIES D'ACIER**

<i>Atelier de quatre convertisseurs de 2 tonnes.</i> — Description générale. — Disposition des convertisseurs. — Ventilateurs. — Cubilots. — Fonctionnement de l'installation. — Production et prix. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient	239
<i>Atelier de deux convertisseurs de 2 tonnes.</i> — Résumé du prix de revient.	245

CHAPITRE XX

**INSTALLATIONS MODERNES DE CONVERTISSEURS DE DEUX TONNES
SOUFLÉS A LA SURFACE, POUR FONDERIES D'ACIER**

Description générale. — Disposition des convertisseurs. — Ventilateurs. — Cubilots. — Fosse pour la poche. — Four à creusets et cubilot pour les additions physiques. — Parc de dépôt ou de mise en stock	246
Fonctionnement de l'atelier. — Pesage des matières premières. — Fusion dans les cubilots. — Pesage de la fonte liquide. — Préparation des convertisseurs pour la charge. — Position du convertisseur quand on le charge. — Conduite du soufflage. — Durée du soufflage. — Additions finales à la charge. — Coulée du métal. — Ponts roulants et grues. — Autres dispositions d'ateliers de convertisseurs	250

CHAPITRE XXI

**PRIX DE L'ACIER FABRIQUÉ
DANS LES ATELIERS DE CONVERTISSEURS, SOUFLÉS A LA SURFACE,
POUR FONDERIES D'ACIER**

<i>Atelier de quatre convertisseurs de 2 tonnes.</i> — Production et prix — Prix de revient. — Résumé du prix de revient. — Pertes de matières premières.	264
<i>Atelier de deux convertisseurs de 2 tonnes.</i> — Production et prix. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient.	268
<i>Atelier de un convertisseur de 2 tonnes.</i> — Production et prix. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient. — Conclusions générales. — Comparaison des prix.	272

CHAPITRE XXII

ATELIERS DE CONVERTISSEURS POUR PETITES FONDERIES

<i>Atelier de convertisseur de 1 tonne, soufflé à la surface.</i> — Description générale. — Fonctionnement de l'atelier. — Production et prix de l'installation. — Prix de revient. — Résumé du prix de revient. — Prix avec productions variables.	
<i>Petits convertisseurs Bessemer. Pratique allemande.</i> — Prix de revient.	278
<i>Atelier de convertisseurs d'une demi-tonne, soufflé à la surface.</i> — Description générale — Fonctionnement. — Production et prix de l'installation. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient.	284
<i>Atelier de convertisseur Tropenas « Bébé ».</i> — Prix de l'acier par tonne	285
<i>Convertisseur breveté Stock, chauffé à l'huile lourde.</i> — Description générale. — Marche de l'atelier. — Production et prix (convertisseur de 3 tonnes). — Résumé du prix de revient.	290

CHAPITRE XXIII

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET EMPLOIS
DE L'ACIER FABRIQUÉ DANS LES ATELIERS DE PETITS
CONVERTISSEURS BESSEMER

Emplois des moulages en acier Bessemer. — Moulages rentrant dans les différentes classes. — Analyses des moulages des diverses catégories. — Moulages livrés d'après spécification. — Composition des charges (Bessemer acide). — Charges. — Pertes de métal pendant la fusion et le soufflage. — Essais des aciers. — Composition des additions faites aux charges des convertisseurs. — Méthode employée pour faire les additions et les charges. — Méthode pour déterminer la quantité de matériaux que l'on doit ajouter à la charge. — *Matériaux pour donner l'analyse cherchée.* — Ferro-manganèse nécessaire. — Ferro-silicium nécessaire. — Tableaux des additions 297

TROISIÈME PARTIE

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

CHAPITRE XXIV

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

Conduite du procédé. — Préparation du four pour la charge. — Admission du gaz dans le four. — Chargement des matériaux. — Chargement à la main. — Chargement à la machine. — Chargement dont une partie de la charge est liquide. — Marche du four pendant la fusion et la transformation. — Examen des essais. — Réactions chimiques. 317

CHAPITRE XXV

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS BASIQUE

Procédés divers du four Martin-Siemens. — Four Martin-Siemens basique fixe . . 323
Procédés Martin-Siemens basiques utilisant du métal à l'état fondu. — Procédé duplex de Witkowitz. — Procédé Pszczolka-Daelen. — Procédé Bertrand-Thiel ou de Hoesch. — Procédé Talbot. — Procédé Talbot continu dans les fours Martin-Siemens fixes. — Procédé Monell et Rees-James. — Procédé Knoth . . 325

CHAPITRE XXVI

LE DÉVELOPPEMENT DU FOUR MARTIN-SIEMENS

Historique. — Développement de l'idée. — Premier four Siemens avec régénérateurs. — Régénérateurs à air et à gaz. — Four rotatif. — Four rotatif Siemens de Pernot. — Régénérateurs avec chambres à poussières. — Four rotatif avec soufflage d'air. — Protection des parois des voûtes. — Régénérateurs placés aux extrémités du four. — Revêtement basique des fours. — Construction des carneaux du four. — Carneaux à air débouchant au-dessus du four. — Conduit d'arrivée du gaz pénétrant dans le conduit d'arrivée d'air. — Facilités d'examen des carneaux à air. — Four avec voûte mobile. — Four avec gazogène et régénérateur combinés. — Régénérateurs placés à une seule extrémité du four. — Four Siemens « Idéal ». — Disposition perfectionnée des régénérateurs. — Fours avec double sole. — Fours avec ouvertures de coulée à des niveaux

différents. — Four Siemens oscillant. — Four avec régénérateurs à air et gazogènes combinés. — Four pour combustible liquide. — Conclusions. 334

CHAPITRE XXVII

CONSTRUCTION DES FOURS MARTIN-SIEMENS FIXES

Four Martin-Siemens fixe. — Détails généraux du four. — Sole. — Relations entre les dimensions de la sole et la capacité du four. — *Régénérateurs.* — Capacité. — Forme. — Chicanes en briques. — *Carneaux d'arrivée du gaz et de l'air.* — Arrangement des carneaux. — Dimensions des carneaux. — *Valves.* Dimensions des valves. — *Tuyaux de conduite.* — Surface transversale de ceux-ci. — *Cheminées.* — Dimensions des cheminées. Dimensions des gazogènes pour four Martin-Siemens. — Surface de grille du gazogène par rapport au tonnage du four 353

CHAPITRE XXVIII

DISPOSITIFS DE REFOUILLISSEMENT DES FOURS MARTIN-SIEMENS

Carneaux des fours. — Carneaux pleins. — Carneaux refroidis par l'eau. — Carneaux en acier comprimé de Knox. — Économie dans l'entretien. — Carneaux Blair. — Carneau détachable de Friedrich. — Prix de l'installation et économie réalisée. — Carneau détachable de Head. — Autres dispositifs de carneaux refroidis. — Portes et encadrements refroidis par l'eau. — Refroidissement des parois 366

CHAPITRE XXIX

VALVES POUR FOURS MARTIN-SIEMENS

Valve de renversement de Siemens. — Valves de Kirkham; — de Schild: — de Fischer; — de Dyblie. — Mécanisme de renversement de Blair. 379

CHAPITRE XXX

MÉLANGEURS

Types de mélangeurs. — Mélangeurs du type convertisseur. — Mélangeurs du type four Siemens. — Détails des patins de roulement. — Mélangeur avec régénérateur. — Capacité des mélangeurs. — Emploi des mélangeurs comme affineurs. — Mélangeurs non chauffés. — Mélangeurs chauffés. — Marche des mélangeurs. — Pesée du métal versé et extrait du mélangeur. 387

CHAPITRE XXXI

GAZOGÈNES

Historique. — Gazogènes à fond plein et à fond à grille. — Gazogènes à fond hydraulique. — Distribution du combustible. — Alimentateur mécanique de Bildt. — Installation de manutention de la houille. — Décrassage mécanique. — Récupération des sous-produits. — Combustibles employés dans les gazogènes. 396
Types de gazogènes modernes. — *Anglais.* — Dawson. — Duff. — Mond. — Siemens. — Thwaite — Wilson. 402
Américains. — Foster-Trump. — Hughes. — Morgan. — Talbot. — Taylor. 410

<i>Européens.</i> — Goliath. — Hilger. — Kerpely. — Rehmann. — S. F. H.	415
<i>Prix du gaz produit.</i> — Installation. — Combustible. — Main-d'œuvre. — Réparation. — Force motrice, vapeur, approvisionnements, etc. — Résumé du prix de revient. — Prix du gaz produit dans les grandes installations de fours Martin-Siemens. — Prix du gaz produit dans les petites installations de fours Martin-Siemens	423
<i>Théorie de la fabrication du gaz.</i> — Réaction qui se produisent dans les gazogènes. — Efficacité des gazogènes. — Gaz de haut fourneau et de fours à coke. Gaz naturel. — Gaz à l'eau.	425

CHAPITRE XXXII

DISPOSITIONS DES GRANDES INSTALLATIONS DE FOURS MARTIN-SIEMENS
DANS LES ACIÉRIES

Installation de fours Martin-Siemens utilisant des charges froides. — Manutention des matériaux. — Installation de fours Martin-Siemens utilisant des charges liquides. — Emplacement des hauts fourneaux. — Emplacement des mélangeurs. — Manutention auxiliaire.	434
<i>Acieries modernes types, équipées de fours Martin-Siemens.</i> — <i>Acieries américaines.</i> — Usines Gary. — Acieries de l'Union	437
<i>Acieries allemandes.</i> — Georgsmarienhütte. — Bethlen-Falvahütte	440

CHAPITRE XXXIII

PRIX DE REVIENT DE L'ACIER FABRIQUÉ AVEC LES GRANDS FOURS
MARTIN-SIEMENS

<i>Prix d'installation des fours.</i> — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient.	444
<i>Ateliers de fours Martin-Siemens basiques de 75 tonnes.</i> — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient	449
<i>Ateliers de fours Martin-Siemens basiques de 40 tonnes.</i> — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient.	452
<i>Ateliers de fours Martin-Siemens basiques de 35 tonnes.</i> — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient	455
Prix de revient des fours Martin-Siemens acides.	458

CHAPITRE XXXIV

PRODUCTION DE L'ACIER DANS LES PETITS FOURS MARTIN-SIEMENS

Installation de fours Martin-Siemens de moins de 5 tonnes*.	459
<i>Prix de l'acier fabriqué avec le four Siemens « Nouveau type » de 2 à 3 tonnes.</i> — Description générale. — Marche du four. — Production et prix. — Dépenses de fabrication, — Résumé du prix de revient.	459
<i>Fours Martin-Siemens acides et basiques de plus grande capacité, pour travaux de fonderie.</i> — Puissance de production. — Prix de revient de l'acier M. S. acide et basique.	465
<i>Fours Martin-Siemens, chauffés à l'huile lourde, pour fonderies d'acier.</i> — Four Martin-Siemens de 450 kgr. chauffé à l'huile lourde. — Prix d'installation des fours Martin-Siemens chauffés à l'huile lourde	467
<i>Four Martin-Siemens de 15 tonnes, chauffé aux huiles lourdes.</i> — Description. — Matériel nécessaire. — Production du four. — Prix. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient	468

CHAPITRE XXXV

PROCÉDÉ TALBOT CONTINU

Description du four. — Régénérateurs. — Combustible employé. — Revêtement du four. — Dimensions de la sole. — Fonctionnement du four. — Composition de la charge. — Réactions.	477
Prix de l'acier. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient	483

CHAPITRE XXXVI

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

Fontes. — Scraps. — Proportion de fonte et de scraps d'acier. — Emplois de l'acier Martin-Siemens. — Charges types et analyses des matériaux. — Charges froides. — Charges partiellement liquides. — Charges entièrement liquides.	488
--	-----

CHAPITRE XXXVII

PROCÉDÉS DUPLEX

Convertisseurs et fours Martin-Siemens. — Fours Martin-Siemens et fours Electriques. — Procédé triplex. — Matériaux employés dans les procédés duplex. . .	502
--	-----

QUATRIÈME PARTIE

LE PROCÉDÉ ÉLECTRIQUE

CHAPITRE XXXVIII

L'ÉVOLUTION DU FOUR ÉLECTRIQUE

Historique. — Fours Siemens, Ferranti, Stassano, Hérould et Kjellin. — Développements modernes.	511
---	-----

CHAPITRE XXXIX

FOURS A ARC

Introduction. — <i>Four Stassano</i> . — Fabrication de l'acier avec le minerai. — Fabrication de l'acier avec les scraps. — Production et prix de l'installation. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient.	515
--	-----

CHAPITRE XL

FOURS A INDUCTION

<i>Four Kjellin</i> . — Description. — Fonctionnement. — Prix et données de fabrication.	520
<i>Four Röchling-Rodenhauser</i> . — Description. — Fonctionnement du four. — Charges froides. — Production de moulage d'acier. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient. — Charges chaudes : Affinage du métal fondu. — Résumé du prix de revient	523

<i>Four Frick.</i> — Fonctionnement du four.	528
<i>Four Hiorth.</i> — Description et fonctionnement.	530
<i>Four Paragon.</i>	533

CHAPITRE XLI

FOURS A RÉSISTANCE A ARC

<i>Four électrique Héroult.</i> — Description du four de 15 tonnes. — Fonctionnement du four. — Dépenses de fabrication : affinage du métal fondu. — Résumé du prix de revient. — Frais de fabrication. — Four de 2,5 t. fabricant avec des scraps, l'acier pour moulages. — Résumé du prix de revient.	534
<i>Four Bessemer électrique Cutts.</i> — Description	541
<i>Four Ruthenburg.</i> — Description. — Fonctionnement. — Prix et données de fabrication.	542
<i>Four Gin.</i>	544

CHAPITRE XLII

FOURS COMBINÉS A RÉSISTANCE ET A ARC

<i>Four électrique Girod.</i> — Description. — Fonctionnement. — Production et prix. — Dépenses de fabrication. — Résumé du prix de revient	546
<i>Four électrique Anderson.</i> — Description. — Fonctionnement. — Résumé du prix de revient	553
<i>Four électrique Chaplet.</i> — Description. — Fonctionnement. — Prix et données de fabrication	555
<i>Four électrique « Electro-Métaux ».</i> — Description	556
<i>Four électrique Keller.</i>	558
<i>Four électrique Levoz.</i> — Description	560
<i>Four électrique Nathusius.</i> — Description. — Fonctionnement. — Dépenses de fabrication.	561

CHAPITRE XLIII

FOURS A RÉSISTANCE

<i>Four électrique à creuset d'Helberger.</i> — Description. — Fonctionnement	564
<i>Four électrique Hering.</i> — Description. — Fonctionnement	566
<i>Four électrique Igewsky.</i> — Description. — Fonctionnement	567

CHAPITRE XLIV

LES RÉACTIONS CHIMIQUES DU FOUR ÉLECTRIQUE

Période d'oxydation. — Période de désoxydation	569
--	-----

CHAPITRE XLV

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET USAGES
DE L'ACIER FABRIQUÉ AU FOUR ÉLECTRIQUE

Usages de l'acier électrique. — Matériaux employés dans la charge. — Charges pour acier à outils et leurs analyses. — Charges pour moulages et lingots d'acier extra.	576
---	-----

CINQUIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT ET SALAIRES

CHAPITRE XLVI

COMPARAISON DU PRIX DE REVIENT DE L'ACIER LIQUIDE

1. — Produit par le même procédé	583
Pour moulages d'acier (fours à creusets), production par semaine : 25 tonnes . . .	583
Pour aciers à outils (fours à creusets), production par semaine : 25 tonnes . . .	584
Pour moulages d'acier (convertisseurs soufflés à la surface), production par semaine : 320 à 18 tonnes	585
Pour moulages d'acier (fours électriques)	586
2. — Produit par différents procédés	587
Pour moulages d'acier (fours à creusets, Bessemer, Martin-Siemens et électriques), production par semaine : 20 à 40 tonnes	587
Pour moulages d'acier (fours à creusets, Bessemer, Martin-Siemens et électriques), production par semaine : 50 à 320 tonnes	588
Pour lingots (fours Bessemer, Martin-Siemens et électriques), production par semaine : 1.000 à 10.000 tonnes	589
<i>Prix de revient américains.</i> — Fonte. — Rails Bessemer. — Billettes de Bessemer et de four Martin-Siemens	591
<i>Prix de revient allemands.</i> — Procédés Bessemer, Martin-Siemens et continus	592

CHAPITRE XLVII

ÉTABLISSEMENT DU PRIX DE REVIENT DE L'ACIER

Système de collationnement des dépenses. — Méthodes adoptées et formules employées.	594
<i>Prix de l'acier Bessemer (soufflage à la surface).</i> — Chapitres dont l'ensemble forme le prix de revient. — Formules pour l'inscription des matériaux employés. — Autres matériaux employés en aide à la fabrication. — Sortie des matériaux du magasin. — Combustible. — Force motrice. — Feuille journalière de fabrication. — Main-d'œuvre. — Récapitulation des dépenses	595

CHAPITRE XLVIII

PRIX DE LA MAIN-D'ŒUVRE DANS LA FABRICATION DE L'ACIER

Prix comparatifs de la main-d'œuvre et du prix de revient. — Salaires des ouvriers d'aciéries. — Fluctuation des salaires	607
Salaires et cherté de la vie. — Etats-Unis et Canada. — Angleterre, Etats-Unis et Allemagne. — Classification de la main-d'œuvre. — Main-d'œuvre des fours Martin-Siemens. — Heures de travail des ouvriers d'aciéries	609
INDEX ALPHABÉTIQUE	617

PRÉFACE DE L'AUTEUR

En préparant ce traité, j'ai essayé, avec le concours de M. Gladwyn, de montrer et de comparer les différents chapitres composant les prix de revient des divers procédés de fabrication de l'acier, ayant une importance industrielle. Sa lecture, je l'espère, stimulera une étude plus approfondie de cette partie si essentielle de la fabrication de l'acier.

On admet généralement que toute recherche scientifique et métallurgique ne tendant pas à améliorer la qualité et à réduire le prix de l'acier fabriqué, n'offre pour le manufacturier qu'un intérêt professionnel de peu d'importance.

Plusieurs ouvrages relatifs à la fabrication de l'acier, auxquels nous faisons d'ailleurs allusion dans les pages suivantes, traitent dans une certaine mesure du prix de fabrication de l'acier, mais pour autant que je puisse en avoir connaissance, je ne crois pas qu'aucune tentative ait été faite, jusqu'à présent, pour comparer systématiquement les prix de revient de tous les procédés de fabrication de l'acier, dans le but de leur donner une signification, tant au point de vue métallurgique que de l'art de l'ingénieur. Nous avons la conviction que l'expérience acquise pendant plusieurs années dans la construction et la direction des aciéries modernes, aura comme but de faire bien accueillir les faits que nous exposons par les manufacturiers, les directeurs, les ingénieurs, les métallurgistes, les chimistes, les dessinateurs et par tous ceux, en général, qu'intéressent l'installation et le contrôle des aciéries.

Les documents et renseignements pratiques relatifs à la fabrication de l'acier que nous donnons, comprennent :

1° Les analyses et les prix des minerais, fontes, matériaux réfractaires, flux ou fondants, ferro-alliages et combustibles, disposés généralement sous forme de tableau pour en faciliter la lecture ;

2° La composition des charges des différentes sortes d'acier avec des indications sur les additions finales nécessaires ;

3° Des détails sur la construction, la disposition, les prix des fours et des installations ;

4° Les méthodes pour l'établissement des prix de revient avec les détails, la valeur de la main-d'œuvre et la cherté de la vie dans les divers pays industriels.

Dans tous les cas, il serait à désirer que l'on fasse ressortir l'importance de l'étude des prix de revient, dans la fabrication de l'acier, aux étudiants métallurgistes. L'étude systématique de ce sujet, non seulement en ce qui concerne le fer et l'acier, mais tous les métaux travaillés industriellement, devrait faire partie intégrante des cours de métallurgie professés dans nos universités et autres écoles d'enseignement. Cette question a d'ailleurs reçu un commencement d'application dans les grandes écoles de l'Allemagne et des États-Unis, et j'ai eu la satisfaction d'apprendre par le D^r Hamerschlog, lors d'une récente visite à l'Institut technique Carnegie de Pittsburg (E. U.) que l'on y a reconnu la nécessité d'enseigner aux étudiants la valeur monétaire des matériaux bruts et manufacturés, en même temps que leurs propriétés physique et chimique.

Lorsque l'on envisage simultanément le prix de revient des minerais, de la fonte, des matériaux réfractaires, des fondants, des ferro-alliages, des aciers, etc., avec l'étude des analyses, des qualités et des emplois de ces produits, — lorsque l'on étudie le prix des fours et leur conduite en même temps que leur construction et leur fonctionnement, — enfin lorsque l'on apprend, en même temps que la méthode de fabrication employée, les diverses questions concernant la valeur, la classification, la durée et le paiement de la main-d'œuvre dans les différents pays producteurs d'acier, on arrive à donner à l'étudiant une instruction d'une plus grande valeur pratique lorsqu'il passe de la salle d'études, au laboratoire et à l'usine.

Dans la préparation du présent ouvrage j'ai rencontré d'excellents auxiliaires dans les ouvrages d'Arnold, Bell, Campbell, Harbord, Howe, Stead, Wedding et autres savants, auxquels nous nous référons dans le texte.

Je tiens à remercier, ainsi que M. Gladwyn, le Conseil de l'« Iron and Steel Institute », les éditeurs de *The Iron and Coal Trades Review*, *The Iron Age*, *The Foundry*, *The Foundry Trade Journal*, *Stahl und Eisen* et autres, pour l'emploi de leurs gravures, etc., le D^r Cooper, Président de l'Iron and Steel Institute, M. Benjamin Talbot, M. Twynam,

D^r O. Petersen, M. E. Widekind, et tous ceux qui nous ont donné des détails relatifs à la pratique des aciéries anglaises, américaines et allemandes.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à Sir Robert A. Hadfield F. R. S. pour les encouragements qu'il m'a donnés, alors que j'étais engagé dans ses usines de Sheffield, pour poursuivre l'étude de l'acier, et à Sir H. Frederick Donaldson, K. C. B., Président de l'Institution of Mechanical Engineers, qui m'a inspiré l'étude de la valeur économique de la main-d'œuvre, sa classification et sa standardisation, alors que je servais sous ses ordres à l'arsenal de Woolwich.

DAVID CARNEGIE.

AVANT-PROPOS

DU TRADUCTEUR

C'est avec empressement, que sur la demande de M. Ch. Béranger, l'excellent éditeur parisien, toujours à la recherche des nouveautés dans le domaine industriel, nous avons entrepris la traduction de l'ouvrage de MM. Carnegie et Gladwyn, car les métallurgistes français y trouveront, en le consultant, des renseignements utiles et féconds.

Grâce à leur autorité en la matière, les savants ingénieurs anglais ont magistralement traité chaque partie de leur sujet au triple point de vue technique, pratique et économique. Si nous ne manquons pas, en métallurgie, de bons ouvrages techniques et pratiques, il n'en est pas de même de ceux qui étudient la question au point de vue économique.

Bien faire un produit industriel, c'est bien, — le faire bien et économiquement, c'est mieux. Mais pour atteindre ce double résultat, il faut non seulement connaître son métier, mais encore être familiarisé avec l'établissement des prix de revient.

Ce prix de revient, il faut le limer tous les jours, — il faut inventer des procédés de fabrication plus économiques — diminuer la main-d'œuvre par unité tout en augmentant le salaire du personnel.

Jamais l'on ne doit se dire qu'on a atteint le prix le plus bas que l'on puisse obtenir. Il y a toujours à faire.

Il ne faut pas perdre de vue qu'une société industrielle dont les prix de revient sont tenus très bas et sont constamment diminués par des efforts incessants, résistera à toutes les concurrences, même si son service commercial laissait à désirer. Elle pourra manquer gagner de l'argent, mais elle ne périra pas.

Dans cette question du prix de revient, le rôle du chimiste y est très important, ce que l'on ne reconnaît malheureusement pas toujours.

Ainsi, le chimiste qui vérifiera la composition du gaz s'échappant par les fumées d'une usine métallurgique produisant annuellement 250 000 tonnes de fonte par an et qui, par des observations fréquentes, arrivera à ne plus y envoyer d'oxyde de carbone, fera réaliser un bénéfice de 40 000 francs par an ; si ce même chimiste, faisant l'étude des minerais et des fondants employés, arrive à faire gagner seulement un sou par 1 000 kilogrammes de fonte, il aura économisé 12 500 francs par an.

Nous pourrions multiplier les exemples. Ils nous permettront tous de conclure que le technicien qui n'est qu'un technicien, ne pourra jamais remplir dans une usine qu'un rôle secondaire, tandis que, s'il connaît la valeur des choses, s'il sait chiffrer en argent, s'il complète chaque étude de laboratoire par un calcul économique, il aura une valeur incomparablement plus grande, sera infiniment plus apprécié de ses chefs et pourra aspirer à des situations bien plus rémunérées.

E. BAZIN.

L'ACIER

L'ACIER

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

Les emplois de l'acier sont si nombreux que les demandes de ce métal pour les chemins de fer, les constructions maritimes, les ponts, les travaux de construction de toutes sortes vont sans cesse en augmentant avec une étonnante rapidité depuis ces dernières années. L'acier remplace progressivement le fer dans toutes les branches de l'art de l'ingénieur. Dans la plupart des projets étudiés par celui-ci, il prévoit sous une forme ou sous une autre l'emploi de l'acier laminé, fondu ou forgé. Cette augmentation croissante de la demande a entraîné, non seulement le développement des anciens procédés, mais elle a aussi favorisé le développement des nouveaux dans lesquels des minerais de fer, autrefois considérés comme impropres à la fabrication de l'acier, y sont employés avec beaucoup de succès. Elle a également augmenté le nombre des usines productrices en Angleterre mais surtout sur le continent et en Amérique, ainsi que dans les autres pays où l'emploi des minerais locaux a été trouvé applicable et économique au point de vue commercial.

Les renseignements ¹ suivants donneront une idée du développement de la fabrication de l'acier pendant les années indiquées.

Production mondiale des lingots 1880-1910.

	ANNÉE 1880	1890	1900	1910
Etats-Unis d'Amérique	1 175 119	4 202 103	10 082 905	25 917 281
Allemagne	760 000	2 161 187	6 510 215	13 315 437
Royaume-Uni	1 295 382	3 579 043	4 901 058	6 010 684
France	384 626	688 991	1 565 164	3 361 517
Russie	307 305	372 625	2 186 399	3 239 616
Autriche-Hongrie	134 218	499 600	1 145 654	2 136 203
Belgique	132 052	236 226	654 827	1 892 160
Canada	—	—	29 954	803 600
Italie	—	157 899	115 887	635 000
Suède	30 013	160 026	298 483	468 600
Espagne	—	—	150 734	219 500
Autres pays	—	—	400 000	315 000
TOTAL	4 218 715	12 058 330	28 035 280	58 314 598

¹ Discours présidentiel, *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, 1, pp. 48 et 49.

Concurrence. — L'établissement des aciéries dans les divers pays a conduit à de sérieuses rivalités et concurrences entre les pays producteurs.

On fabriqua de l'acier dans des régions possédant des ressources minières et qui recevaient jadis leurs approvisionnements de ce métal des plus anciens centres industriels de fabrication de l'acier, de sorte que les recettes de ces derniers ont non seulement diminué mais les prix ont été réduits afin de pouvoir lutter contre la concurrence de ces nouveaux centres de production. Dans tous les cas, cette augmentation des ressources eut comme résultat la diminution des prix de vente, d'où l'obligation pour les usines de réaliser des économies considérables sur la main-d'œuvre, les matières premières, le combustible, la force motrice, etc., dans tous les procédés de fabrication.

Installations modernes. — Dans un certain nombre des plus anciennes aciéries anglaises, on fit une réorganisation complète, en vue de créer une installation moderne capable de lutter sur les marchés anglais, avec la concurrence belge et allemande. On a, bien entendu, beaucoup écrit au sujet de l'imposition de tarifs destinés à empêcher la vente en Angleterre de l'excédent d'acier du continent, à des prix inférieurs à ceux que l'on ne pouvait avantageusement pratiquer dans les usines anglaises, mais il n'est pas certain que ces tarifs répondraient bien au but cherché. Notre expérience personnelle sur la pratique des aciéries en Amérique et sur le continent, nous permet de croire que seule, la transformation des aciéries et des installations actuelles, permettra de lutter efficacement contre la concurrence étrangère.

Prix de fabrication de l'acier. — Dans une installation moderne, il ne suffit pas seulement de fabriquer économiquement l'acier, car les prix de la main-d'œuvre, des matières premières, du combustible, de la force motrice, des transports, etc., varient considérablement dans les différents pays et influencent le prix final de l'acier. De plus, les ressources naturelles d'un pays ne sont pas les mêmes que celles d'un autre, ce qui procure certains avantages sur les régions moins favorisées. Cependant en considérant ces prix dans leur ensemble, on constate généralement que partout où l'on emploie le même procédé, le prix final de fabrication ne varie que très légèrement entre les divers pays. Ce qui influence matériellement le prix de fabrication de l'acier, c'est l'emploi du procédé s'adaptant le mieux aux matières premières et au combustible dont on dispose pour sa fabrication. C'est ainsi, par exemple, que l'utilisation des immenses dépôts de minerai phosphoreux de l'Allemagne et de l'Est de la France ne fut possible qu'à la suite de la découverte du procédé basique.

Dans le but de comparer la valeur des différents procédés connus et employés, nous décrirons brièvement dans les pages qui vont suivre les avantages de chacun de ceux-ci en y ajoutant des détails sur les prix des installations, les prix de fabrication et les méthodes d'établissement de ces prix.

Pour la comparaison des procédés similaires, nous avons adopté les dispositions suivantes :

1° Tous les chapitres du prix de revient sont étudiés jusqu'au moment où l'acier liquide est prêt à être employé ;

2° Les aciers fabriqués par les divers procédés sont conformes à un même type d'essais, à moins d'indications contraires ;

3° Les productions sont les mêmes pour une même période ;

4° Les prix des matières premières, du combustible, de la force motrice, de la main-d'œuvre, etc., pour un même procédé sont toujours les mêmes.

Il y a encore, bien entendu, d'autres chapitres de dépenses dans l'ensemble du prix de fabrication, mais ils varient avec le type de l'installation, les conditions locales et les méthodes de direction employées.

Procédés de fabrication. — Quoique l'on emploie dans la fabrication de l'acier de nombreux types de fours, les procédés peuvent se classer de la façon suivante :

1. Procédé au creuset ;
2. Procédé Bessemer ;
3. Procédé Martin-Siemens ;
4. Procédé électrique.

L'importance et l'utilité des fours de chaque procédé sont limités dans une certaine mesure par le poids, la qualité et l'importance de la production.

1. Procédé au creuset. — Les fours à creuset sont employés d'une façon générale pour la fabrication de toutes les sortes d'acier à outils ainsi que pour celle des moulages légers devant être d'une qualité supérieure à celle que l'on obtiendrait par les autres procédés, à l'exception, peut-être, du four électrique, dont la qualité du produit peut être réglée d'après la pureté des matériaux employés. La production est nécessairement comparativement petite, car la capacité moyenne des creusets variant de 27 à 45 kilogrammes, on ne peut faire, avec cet acier, que des moulages dont le poids varie de quelques grammes jusqu'à 27 et 45 kilogrammes. Généralement le poids des lingots d'acier à outils correspond à celui du contenu du creuset employé. Cependant, il y a des cas où l'on emploie ce procédé pour fabriquer de gros lingots d'acier à l'usage de l'artillerie. Il y a quelques années, nous avons vu couler aux usines de MM. Krupp à Essen, un lingot de 80 tonnes d'acier fabriqué dans des creusets. Pour cela, on fond en même temps, de l'acier dans plusieurs centaines de creusets et quand la fusion est arrivée au point voulu, on coule successivement tous les creusets dans la lingotière. C'est peut-être un cas exceptionnel de l'emploi du procédé au creuset pour l'obtention d'une pièce aussi lourde. Cependant on pratique journallement aux aciéries de la Crucible Steel Co en Amérique, des lingots d'acier de qualité supérieure destinés à la fabrication des projectiles, du poids de 700 kilogrammes, obtenus au four à creuset dans des creusets de 45 kilogrammes.

Ces exemples montrent que, quoique l'étendue du procédé soit limitée, on l'emploie dans certaines usines pour la fabrication d'acier ordinairement fabriqué dans des fours dont la capacité permet une manutention plus facile des grandes quantités.

On emploie différentes formes de fours qui utilisent des combustibles variés, tels que la houille, le coke, les huiles lourdes, le gaz de houille ou

le gaz naturel, avec tirage naturel ou forcé ; — des creusets de différentes formes et de différentes qualités ; — et des revêtements différents. Toutefois dans ces nombreux types de fours, on ne s'est pas écarté du principe fondamental du procédé imaginé par Benjamin Huntsman, de Sheffield, lequel est essentiellement un procédé de fusion quoiqu'il se produise dans les matériaux, de légers changements chimiques, pendant l'opération.

Dans la I^{re} partie, où se trouve décrit ce procédé, nous donnons les prix des fours actuellement en service et la description impartiale de la pratique moderne anglaise et étrangère.

2. Procédé Bessemer. — Dans la II^e partie, nous étudions les avantages du procédé Bessemer. Ce procédé se détache nettement des procédés au creuset, Martin-Siemens et électriques. L'immense importance de la révolution que fit Bessemer dans la fabrication de l'acier peut être appréciée si on compare les chiffres de production et les prix de fabrication de l'acier avant l'application de son procédé avec ceux accusés actuellement par les différents pays producteurs d'acier. Le principe du procédé est bien connu, et ce n'est pas le côté le moins intéressant d'une découverte si importante et d'une si grande portée.

On emploie des convertisseurs de différents types et de différentes dimensions, dont la capacité varie de quelques centaines de kilogrammes jusqu'à plusieurs tonnes.

Le type de convertisseur à soufflage latéral, connu sous différents noms, est surtout employé pour les charges n'excédant pas 3 tonnes d'acier et pour ce tonnage on considère, dans la plupart des pays, que c'est celui qui convient le mieux, tant au point de vue économique que pratique, pour les fonderies d'acier. Quelquefois on dispose dans une même fonderie un, deux ou plusieurs convertisseurs l'un à côté de l'autre, ce qui permet, en les faisant fonctionner ensemble, de faire des moulages d'un poids supérieur à 10 tonnes.

Les convertisseurs à soufflage par le fond, de petites capacités inférieures à 2 tonnes, conviennent également bien aux fonderies d'acier, mais nous ne pensons pas qu'ils soient aussi répandus que les convertisseurs à soufflage latéral.

Dans les grandes aciéries fabriquant des lingots d'acier pour rails, pour la construction, etc., on n'utilise pas les convertisseurs à soufflage latéral. Ce qui y est en usage, ce sont les gros convertisseurs, soufflés par le fond, dont la capacité dépasse quelquefois 35 tonnes¹ et certains types de fours Martin-Siemens. Les différents types de convertisseurs, leurs usages, ainsi que les prix de revient de l'acier fabriqué, sont décrits plus loin et comparés avec les autres procédés faisant le même genre de travail. Nous avons également décrit et représenté plusieurs installations types d'usines disposant d'une aciérie Bessemer.

3. Procédé Martin-Siemens. — Sous ce titre, nous étudions dans la III^e partie toutes les formes de fours Martin-Siemens, ainsi que les gazogènes, les mélangeurs, les machines à charger les fours et autres appli-

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, I, p. 44.

cations employées conjointement avec les fours Martin-Siemens. On remarquera que de nombreuses modifications ont été apportées dans la construction de ce four, depuis l'époque où il fut imaginé par Sir William Siemens et son frère Frédéric. Dans les aciéries, on utilise actuellement de nombreux types de fours fixes ou oscillants mais leur emploi dans les fonderies d'acier n'est peut-être pas aussi répandu, dans certains pays, que celui du convertisseur Bessemer à soufflage latéral quoique l'on soit arrivé à utiliser avec beaucoup de succès de petits fours Martin-Siemens dont la capacité peut varier depuis quelques centaines de kilogrammes jusqu'à 25 tonnes.

On n'emploie pas de fours Martin-Siemens du type fixe, ayant une capacité supérieure à 100 tonnes, mais on utilise des fours oscillants du type Campbell ou Wellmann, de plus de 250 tonnes de capacité, pour la fabrication de l'acier d'après le procédé Talbot. Nous décrirons les différents types de four et nous discuterons et comparerons leurs emplois, non seulement entre eux mais avec les convertisseurs Bessemer. Nous donnerons aussi des détails relatifs aux prix de fabrication de l'acier avec les différents types de fours et nous considérerons également la valeur des revêtements acides et basiques.

Les procédés duplex qui utilisent à la fois, — soit le convertisseur Bessemer, et le four Martin-Siemens, — soit le four Martin-Siemens et le four électrique, seront également décrits.

Enfin, nous représenterons et donnerons la description d'aciéries de fours Martin-Siemens et de leur disposition par rapport aux hauts fourneaux et aux mélangeurs qui fournissent le métal chaud dont ils ont besoin.

4. Procédé électrique. — Dans la IV^e partie, les divers types de fours décrits montreront ce qui a été fait et ce qui reste à faire pour la fabrication de l'acier, au moyen de l'électricité. De nombreux expérimentateurs ont entrepris des recherches dans le but de fabriquer plus économiquement au four électrique, de l'acier de meilleure qualité que par tout autre procédé. Nous ne voyons pas pourquoi l'usage de ce four ne se développerait pas, mais nous devons constater que, même dans le cas d'obtention de force motrice à bon marché, les États-Unis et le Canada préfèrent encore les autres types de fours. La majeure partie des grandes firmes ont installé des fours électriques dont elles retirent des avantages marqués. D'après les détails des prix de fabrication que nous avons donnés, on verra que le four électrique occupe actuellement dans l'industrie de l'acier une place aussi importante, sinon plus, que le procédé au creuset.

Les fours employés sont classés de la façon suivante :

1. Fours à arc ;
2. Fours à induction ;
3. Fours à résistance à arc ;
4. Fours combinés à résistance et à arc ;
5. Fours à résistance.

Ces différents types sont décrits et comparés. Nous donnons également les prix de fabrication de ceux actuellement en service ainsi que les prix de revient de l'acier fabriqué.

Matières premières. — Les minerais de fer, les fondants, les combustibles et les matières premières manufacturées, utilisés pour la fabrication de l'acier, que nous avons indiqués, ne sont pas traités d'une façon complète, notre but principal étant plutôt de faire ressortir la valeur commerciale des matériaux employés dans les procédés décrits, que leur valeur chimique et physique, que l'on trouvera dans les ouvrages relatifs à la métallurgie. Toutefois, comme les valeurs physique et chimique influent énormément sur le prix de ces matériaux, nous donnerons, en règle générale, les analyses et compositions des charges ainsi que leurs prix.

Les analyses des matériaux et les compositions des charges ne doivent être considérées que comme des types. A ce sujet, on peut faire de nombreuses variations, selon la nature du procédé de fabrication de l'acier employé et selon l'emploi de matériaux utilisables les meilleur marché et les mieux appropriés. Les prix que nous avons indiqués sont soumis à des variations, aussi ne doit-on les considérer que comme des prix types comparatifs moyens.

Main-d'œuvre. — Puisque le prix de la main-d'œuvre constitue l'un des facteurs importants de la fabrication de l'acier, nous avons essayé de comparer ensemble les prix de la main-d'œuvre et de la cherté de la vie dans les centres les plus importants du monde de fabrication de l'acier. Les statistiques qui sont indiquées ont été obtenues, en partie, aux cours de visites personnelles dans ces régions; les autres proviennent de sources d'informations, dignes de confiance, auxquelles nous faisons allusion dans le texte.

CHAPITRE II

MATÉRIAUX EMPLOYÉS DANS LA FABRICATION DE L'ACIER

La plupart des matériaux décrits dans les sections suivantes sont employés, sous la même forme, dans tous les procédés de fabrication de l'acier. Nous décrirons brièvement les provenances principales ainsi que les caractéristiques des matériaux bruts et manufacturés employés et qui comprennent :

- 1° Les minerais ;
- 2° Les fontes ;
- 3° Les matériaux réfractaires ;
- 4° Les fondants ;
- 5° Les combustibles ;
- 6° Les ferro-alliages.

Dans la section V relative aux « combustibles » on a fait mention des méthodes de production de l'énergie électrique ainsi que de son emploi et de sa valeur commerciale pour la fabrication de l'acier.

SECTION I

MINERAIS DE FER

Il n'existe qu'un petit nombre de procédés de fabrication de l'acier qui transforment directement le minerai en acier. Les phases habituelles de la fabrication sont :

- 1° Du minerai à la fonte ;
- 2° De la fonte au fer (par puddlage et laminage) pour être principalement employé dans les procédés au creuset ;
- 3° De la fonte à l'acier, soit au moyen du Bessemer, soit au moyen du procédé Martin-Siemens ;
- 4° De la fonte à l'acier par transformation partielle au moyen du Bessemer et finissage au four Martin-Siemens ou au four électrique ;
- 5° De la fonte à l'acier par transformation partielle au moyen d'un four Martin-Siemens et finissage au four électrique.

Dans les méthodes ci-dessus, on emploie en différentes proportions pour refondre dans les divers fours des scraps ou déchets d'acier antérieurement obtenus au cours de la fabrication. On emploie également, dans

les procédés des fours à sole, pour l'oxydation des impuretés, une certaine quantité de minerai de fer.

Dépôts de minerais de fer. — Les dépôts de minerais sont très nombreux et varient considérablement en caractère et en étendue. Les demandes toujours croissantes en fer et en acier ont encouragé les recherches et les explorations nouvelles, et les documents qui les concernent montrent que les ressources du monde en minerai de fer, sont inépuisables. Nous donnons plus loin le résumé des réserves mondiales en minerais de fer, extrait des communications¹ faites au onzième Congrès annuel international de géologie de Stockholm en 1910.

Les chiffres de la colonne intitulée « Réserves potentielles » sont ceux des dépôts inférieurs, etc. Les colonnes intitulées « Fer » donnent la teneur en fer métallique du minerai.

TABLEAU I
Résumé des réserves mondiales en minerais de fer
(en millions de tonnes).

CONTINENTS	RÉSERVES ACTUELLES		RÉSERVES POTENTIELLES	
	Minerai.	Fer.	Minerai.	Fer.
Europe	12 032	4 733	41 029	12 029
Amérique	9 855	5 154	81 822	40 731
Australie	136	74	69	37
Asie.	260	156	457	283
Afrique	125	75	Beaucoup.	Beaucoup.

Analyses des minerais de fer. — L'oxyde de fer constitue l'élément principal des minerais de fer ayant une valeur commerciale pour la fabrication du fer et de l'acier. Les minerais de fer sont toujours associés avec les autres minéraux que l'on trouve dans la terre. Le rendement en fer des minerais varie considérablement. Dans le tableau suivant, où nous indiquons les analyses des principaux minerais de fer, nous donnons aussi les pourcentages de fer métallique obtenus avec ceux-ci. On remarquera que le rendement en fer des minerais indiqués, varie de 25,8 p. 100 à 66,6 p. 100. Les minerais les plus riches en fer sont les hématites et les magnésites mais, même parmi celles-ci, il y en a qui sont de qualité médiocre, comme on le remarquera en comparant attentivement ces analyses.

La pureté d'un minerai de fer dépend surtout de l'absence du soufre et du phosphore. La présence de l'un ou de l'autre de ces éléments, avec excès de 0,02 p. 100 à 0,03 p. 100 est considérée comme préjudiciable dans les aciers au creuset employés pour les outils à coupe rapide, car dans ce cas, l'emploi des minerais purs, tel que celui figurant sous le

¹ *Ressources du monde en minerai de fer.* Stockholm, 1910.

TABLEAU II
Analyses centésimales des principaux minerais de fer.

N ^{os}	PROVENANCE DES MINERAIS	FeO ³	FeO	MnO	Al ² O ³	CaO	MgO	SiO ²	P ² O ⁵	FeS ²	CO ²	H ² O	RÉSIDU INSOLUBLE	FER MÉTALLIQUE
1	Magnétite anglaise	62,2	46,20	0,14	2,28	2,34	0,37	0,24	0,10	0,07	—	0,34	46,26	57,01
2	—	44,4	20,00	0,16	5,20	0,6	4,0	—	0,5	0,04	—	2,5	24,2	46,63
3	—	84,46	44,06	2,38	0,6	—	—	2,50	—	—	—	2,1	—	63,02
4	—	58,93	27,55	0,1	0,29	0,38	0,61	12,54	traces	0,04	0,12	—	—	62,6
5	Hématite rouge	95,46	—	0,24	—	0,07	—	—	traces	traces	—	—	5,68	66,6
6	—	86,50	—	0,21	—	2,77	4,46	—	traces	0,41	2,96	—	6,55	60,55
7	—	90,50	—	0,08	traces	0,06	—	—	0,09	traces	—	9,22	4,07	63,04
8	—	52,83	—	0,81	—	14,61	5,7	—	0,32	0,28	18,44	4,75	0,04	36,98
9	—	—	55,64	Mn métal 2,80	—	0,92	4,77	—	—	—	38,35	—	—	43,27
10	—	0,81	43,84	Mn métal 9,80	—	0,28	3,63	—	—	—	38,86	0,18	0,08	34,67
11	Minerai de fer argileux	—	52,04	0,92	4,3	0,53	0,85	—	0,21	0,43	32,31	0,46	41,44	40,84
12	—	4,20	35,38	0,94	0,8	2,78	2,22	—	0,48	0,18	25,41	1,11	28,0	28,76
13	—	0,23	53,82	—	—	4,51	0,28	2,0	—	—	34,39	—	7,7	41,6
14	— des houillères (Blackband)	—	37,07	0,23	—	6,61	7,4	2,7	0,23	traces	36,44	—	9,8	28,83
15	Cleveland	3,6	39,92	0,95	7,86	7,44	3,82	7,42	4,86	0,41	22,85	2,97	4,64	33,62
16	—	—	33,17	0,50	3,92	11,90	4,52	—	0,48	—	25,0	3,65	43,22	25,8
17	Minerai de fer des marais et lacs	70,46	—	—	5,88	—	—	13,04 (Sable)	—	—	—	11,12	—	49,32
18	—	62,59	—	MnO ² 8,52	—	—	—	11,37	1,50	—	—	16,02	—	43,82
19	Minerai du Luxembourg	60,06	—	traces	6,3	6,23	0,39	9,61	1,98	(SO ²) 0,47	4,88	10,45	—	—
20	—	42,47	—	—	5,93	9,47	0,5	27,40	1,61	(SO ³) 0,12	7,15	6,42	—	42,04
21	— de Bilbao	90,50	—	4,2	—	0,634	—	4,88	—	—	—	5,8	—	29,72
22	—	77,85	(Fe ² O ⁴)	—	4,5	0,5	—	8,5	—	—	—	10,6	—	62,44
23	Suède, Tuolluvaare	4,41	91,05	0,46	0,46	0,28	4,12	3,42	0,05	(S) 0,011	—	—	—	54,5
24	Erzberg cru	19,5	32,25	3,50	4,26	5,92	4,06	4,08	0,034	(SO ²) 0,202	27,62	0,84	—	—
25	— calciné	74,48	4,23	4,29	4,61	6,49	4,14	8,49	0,059	(SO ³) 0,432	2,64	0,44	—	—

Analyses par : 1, Riley; 2, Dr Noad; 5, 6, 7, 8, Dick; 9, Karsten; 10, Spiller; 11, Dick; 12, Spiller; 13, Colquhoun; 14, Price et Nicholson; 15, Dick; 16, Tooke; 17, Schenck; 18, Senf; 19 et 20, Bell; 23, Dagerfors Iron Works Laboratory; 24 et 25, Oesterreichische Alpine Montan-Gesellschaft (Bauerman).

n° 4 du tableau et qui représente le minerai le plus employé provenant des mines de Dannemora en Suède, est tout indiqué pour les meilleures qualités d'acier à outil.

La présence d'un pourcentage plus élevé en phosphore et en soufre, c'est-à-dire de 0,04 p. 100 à 0,08 p. 100, dans les aciers tels que ceux qui sont employés pour les moulages d'acier, le bâtiment, les rails, les tôles et autres choses du même genre, n'est pas aussi préjudiciable et dans ce cas l'on emploie des minerais de fer contenant davantage de soufre et de phosphore. Néanmoins le recours à l'emploi des minerais impurs doit être attribué au prix excessif et aux ressources limitées des minerais plus purs.

Depuis l'introduction des revêtements basiques dans les divers fours à acier, l'élimination du phosphore des minerais constitue un fait accompli, mais avant cette époque, la plupart de ces minerais phosphoreux, quelle que soit leur valeur, ne pouvaient être utilisés à la fabrication de l'acier. L'élimination du soufre ne se fait pas aussi facilement et, en réalité, les divers procédés employés à cet effet ne permettent que d'en éliminer une faible partie. Il reste encore à entreprendre des recherches en vue de trouver une méthode économique et simple, permettant d'enlever le soufre des minerais et empêchant celui contenu dans le combustible, de se combiner à l'acier pendant sa fabrication.

Prix des minerais de fer. — La valeur commerciale d'un minerai de fer ne dépend pas seulement de son rendement en fer métallique ni de l'absence des éléments nuisibles, mais aussi du prix de la main-d'œuvre et du matériel nécessaires à son extraction, du prix de son transport au fourneau, du prix du combustible, du fondant et de la main-d'œuvre nécessaires pour sa fusion. Certains dépôts de minerais de fer sont situés à une telle distance des centres de fabrication du fer et de l'acier qu'ils coûteraient à la mine pour les transporter sur le marché le plus proche, plus chers qu'ils n'auraient de valeur pour le consommateur.

D'une façon générale et autant que la chose soit possible, l'établissement des hauts fourneaux et des aciéries se fait à proximité des mines de façon à réduire au minimum le prix de transport du minerai au fourneau.

Dans son ouvrage « *Manufacture of Iron and Steel* », Sir I. Lowthian Bell a entièrement traité les différents chapitres du prix intéressant l'extraction du sol des différentes catégories de minerais, ainsi que les prix de la main-d'œuvre et des matériaux nécessaires pour extraire le fer métallique de ces minerais. Il a établi⁴ que le poids moyen de minerai de Cleveland exploité par homme et par journée de travail de sept heures, fut le suivant dans les années indiquées :

1873	1877	1880
5,05 tonnes.	5,25 tonnes.	5,35 tonnes.

Le gain net du mineur par journée, après paiement de la poudre et de l'huile consommées, était :

⁴ Bell, *Manufacture of Iron and Steel*, p. 647.

	1873	1877	1880
Lorsque le prix de vente du fer était de	129,65 fr.	53,90 fr.	54,15 fr. la tonne.
Gain net par journée	8,75 fr.	6,05 fr.	6,25 fr. la tonne.

Les prix de vente moyens du minerai de Cleveland par tonne de 1020 kilogrammes (20 cwts) rendu à Middlesbrough, point central, durant les années suivantes furent de

1870	1873	1877	1879	1883
6,25 fr.	8,75 fr.	6,25 fr.	5,40 fr.	6,25 fr.

Or, comme il faut de 3315 à 3461 kilogrammes de minerai de Cleveland pour produire une tonne de fonte, les prix du minerai de fer par tonne de fonte était en 1883 de 20,30 fr. à 21,25 fr.

Les prix des minerais varient beaucoup, tant aux mines qu'aux fourneaux, suivant les divers pays. Dans certaines mines, la dureté du minerai est telle que le mineur ne peut guère en extraire plus d'une tonne par jour contre 5 tonnes et plus dans d'autres mines. Le prix au fourneau est également influencé par le prix du transport. Nous donnons ci-dessous les prix de quelques minerais différents, rendus prêts pour la fusion, aux hauts fourneaux.

TABLEAU III

Prix des minerais de fer, 1910.

PROVENANCE DES MINERAIS	BESSEMER	NON BESSEMER	RENDEMENT en fer.	REMARQUES
Lac Supérieur ¹	Old Range	20/10	—	} 2/1 à 4/2 selon la situation du fourneau.
	Mesabi	19/9 $\frac{1}{2}$	—	
	Old Range	—	17/6	
	Mesabi	—	16/8	
Bilbao Rubio (meilleur) (au port anglais).	—	22/6	50	} P. 100. 55 55 51,5 51,5 66 66 60 34,24 34,24
	—	19/	66	
Minerais de Suède ¹	en Westphalie.	—	66	
	au Rhin	—	66	
Minette ²	aux ports anglais N. E.	—	22/ à 25/	
	en Westphalie.	—	9/3	
	au Rhin.	—	9/3 $\frac{1}{2}$	

Emplois des minerais de fer. — La plupart des minerais de fer employés à la fabrication de l'acier sont préalablement transformés en fonte et il n'y a qu'une très faible proportion de ces minerais employée à

¹ *Mineral Industry*, 1910, p. 416.

² *Iron and Coal Trades Review*, vol. 81, p. 367.

la fabrication directe de l'acier ou utilisée comme oxydants dans les procédés sur sole.

En 1910, la production mondiale de la fonte a été de 65 860 260 tonnes¹. Dans ce tonnage, les trois principaux pays producteurs d'acier entrent respectivement dans une proportion de

États-Unis	40,4 p. 100.
Allemagne	22,4 —
Royaume-Uni	15,8 —

SECTION II

FONTE

Le tableau suivant indique la quantité de minerai employé, par les trois principaux pays producteurs ainsi que les quantités de fonte et d'acier acide ou basique fabriquées en 1910.

TABLEAU IV

Production en 1910 de minerai, fonte et acier.

	TONNES de minerai de fer.	TONNES de fonte.	TONNES d'acier produit.
États-Unis ²	53 267 397	27 636 687 ⁵	26 094 919
Allemagne ³	28 231 000	14 793 325 ⁵	13 482 199
Grande-Bretagne ⁴	14 979 979 (1909)	10 380 212 ⁵	6 010 684

La marche annuelle de la production de fonte et d'acier durant les dix dernières années du xx^e siècle a sans cesse été en augmentant jusqu'en 1910, époque à laquelle elle était presque le double de la production de 1901. Il est intéressant de remarquer que le développement de la fabrication de l'acier a été beaucoup plus rapide dans certains pays que dans d'autres. Notre plus grave souci est de voir décliner les progrès de notre propre pays. Dans son admirable ouvrage sur la « *Manufacture of Iron and Steel* », publié en 1882, Sir I. Lowthian Bell écrivait⁶ : « Au point de vue industriel, la Grande-Bretagne a prouvé sa puissance comme centre de la fabrication du fer, tel qu'elle était dans les trois premières décades du siècle actuel, avec ses minerais les moins précieux. Les fourneaux du pays de Galles et du Staffordshire furent presque exclusivement alimentés durant plusieurs années avec des nodules, et avec une petite quantité de ces

¹ *Mineral Industry*, 1910, p. 381.

² et ⁵ *Mineral Industry*, 1910, pp. 3, 5, 381.

³ et ⁴ *Iron and Coal Trades Review*, vol. 82, pp. 580, 775, 836.

⁶ Bell, *Manufacture of Iron and Steel*, p. 646.

minerais de fer argileux extraits des schistes des assises de houille ». Si Sir I. Lowthian Bell vivait encore aujourd'hui, tout en admettant que la puissance industrielle de son pays doit être attribuée à l'emploi continu de ses minerais, il serait bien obligé d'admettre que cette suprématie industrielle jouée par l'Angleterre à l'époque indiquée ne doit plus être revendiquée par ce pays. L'examen du tableau V montrera que les Etats-Unis est le pays producteur le plus fort du monde, vient ensuite l'Allemagne puis seulement l'Angleterre.

TABLEAU V
Production mondiale de fonte et d'acier¹.
(En tonnes.)

PAYS	FONTE			ACIER		
	1901	1906	1910	1901	1906	1910
Autriche et Hongrie . . .	1 300 000	1 403 500	2 010 000	1 142 500	1 195 000	2 154 832
Belgique	765 420	1 431 160	1 803 500	526 670	1 185 660	1 449 500
Canada	248 896	550 618	752 053	26 501	515 200	835 487
France	2 388 823	3 319 032	4 032 459	1 425 351	2 371 377	3 506 497
Allemagne.	7 785 887	12 478 067	14 793 325	6 394 222	11 135 085	13 698 638
Italie	25 000	30 450	215 000	121 300	109 000	635 000
Russie	2 869 306	2 350 000	2 740 000	2 230 000	1 763 000	2 350 000
Espagne.	294 118	387 500	367 000	122 954	251 600	219 500
Suède.	528 375	552 250	604 300	269 897	351 900	468 600
Empire britannique . . .	7 977 459	10 311 778	10 380 212	5 096 301	6 565 670	6 106 856
Etats-Unis d'Amérique. .	16 132 408	25 706 882	27 636 687	13 689 173	23 772 506	26 512 437
Autres pays.	635 000	650 000	525 000	405 000	420 000	315 000
TOTAUX.	40 950 692	59 074 861	65 860 260	31 449 869	49 635 998	58 252 234

Analyse des fontes. — Les analyses des fontes sont presque aussi nombreuses² que celles des minerais dont elles sont extraites, mais au point de vue de la fabrication de l'acier, on peut généralement les classer en sept catégories :

- 1° Fontes désignées sous le nom de fontes de forges ;
- 2° Fontes pour la fabrication de l'acier Bessemer basique ;
- 3° Fontes pour la fabrication de l'acier Bessemer acide ;
- 4° Fontes pour la fabrication de l'acier Martin-Siemens basique ;
- 5° Fontes pour la fabrication de l'acier Martin-Siemens acide ;
- 6° Fontes pour la fabrication de l'acier par les procédés électriques ;
- 7° Fontes pour la fabrication de l'acier par les procédés « duplex ».

Chacune de ces catégories peut se subdiviser en un certain nombre de groupes, les fondeurs produisant différentes sortes de fontes désignées.

¹ *Mineral Industry*, 1910, pp. 381 et 382.

² M. N. Lilienberg a donné dans les « *Bihang till Jernkontorets Annaler* », 1903, pp. 202-206, les analyses de 137 sortes de fontes américaines.

par des noms ou des marques spéciaux, qui indiquent aux consommateurs le degré de pureté approprié aux différentes sortes d'acier demandées.

Les tableaux que nous publions ci-dessus donnent les analyses des fontes dans l'ordre que nous venons d'indiquer, dispositif que nous jugeons supérieur à un groupement général de toutes ces fontes en un seul tableau.

TABLEAU VI

1. Fontes dont on produit le fer par puddlage ou autres procédés, et qui après laminage est employé dans les procédés au creuset.

N ^{os}	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGA- NÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.	CUIVRE p. 100.	ARSENIC p. 100.
1	Styrie	3,5-4,2	0,11-0,24	0,8-2,4	0,03-0,07	0,02	0,005	—
2	Dannemora (Suède).	4,5	0,08	1,77	0,018	0,015	0,015	0,035
3	Goldsmédhütte. . .	4,0	0,73	0,11	0,051	—	—	—
4	Des minerais de l'Erz- berg	3,57	0,25	1,37	0,04	0,04	—	—

1, *Proceedings Institute of Civil Engineers*, vol. CXXII, p. 470.

2 et 3, *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, II, p. 686.

4, *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, III, p. 35.

TABLEAU VII

2. Fontes pour Bessemer basique.

N ^{os}	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈES p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.
1	Yorkshire.	2,5	0,56	1,4	2,75	0,068
2	—	2,5	1,10	1,5	2,75	0,06
3	Nouvelle-Galles. . .	—	0,6	2,0	2,0	0,07
4	Staffordshire	—	1,0	2,3	3,3	0,05
5	East Coast	3,1	1,0	1,2	1,8	0,05
6	—	—	0,55	2,25	2,7	0,05
7	—	—	0,5-1,0	1,5-2,0	1,8-3,0	0,06-0,08
8	—	—	1,5-3,0	0,5-0,75	1,45-1,55	0,04-0,06
9	Allemagne.	—	0,75	1,5	2,0	0,5
10	—	—	0,1-0,8	1,0-1,5	1,5-2,5	0,13-0,6
11	Luxembourg.	—	1,19	0,63	1,86	0,05
12	Lorraine.	—	1,32	0,61	1,75	0,08
13	—	—	0,42	1,18	2,47	0,13
14	Autriche.	—	0,54	1,0	1,95	0,23
15	Witkowitz.	—	0,11	1,16	3,46	0,09
16	—	—	0,62	1,38	2,0	0,08
17	—	—	0,79	—	0,9	—

7 et 8, *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, I, p. 106.

9 et 17, *Wedding, Procédé basique*, p. 92.

Suivant la qualité désirée de l'acier, les fabricants composent la charge d'une ou deux sortes de fonte.

TABLEAU VIII

3. Fontes pour Bessemer acide.

N ^{os}	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.
1	Ecosse	4,0	3,5-3,8	0,8	0,03	0,03
2	Ecosse	3,15	3,0	1,45	0,049	0,025
3	East Coast	4,0	2,8	1,065	0,04	0,025
4	—	4,10	2,5	—	0,05	0,03
5	—	3,8	3,0	1,32	0,04	0,03
6	West Coast	3,93	1,0-3,0	9,5-0,8	0,03	De traces à 0,03
7	—	3,7	3,0	0,7	0,03-0,01	0,01
8	S. Wales	3,67	2,5	0,5	0,06	0,03
9	Allemagne	3,76	2,52	3,9	0,07	0,03
10	Amérique (Chateau- gay)	—	2,50	—	0,025	0,015
11	Amérique	3,8-4,5	1,8-3,0	0,5-2,0	0,06 max.	0,05 max.
12	Suède	4,0-4,5	1,0	1,5-4,0	0,03	0,03

9, *Journal Iron and Steel Institute*, 1908, I, p. 322.

10, Pilling et Crane, New-York.

11, D'après une communication faite par M. Simonson, directeur général de la Tropenas Converter Co, à une réunion de la *Philadelphia Foundrymen's Association* 6 janvier 1909.

12, Akerman, *American Inst. of Mining Engineers*, vol. XXX, p. 268.

TABLEAU IX

4. Fontes pour Martin-Siemens basique.

N ^{os}	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.
1	Lincolnshire	—	0,75	1,5-2,0	1,5-2,0	0,07
2	Yorkshire	2,5	0,337	1,68	2,63	0,042
3	East Coast	—	0,75	1,5	1,5	0,07
4	—	3,1	1,0	1,2	4,8	0,05
5	Nouv.-Galles	3,71	0,9	2,98	2,78	0,035
6	—	—	0,7	2,5	2,0	0,06
7	États-Unis	3,5-4,0	0,5-1,0	0,0-0,5	0,5-1,0	0,05-0,1
8	— (Four Tal- bot)	3,7	1,0	0,4	0,9	0,06
9	Belgique	3,0	0,2	1,5	2,2	0,04

2, *Colliery Guardian*, vol. IX, p. 403.

7 et 8, *Iron Age*, vol. IXX, 7 août. p. 21.

9, *Journal of West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. VII.

TABLEAU X

5. Fontes pour Martin-Siemens acide.

Ces fontes diffèrent très peu de celles employées pour le Bessemer acide. Elles sont utilisées, soit avec faible teneur de silicium, soit avec forte teneur de cet élément, suivant la quantité des scraps d'acier doux employée.

Nos	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.
1	Ecosse	3,5	2,5-3,0	0,7-0,8	0,04-0,05	00,2-0,03
2	West Coast	3,67	1,0-3,0	0,5-0,8	0,03	De traces à 0,03
3	—	3,65	2,5	0,7	0,04	0,02
4	East Coast	4,00	2,5	1,0	0,04	0,02
5	S. Wales	3,3	2,1	1,15	0,045	0,03
6	—	3,61	2,0	0,5	0,06	0,05
7	Etats-Unis (Chateau- gay)	—	2,0-2,5	—	0,02-0,03	0,013-0,017

TABLEAU XI

6. Fontes diverses pour les procédés électriques.

Nos	PROVENANCE	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.	CUIVRE p. 100.	ARSENIC p. 100.
1	Fonte d'Herräng.	—	0,15	0,025	0,009	0,01	—	—
2	Fonte de Danne- mora	4,5	0,08	1,17	0,018	0,015	0,015	0,035
3	Goldsmédhütte .	4,0	0,73	0,11	0,051	—	—	—

1, *Transactions of the American Electrochemical Society*, vol. XV, p. 180.
2 et 3, *Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, vol. III, p. 447.

TABLEAU XII

7. Fontes employées pour les procédés complexes.

(Procédés duplex, fonte et minéral, continu, etc.)

Nos	PROCÉDÉS	CARBONE p. 100.	SILICIUM p. 100.	MANGANÈSE p. 100.	PHOSPHORE p. 100.	SOUFRE p. 100.
1	Bessemer et four « Witkowitz » 1878	3,7	1,2	2,7	0,2	0,02
2	Procédé Daelen-Pscholka . . .	3,5	1,5	2,2	—	—
3	— Bertrand-Thiel	3,25	0,654	2,4	2,42	0,076
4	— Monell	3,9-4,1	0,5-0,9	0,8-0,9	0,5-0,8	0,04-0,09
5	Surzycki	jusqu'à 3,0	0,8-1,9	0,6-1,5	0,5-0,8	0,02-0,10
6	Procédé Talbot (Etats-Unis ⁴). .	4,0	1,0-1,25	0,65	0,1	0,06
7	— — Frodingham	—	0,75-1,25	2,0	1,75-2,0	0,06

1, 2 et 4, *Iron Age*, vol. 76, p. 609.

3, *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, I, p. 127.

5, *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, I, p. 113.

6, *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 59.

7, *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 63.

⁴ Aux Etats-Unis, les fontes sont classées comme fontes Bessemer ou non-Bessemer, selon qu'elles contiennent moins ou plus de 0,1 p. 100 de P.

En ce qui concerne les fontes indiquées dans les tableaux de VI à XII, elles sont souvent utilisées en mélange avec des scraps d'acier et de fer, du minerai; des battitures, etc., selon la nature du procédé.

Prix de la fonte. — Le prix de revient de la fonte dépend, du prix du minerai rendu au haut fourneau, des prix et quantités de combustible et de fondant nécessaires par tonne de métal fondu, du prix de la main-d'œuvre, du type de fourneau employé, enfin de l'espèce de fonte fabriquée.

Certains minerais sont suffisamment riches en chaux pour n'exiger l'emploi que de peu ou pas de fondant, tandis que pour d'autres il faut employer de 1000 à 1500 kilogrammes de calcaire pour produire une tonne de fonte¹.

La quantité de coke nécessaire par tonne de fonte liquide, varie de 1 à 1,5 t.

Les prix de la main-d'œuvre et le type de fourneau employé, varient avec les divers pays et en ce qui les concerne, il est assez difficile de donner des prix de revient comparatifs avec exactitude². Sir I. Lowthian Bell a donné un tableau montrant les prix comparatifs du coke (ou de la houille à coke), du minerai et du calcaire employés pour la fabrication d'une tonne de fonte dans divers pays, calculés d'après le prix de vente de ces matériaux et ramenés à la fonte Cleveland n° 3 prise comme égale à 100.

A l'époque de ce travail, la Cleveland n° 3 se vendait 47,25 fr. la tonne (en juin 1912, le prix était de 72,13 fr.) et pour l'hématite du Cumberland et du Lancashire, le minerai valait 16,38 fr. la tonne. Nous donnons ci-dessous ce tableau.

TABLEAU XIII

Prix comparatifs de production de la fonte.

PAYS ET LOCALITÉS	PRIX COMPARATIFS DU COKE (ou houille à coke), du minerai et du calcaire employés à la production d'une tonne de fonte, basés sur la fonte Cleveland N° 3 prise comme égale à 100.		
	Cleveland N° 3.	Fonte de forge.	Bessemer.
Angleterre :			
Middlesbrough.	100	98	123
Northumberland	—	—	120
South Wales.	—	120	125
Ecosse (mélanges)	112	112	112
Allemagne :			
Ouest de l'Allemagne.	100	85	—
Luxembourg.	—	90	—
Ilsede	—	80	—
Westphalie.	140	{ commune 103 } { meilleure 135 }	140

¹ Bell, « *Manufacture of Iron and Steel* », p. 673.

² Hugo Carlsson a donné un compte rendu de la production de la fonte en Suède dans « *Technisk Tidskrift* », Stockholm, 1906, Partie générale, pp. 125-127, dans lequel on trouve d'importants détails sur le bon marché de la production.

PAYS ET LOCALITÉS	PRIX COMPARATIFS DU COKE (ou houille à coke), du minerai et du calcaire employés à la production d'une tonne de fonte, basés sur la fonte Cleveland N° 3 prise comme égale à 100.		
	Cleveland N° 3.	Fonte de forge.	Bessemer.
France :			
Département de Meurthe-et-Moselle	137	110	—
Environs de Nancy	—	103 et 90	—
Sud de Nancy	129	123	214
Environs de Saint-Etienne	—	—	221-230
Centre de la France	—	156-187	(En 1867 : 212)
Belgique	120	102	140

Le tableau XIV donne le prix moyen de la fonte par tonne produite aux États-Unis d'Amérique durant les années 1902-1906, d'après les statistiques préparées par M. le Commissaire Knox, du bureau des Corporations, chargé d'enquêter sur les prix de l'acier dans les usines types.

TABLEAU XIV

Prix de revient de la fonte Bessemer aux États-Unis d'Amérique¹
(tous les districts) durant 1902-1906.

(Tonnage total produit : 51.902.699.)

DÉTAILS DU PRIX DE REVIENT	PRIX PAR TONNE	PRIX DE REVIENT par tonne de fonte.
	francs.	francs.
Mélange métallique, total net	20,84	38,35
Coke	17,69	20,42
Calcaire	—	2,25
Main-d'œuvre ²	—	4,04
Vapeur	—	0,63
Matériaux de réparation et d'entretien	—	0,84
Approvisionnements et outillage	—	0,68
Divers et frais d'entretien	—	1,47
Frais généraux	—	1,89
Perfectionnement et renouvellement	—	0,94
Dépréciation	—	2,04
TOTAL		73,55

¹ *Iron Age*, vol. 82, p. 1987.

² Le chapitre main-d'œuvre ne comprend pas, par rapport au tonnage, la main-d'œuvre de déchargement des matières premières, ni celle employée à la production de la vapeur, car certaines compagnies les comprennent dans le prix des matières premières et dans le chapitre « vapeur ».

Prix de vente de la fonte. — Comme règle générale, les fabricants d'acier contractent, pour les approvisionnements de fonte, un marché à prix fixe basé sur le prix le plus favorable, pour des périodes de trois, six, neuf et douze mois. Toutefois, les prix du marché sont sujets à des fluctuations très grandes. Nous donnons ci-dessous les prix de vente moyens de la fonte en Angleterre, en Amérique et en Allemagne.

Prix moyens.

ANNÉE	ANGLETERRE Cleveland.		AMÉRIQUE Pittsburg.		ALLEMAGNE Siegen.	
	Acide.	Basique.	Acide.	Basique.	Acide.	Basique.
1910.	francs. 83,16	francs. 66,15	francs. 89,77	francs. 81,95	francs. 88,20	francs. 73,71

Le tableau suivant montre les fluctuations des prix pendant 1910.

TABLEAU XV
Fluctuations des prix de la fonte.

N ^o		29 DÉCEMBRE 1909 par tonne.	28 DÉCEMBRE 1910 par tonne.	CHANGEMENTS par tonne.
		francs.	francs.	francs.
1	Amérique : N ^o 2 × Fonderie, Philadelphie	99,75	81,37	baisse de 18,38
2	N ^o 2, Southem, New-York	98,43	81,37	— 17,06
3	Basique, Philadelphie	98,43	77,43	— 21,00
4	Angleterre : Fonte acide	de 78,75 à 79,38	de 81,27 à 83,16	augm. de 2,52 à 3,78

1, 2 et 3, *Mineral Industry*, 1910, p. 373.

SECTION III

MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

Les matériaux réfractaires employés dans les différents procédés de fabrication de l'acier, se trouvent en abondance dans toutes les parties du monde. Les principaux d'entre eux sont les diverses argiles, constituées principalement par un mélange de silice et d'alumine hydratées, combiné en diverses proportions, avec de nombreuses substances différentes, selon la région d'exploitation. La nature réfractaire des argiles, dont la caractéristique est de résister à l'action du feu, diffère aussi bien à l'état naturel qu'à l'état manufacturé. Citons parmi les argiles réfrac-

taires : les briques réfractaires, les ciments siliceux, les briques siliceuses (briques Dinas), le ganister, etc. Les autres matériaux réfractaires, qui sont surtout employés dans le procédé basique, sont : la chaux, la magnésie, la chaux magnésienne (dolomie, qui est un carbonate double de chaux et de magnésie). La chrômite, oxyde double de fer et de chrôme, la bauxite, oxyde de fer et d'alumine, ainsi que beaucoup d'autres substances réfractaires, ayant des noms différents, suivant les proportions plus ou moins grandes de l'un ou l'autre des éléments qui les composent.

Comme conséquence des recherches modernes, la fabrication des matériaux réfractaires a beaucoup été perfectionnée. Les expérimentateurs n'ont pas seulement analysé les diverses argiles susceptibles d'être employées au revêtement des fours destinés à la fabrication de l'acier ou adjoints à cette fabrication, mais ils ont déterminé les points de fusion de ces argiles, mélangées en différentes proportions, avec d'autres substances. Ils ont également indiqué la façon dont les diverses opérations de la transformation des matériaux réfractaires en briques, pouvaient influencer la durée des revêtements des fours qui sont exposés à de très hautes températures.

Dans la pratique, la plupart des fabricants d'acier se sont trouvés en présence des difficultés créées quand, par un accident ou par une irrégularité dans la qualité, un mauvais réfractaire a été fourni à la place des matériaux habituels. Les pertes de chaleur, l'usure rapide des revêtements ont non seulement gêné la fusion de l'acier mais encore fait douter de la qualité de l'acier fabriqué. La classification des produits bruts ou finis, par des essais chimiques, mécaniques, réfractaires et de densité réduira au minimum les ennuis du fabricant d'acier.

Classification des matériaux réfractaires. — Au point de vue de la fabrication de l'acier, les matériaux réfractaires peuvent se classer en trois catégories :

1. Les matériaux siliceux ou acides ;
2. Les matériaux non siliceux ou basiques ;
3. Les matériaux neutres, non siliceux et non basiques.

Les matériaux siliceux sont employés dans les procédés connus sous le nom de procédés acides, les matériaux basiques dans les procédés basiques, et les matériaux neutres sont employés en combinaison avec l'un et l'autre, c'est-à-dire dans les fours dont la sole est faite avec des matériaux basiques, tandis que les parois et les voûtes sont faites avec des matériaux acides, et entre ces deux sortes de matériaux on dispose un rang de briques neutres.

Matériaux siliceux.

Description générale. — Les matériaux siliceux, employés dans la fabrication de l'acier, proviennent des argiles réfractaires. Ce sont : le ganister, (nom d'origine d'une roche très fortement siliceuse que l'on trouve près de Sheffield, — et également donné à une roche siliceuse contenant un peu d'argile, trouvée n'importe où, et pouvant facilement se broyer et se mélanger en diverses proportions pour produire un revêtement réfractaire pour les convertisseurs, les cubilots et autres fours), —

le ciment siliceux (substance qui, mélangée avec de l'eau, est employée en mortier pour faire les joints des briques), — les briques réfractaires et les briques siliceuses.

Les marques données aux briques manufacturées, aux ciments et aux argiles sont nombreuses; mais les matières premières avec lesquelles ils sont fabriquées, ainsi que la méthode de fabrication employée, ont une influence très importante sur la qualité et le prix de ces produits. Le tableau suivant donne impartialement les analyses des argiles anglaises, américaines et du continent.

TABLEAU XVI

Analyses centésimales des argiles réfractaires anglaises, américaines et du continent.

NUMÉROS	PROVENANCE	SiO ²	Al ² O ³	Fe		CaO	MgO	ALCALIS	TiO ²	H ₂ O et matières organiques.	TOTAL
				FeO	Fe ² O ³						
1	Newcastle-on-Tyne.	53,50	27,75	—	2,01	0,67	0,75	2,63	—	10,53	98,84
2	Dowlais (Galles du Sud).	67,42	21,18	—	1,85	0,32	0,84	2,02	—	7,41	100,44
3	Stourbridge	63,30	23,30	1,8	—	0,73	—	—	—	10,3	99,43
4	Staffordshire.	51,80	30,40	4,14	—	—	0,50	traces.	—	13,11	99,95
5	Glasgow.	66,16	22,54	5,31	—	1,42	traces.	—	—	3,14	98,57
6	Irlande	79,40	12,25	—	1,30	0,50	—	—	—	5,20	98,65
7	Belgique.	57,08	30,04	—	0,67	0,56	0,18	2,10	—	8,45	99,08
8	Schöningen (Hanovre).	59,01	24,26	—	4,04	1,32	0,72	1,20	—	10,24	100,79
9	Hayange (Moselle).	66,40	19,80	—	6,30	—	—	—	—	7,50	99,70
10	Vallend près de Coblenze	55,46	31,74	—	0,59	0,19	0,44	3,17	—	9,37	100,66
11	Bibbville, Alabama.	74,25	17,25	—	1,19	0,40	traces.	0,52	—	6,30	99,91
12	Mecca, Indiana.	63,00	23,57	0,46	1,87	0,44	0,89	2,69	1,10	6,45	100,47
13	New Brighton, Pensyl.	61,75	23,66	1,93	—	0,45	0,35	2,44	1,78	7,20	99,53

1, Hugh Taylor; — 2, E. Riley; — 3, C. Tookey; — 4, T.-H. Henry; — 5, J. Brown; — 6, T.-H. Henry; — 7, Bishof; — 8, Strong; — 9, Salvétat; 11, 12 et 13, Standard American Clays, N. Ries, note professionnelle n° 11 U. S. A. Geological Survey.

On remarquera que dans toutes ces argiles, les principaux constituants de chacune sont la silice et l'alumine. Le silicate d'alumine pur ($Al_2O_3 + 2 SiO_2 + 2 H_2O$) qui est très fortement réfractaire, contient 46 p. 100 d'alumine à l'état calciné, mais ce chiffre est purement théorique car ce composé ne peut être obtenu à l'état pur dans la pratique.

Il est¹ d'ailleurs établi que les briques réfractaires indiquées comme contenant cette quantité, sont constituées par des mélanges d'argile et de bauxite, ce qui les rend fusibles à haute température. Ces briques se contractent en outre beaucoup en se refroidissant.

Substances nuisibles dans les argiles employées comme argiles réfractaires. — Les substances les plus nuisibles dans les argiles employées dans les fours, sont celles qui tendent à les rendre fusibles et à leur communiquer une dilatation ou une contraction trop

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXIII, p. 421.

grande. Il est probable qu'à ce point de vue, les alcalis et les oxydes de fer, jouent un certain rôle. Il est essentiel que la totalité des alcalis ne dépasse pas 2 p. 100 dans les briques réfractaires, et même, qu'autant que possible, il n'y en ait pas plus de 1 p. 100. Dans les briques très siliceuses, la présence de même 1 p. 100 d'alcali y est nuisible, car ce sont les briques qui n'en contiennent pas du tout qui donnent les meilleurs résultats. Les oxydes de fer ne sont pas si dangereux, il peut sans inconvénient y en avoir jusqu'à 2 ou 3 p. 100 s'il n'y a pas ou peu d'alcalis. Dans le tableau ci-dessous, nous donnons les points de fusion d'une argile convenablement lavée, mélangée en diverses proportions avec d'autres substances.

TABLEAU XVII

Tableau donnant les points de fusion de produits obtenus en mélangeant une argile bien lavée avec d'autres substances¹.

SUBSTANCE AJOUTÉE A L'ARGILE LAVÉE	p. 100	POINT DE FUSION en degrés C.
Carbonate de lithium	20	1330
— de magnésium	10	1380
Bioxyde de manganèse	20	1400
Carbonate de calcium	20	1450
Oxyde de fer	20	1610
Scorie infusible	50	1700
Verre	20	1710
Oxyde de titane	20	1730
— de zinc	20	1760
— de plomb	20	1770
Argile non mélangée	—	1780
Feldspath	20	1810 ²
Alumine	20	1810
Oxyde de chrome	15	1810

La limite de résistance à la chaleur, des briques les plus fortement réfractaires, a été donnée par W.-A. Stanton³ comme étant égale à 1843°C. Il montre aussi qu'il n'y a qu'une ou deux marques supportant cette température et qu'il est plus régulier d'admettre les températures de 1650 à 1700° comme représentant les plus élevées qui puissent être supportées par les meilleures briques réfractaires. Les températures sont généralement déterminées au moyen des cônes de Seger. Dans des expériences entreprises sur ce sujet par O. Boudouard⁴, celui-ci a trouvé que le point de fusion de la silice pure était de 1830°C mais qu'il est ramené de 1830° à 1690°C quand la silice se trouve mélangée à 14,5 p. 100 d'alu-

¹ *Revue de Métallurgie*, 1904, II, p. 92.

² Il est évident qu'il doit y avoir erreur en ce qui concerne les résultats du mélange avec le feldspath, car la quantité ajoutée de ce composé représente une addition de 3 p. 100, de potasse, ce qui doit par conséquent abaisser le point de fusion.

³ États-Unis, *Geological Survey Bulletin*, n° 256, pp. 77-78.

⁴ *Journal Iron and Steel Institute*, 1906, IV, p. 751.

mine. Lorsque la quantité d'alumine dépasse 14,5 p. 100, le point de fusion augmente aussi, de sorte que pour un mélange de 63 p. 100 d'alumine et 37 p. 100 de silice, la température de fusion atteint 1890°C.

Analyses des briques argileuses et des briques de silice. — Les tableaux suivants donnent les analyses centésimales types, des briques argileuses et des briques de silice.

TABLEAU XVIII
Analyses des briques argileuses.

	1	2
SiO ²	63,09	71,02
Al ² O ³	29,09	26,47
CaO	0,42	traces
MgO	0,66	0,44
FeO	—	traces
Fe ² O ³	2,88	0,80
Alcalis	2,23	0,92
TiO ²	2,21	traces de S

1, Dowlais, par E. Riley ; — 2, Devonshire, par J.-A. Phillips.

TABLEAU XIX
Analyses centésimales des briques de silice.

	1	2
SiO ²	98,31	96,73
Al ² O ³	0,72	1,39
FeO	0,18	0,48
CaO	0,22	0,19
Alcalis	0,14	0,20
Eau combinée	0,35	0,50

1, Phillips, *Elements of Metallurgy*, p. 126 ; — 2, *ibid*, p. 127.

On n'est pas encore d'accord au sujet de la meilleure qualité de briques siliceuses car cette qualité ne dépend pas seulement de la haute température que les briques peuvent supporter sans fondre, mais aussi d'autres facteurs tels que l'effritage trop facile, quand on les soumet à un usage intermittent. Les briques de silice fabriquées avec l'argile de Welsh et désignées sous le nom de « Dinas » sont très estimées pour les fours chauffés à de très hautes températures.

Ganister. — Le ganister est probablement plus employé dans les convertisseurs Bessemer acide, pour faire et refaire les revêtements que dans tout autre four. Il est régulièrement employé aussi pour réparer

les cubilots servant à la fusion de la fonte et des scraps d'acier provenant du convertisseur, ainsi que pour faire les revêtements de certains fours à creusets. Le ganister en roches, varie en qualité, suivant la région où il est exploité. Dans une même région, on peut en extraire du dur et du tendre. Il est quelquefois analogue en composition à la roche « Dinas » mais la meilleure qualité se trouve intercalée entre les couches de houille du Yorkshire et des contrées environnantes. Les diverses variétés de ganister de Sheffield sont très employées dans la fabrication de l'acier, car elles sont très réfractaires et deviennent, comme de véritables blocs, quand on les soumet aux hautes températures. La façon du mélange a une très grande influence sur les propriétés. Certaines sortes de ganister contiennent beaucoup trop d'alumine et « fondent » à des températures relativement peu élevées, tandis que d'autres qui contiennent beaucoup trop de silice et pas suffisamment de liant se « frittent ».

Les analyses centésimales suivantes peuvent être considérées comme représentant les types des meilleurs ganisters.

TABLEAU XX

Composition de bons ganisters pour le revêtement des fours.

	1	2
Silice.	88,36	89,37
Alumine.	7,00	6,36
Oxyde de fer	2,00	1,73
Chaux	0,22	0,70
Magnésie.	0,15	0,36
Alcalis	—	—
Eau ou perte au feu	2,32	2,88

1, Lowood (Snelus) ; — 2, Riley.

Pour certains usages, les ganisters contenant environ 80 p. 100 de SiO_2 et de 10 à 15 p. 100 d' Al_2O_3 , sont employés avec beaucoup de succès.

Dilatation et contraction des briques réfractaires. — La dilatation et la contraction des briques réfractaires et des briques riches en silice, varient dans une large mesure, quand on les expose à la chaleur, selon la composition des matériaux qui ont servi à leur fabrication. Dans la construction des fours, il faut tenir compte de la dilatation dans la pose des revêtements, et il faut prendre les plus grandes précautions quand on chauffe pour la première fois des fours qui viennent d'être garnis soit de briques réfractaires, soit de briques très siliceuses. Lorsque les briques se dilatent beaucoup, elles ne reviennent pas toujours à leurs dimensions primitives, et l'on observe alors dans la maçonnerie des craquelures ou des fissures dans les joints, si les plus grandes précautions n'ont pas été prises pour dégager la partie de l'encadrement qui entoure le revêtement.

TABLEAU XXI

Prix et emplois des matériaux réfractaires siliceux.

MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES	USAGES auxquels ils sont destinés.	PRIX p. 1000.	PRIX par tonne.	REMARQUES
		francs.	francs.	
Ganister	Réparation des cubilots, revêtement et réparation des convertisseurs.	—	15,12-16,36	
Ganister (fin)	Réparation des fours à creusets.	—	22,68-25,20	
Ciment siliceux.	Joint de briquetage de tous les fours à revêtement acide.	—	44,10-50,40	
Argile broyée.	Joint de briquetage des cubilots.	—	11,34-15,12	
Briques réfractaires. Dimensions ordinaires. — spéciales.	Cubilots. Cubilots.	69,30 à 88,20 0,05 à 0,84 pièce		Les prix indiqués sont ceux de ces matériaux vendus en Angleterre.
Briques de silice (très riches). Dimensions ordinaires.	Revêtement des fours à fondre l'acier.	189 à 201,60		
Briques de silice (moins riches). Dimensions ordinaires.	Revêtement des fours à fondre l'acier.	113,40 à 126		
Blocs de silice (spéciaux).	Pour les fours à creusets, les convertisseurs, les fours Siemens et les fours électriques.	Prix variant selon le dessin et le poids, de quelques centimes à plusieurs francs, par bloc.		

Plusieurs tentatives ont été faites pour déterminer et mesurer les coefficients de dilatation et de contraction des briques en argile et des briques siliceuses soumises à l'action de la chaleur, mais les résultats obtenus pour les diverses argiles sont tellement variables qu'il n'est pas possible d'en indiquer un. Les bonnes et sérieuses marques de briques d'argile et de briques de silice peuvent être employées de confiance pour tous les usages, en tenant compte des vides nécessaires à la dilatation du revêtement des fours.

Prix des matériaux réfractaires siliceux. — Ci-dessus (tableau XXI) nous donnons la liste des matériaux siliceux les plus importants avec leurs prix et leurs emplois.

Matériaux basiques.

Description générale. — Depuis que Thomas a fait breveter sa composition, destinée au revêtement basique des convertisseurs et autres fours de fabrication de l'acier, on a essayé et employé des quantités d'autres mélanges brevetés. Les méthodes de préparation des matériaux

employés dans la fabrication des diverses briques basiques sont également nombreuses. La plupart des matériaux basiques employés pour le revêtement des fours à acier peuvent se classer comme suit :

1. Dolomie ;
2. Magnésite ;
3. Bauxite ;
4. Chrômite ;
5. Calcaire et chaux.

1. Dolomie. — A l'état brut, la composition de la dolomie est assez variable, mais elle contient principalement de la chaux et de la magnésie avec de petites quantités de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. Le tableau suivant donne la composition centésimale des diverses dolomies.

TABLEAU XXII
Analyses des Dolomies.

	1	2	3	4
Chaux	29,86	31,36	28,52	—
Magnésie	20,17	19,28	17,56	—
Oxyde ferrique	—	—	1,78	—
Alumine	—	1,5	2,57	0,37
Carbonate de calcium	—	—	—	58,8
Acide carbonique	45,64	45,86	43,05	—
Silice	4,34	2,0	6,5	0,55
Carbonate de magnésium	—	—	—	41,35
Oxyde manganoux	—	—	—	traces.

1, Employée au Creusot ; — 2, Employée à Hörde ; — 3, Employée à Middlesbrough ; — 4, Analyse faite aux Aciéries de Kisel dans l'Oural. Analyse 1, 2 et 3. Wedding, « *Basic Process* », p. 40. Analyse 4, *Journal Iron and Steel Institute*, 1904, II, pp. 477.

Lorsque la substance brute a été concassée en morceaux de la grosseur des morceaux de macadam employés sur les routes, on la cuit dans des fours à revêtements basiques analogues aux fours à plâtre ou dans des sortes de cubilots. La dolomie frittée, contient de 56 p. 100 à 58 p. 100 de chaux et de 35 p. 100 à 38 p. 100 de magnésie. Elle est alors broyée dans des moulins jusqu'à ce que les morceaux les plus volumineux puissent traverser un crible d'environ 3/16 de pouce à 1/4 de pouce. La substance broyée est ensuite mélangée avec du goudron, exempt d'eau. La quantité de goudron employée varie avec les usines, mais la quantité moyenne en poids est d'environ 10 p. 100.

Les pourcentages suivants de goudron, d'après Wedding¹, sont ceux employés aux usines indiquées :

A Alexandrowsky, en Russie	17 à 18 p. 100.
A Hörde, Allemagne	10 à 12 —
Au Creusot, France	10 à 11 —

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 59.

A Middlesbrough, Angleterre.	9 à 10 p. 100.
Aux Aciéries du Rhin, Allemagne.	8 à 9 —
A Rothe-Erde, Allemagne	7 —

Quelle que soit la proportion de goudron employée, elle doit être suffisante pour former une masse compacte quand on presse le mélange dans les moules pour faire les briques, ou quand on le pilonne pour former les revêtements et les fonds des convertisseurs et autres fours.

Briques de dolomie. — Les briques de dolomie sont faites avec de la dolomie frittée finement moulue, mélangée habituellement avec une faible proportion d'argile ou de goudron, de façon à obtenir une matière suffisamment plastique, tenant bien ensemble après avoir été calcinée et exposée ultérieurement aux différents changements de température des fours de fabrication. Les méthodes de calcination, de concassage, de moutures et de moulage étaient bien primitives quand on a reconnu que la dolomie convenait parfaitement au revêtement des convertisseurs, mais actuellement chaque aciérie possède ses propres installations de concassage, de mouture et de cuisson. Les briques faites avec de puissantes presses résistent beaucoup mieux et se placent plus facilement dans le convertisseur que les briques faites à la main, car ces dernières sont irrégulières en dimensions et en densité. Les fonds des convertisseurs sont également fortement damés, ce qui économise ainsi le temps et les dépenses.

Le combustible employé pour le frittage de la dolomie varie de 50 p. 100 à deux fois le poids du produit, selon l'espèce de dolomie employée. Le combustible employé à la cuisson des briques varie de 40 p. 100 à 50 p. 100 du poids des briques à cuire. Le retrait des briques, même après séchage convenable à l'air et chauffage lent et progressif dans les fours, varie de 24 p. 100 à 50 p. 100¹.

2. Magnésite. — La magnésite est une excellente substance réfractaire basique, malheureusement beaucoup plus chère que la dolomie. Les principaux gisements se trouvent en Autriche-Hongrie, en Grèce, aux Indes et aux États-Unis.

La magnésite se trouve dans la nature associée à beaucoup d'autres substances, mais on n'emploie pour le revêtement des fours, que celle qui ne contient pas une trop grande proportion de silice.

La table XXIII (p. 30) donne la composition analytique des différentes magnésites du monde.

Le carbonate de magnésium pur contient 52, 4 p. 100 de CO_2 + 47,6 p. 100 de MgO. La magnésite amorphe est un carbonate de magnésium presque pur, contenant 98 p. 100 de MgCO_3 . Les principaux gisements de l'Europe se trouvent dans l'île d'Eubée (Grèce). La magnésite d'Eubée se paie un prix plus élevé que celle des autres pays². Le prix payé par tonne de magnésite calcinée en 1912 variait de 100 francs à 125 francs. Le prix de la substance brute, aux mines de Californie, était de 42 francs la tonne,

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 34.

² *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, p. 456.

et de 183,75 fr. la tonne de magnésite calcinée et broyée en 1911¹. En 1885, 800 tonnes de magnésite furent embarquées d'Europe pour les États-Unis et le premier acier basique fut fabriqué en 1886. En 1911, les États-Unis consommèrent 238 209 tonnes de magnésite dont 232 209 d'importation. Ces chiffres donnent une idée de l'importance de la demande. Par suite des forts déchets à la carrière et de la diminution du poids à la calcination, il faut compter une extraction de 5 tonnes de roches par tonne de magnésite embarquée².

TABLEAU XXIII

Analyses des Magnésites³.

	SiO ² p. 100.	Al ² O ³ et Fe ² O ³ p. 100.	CaO p. 100.	CO ² p. 100.	MgO p. 100.	MgCO ³ p. 100.
Grèce	1-2	1,75-3,2	1,1-3,2	—	—	92-98
Ile d'Elbe	8,5	traces.	3,5	—	41,0	—
Transvaal	2,3	0,8	—	49,8	45,3	—
Nouvelle-Galles du Sud.	0,42	0,54	néant.	—	—	99,01
Nouvelle-Calédonie . . .	0,8	0,8	3,3	51,5	42,4	—
Silésie	5,6	0,85	0,12	—	—	93,0
Hongrie	0,75	3,50	1,2	50,0	45,0	—
Lower Californie	traces.	0,21	0,43	—	—	93,36
Allin B. C.	45,7	5,40	—	27,0	22,0	—
Margarita Venezuela . . .	0,2	0,15	0,56	51,6	46,93	98,04
Indes	2,6	1,91	1,53	—	—	93,94

Briques de magnésite. — Les briques de magnésite sont toujours faites avec de la magnésite calcinée. Comme la substance est extraite par blocs, elle est brisée en morceaux, puis triée pour éliminer autant que possible, le sable, la chaux, l'argile et les autres substances nuisibles qui se trouvent associées à la magnésite. La substance est généralement grillée dans des fours à manches. La température de grillage de la magnésite pure est d'environ 1700°C, mais lorsque celle-ci contient de 3 p. 100 à 4 p. 100 d'oxydes de fer, la température n'est que d'environ 1400°⁴ et le produit obtenu est coloré en brun foncé ou en noir. Comme combustible, on emploie généralement le coke en quantité d'environ 30 p. 100 à 40 p. 100 du poids de magnésite grillée. Lorsque la substance est grillée, on la retire des fours, on la refroidit avec de l'eau, puis on l'abandonne à elle-même pendant environ 4 semaines, après quoi elle est triée et pulvérisée à la maille de 1 millimètre à l'aide d'un broyeur à boulets. La poudre la plus fine est habituellement mélangée avec un liant tel que le goudron, puis moulée en briques à l'aide de presses hydrauliques dont la pression peut varier de 80 à 300 atmosphères. Les briques faites avec de la magnésite de bonne qualité n'ont pas besoin de liant.

¹ *Mineral Industry*, 1911, p. 497.² Manuel *Harbison-Walker Refractories Co*, Pittsburgh, Pa, p. 41.³ *Mineral Industry*, 1911, p. 498.⁴ *Mineral Industry*, 1911, p. 499.

Lorsque les briques sont moulées, on les laisse sécher naturellement à l'air pendant quelques semaines, puis on les sèche à 20°C. A cette température il se produit des fendillements s'il y a de la chaux ou autres substances nuisibles. Après un séchage soigneux à 20°C, elles sont ensuite placées dans un four à moufle analogue au four type Mendheim, puis chauffées pendant vingt-quatre heures en employant pour cette opération, environ 30 p. 100 du poids des briques, de combustible. Le retrait de la brique ordinaire convenablement cuite ne doit pas dépasser 1 à 2 millimètres. Celles qui sont difformes ou irrégulières sont rejetées dans le moulin-broyeur.

Les briques de magnésite contenant moins de 2 p. 100 de fer peuvent supporter une température d'environ 2 000°C.

Ci-dessous nous donnons l'analyse¹ d'une brique de magnésite faite avec de la magnésite de Snarum (Sud de la Norvège).

MgO	CaO	FeO	Al ² O ³	MnO	SiO ²	P ² O ⁵	S
83,6	0,0	4,6	2,0	0,05	9,3	0,046	0,003 p. 100.

Emploi de la magnésite. — La magnésite est employée pour la confection des fonds et des parois des fours Martin-Siemens basiques. Les parois sont élevées de 0,37 m. à 0,45 m. au-dessus du fond des portes de chargement.

Les briques de magnésite sont également employées dans les différentes parties des fours Martin-Siemens : autour des pieds droits et des ouvertures de manœuvre, dans les cloisons des carneaux et dans les deux ou trois premières rangées de briques des parois des régénérateurs. On en met également le long de la ligne baignée par les scories dans les mélangeurs au lieu de briques d'argile.

Le ciment de magnésite est employé pour la pose des briques de magnésite.

En garnissant les fours avec ces briques, il est indispensable de placer un rang ou une épaisseur de silice ou autre substance très fortement réfractaire, entre les plaques du four et le premier rang de briques de magnésite, car celles-ci conduisant très bien la chaleur, on pourrait avoir à craindre la détérioration des plaques.

Les briques de magnésite donnent d'excellents résultats quand on les emploie dans les fours marchant continuellement. Si on les soumet à des refroidissements brusques par l'air, l'eau ou l'huile, elles éclatent et tombent en morceaux.

3. Bauxite. — Cette substance est surtout constituée par de l'alumine. Quand on la calcine dans le voisinage de 1 400°C, elle diminue considérablement de volume. Broyée et mélangée à une faible quantité d'argile, de silicate de soude ou de chaux, on peut facilement en faire des briques ou des tuiles. Les analyses suivantes, de bauxites blanches et rouges, montrent les variations de sa composition.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, II, p. 566.

TABLEAU XXIV
Bauxites de différentes provenances.

	1				2	3	
	BAUXITE BLANCHE		BAUXITE ROUGE			ARKANSAS	INDES
	Séchée à 100°C p. 100.	Non séchée p. 100.	Séchée à 100°C p. 100.	Non séchée p. 100.	E. U. A. p. 100.	Nagpur p. 100.	Madras p. 100.
Al ² O ³	59,8	59,6	59,9	58,6	87,3	64,64	35,38
Fe ² O ³	1,7	1,2	23,9	24,1	1,43	6,21	34,34
TiO ²	4,4	4,3	3,6	3,7	—	3,3	0,1
SiO ²	14,1	14,3	1,3	1,8	6,40	1,79	10,75
CaO	—	—	—	—	—	0,04	0,4
MgO	—	—	—	—	—	0,02	—
H ² O	20,0	20,6	11,1	11,8	—	24,0	19,0

1, Composition des variétés blanches et rouges de diverses provenances. (*Journal Iron and Steel Institute*) 1911, II, p. 499.)

2, Analyse d'un échantillon provenant de la principale carrière de bauxite d'Amérique. (*Mineral Industry*, 1905, pp. 47 et 48.)

3, Deux analyses choisies dans huit analyses différentes de bauxite des Indes. L'échantillon de Madras contenait le moins et celui de Nagpur le plus d'alumine de ces huit analyses. (*Mineral Industry*, 1905, pp. 47 et 48.)

La totalité de la bauxite employée particulièrement aux États-Unis, provient de l'Arkansas ; l'analyse de cette substance, après lavage et calcination, est la suivante :

H ² O mécanique interposée.	0,88 p. 100.
Silice	6,40 —
Oxyde de fer.	1,43 —
Alumine.	87,30 —
TiO ²	3,99 —

Cette substance est remarquablement riche en alumine, elle produit d'excellentes briques qui après une cuisson soignée présentent une résistance à l'écrasement de 700 kilogrammes par centimètre carré. Une brique de 23 centimètres × 11,5 cm. × 6,5 cm. pèse 3,400 kg.

Lorsque les briques sont destinées à un four Martin-Siemens basique, elles ne doivent pas contenir plus de 6 à 8 p. 100 de silice et on se sert de la variété blanche de bauxite, mélangée avec de la chaux, comme liant.

On a publié¹ un résumé des essais comparatifs exécutés aux Acieries de Bethlehem avec des briques de bauxite et des briques de magnésite fabriquées avec des substances de diverses origines. Ces briques étaient placées l'une à côté de l'autre dans le four, à proximité des carneaux d'air et de gaz et par conséquent exposées à la plus haute température du four. Au bout de sept minutes, les briques de magnésite présentaient des signes évidents de fusion qui ne furent remarqués, qu'au bout de quinze minutes, sur les briques de bauxite. En brisant chaque sorte de brique, on a remarqué

¹ *Mineral Industry*, 1905, pp. 48-51.

que la scorie avait pénétré profondément dans les briques de magnésite. La production en bauxite des Etats-Unis fut, en 1911, de 155 618 tonnes.

Nous n'avons pas connaissance que les fabricants d'acier aient utilisé la bauxite aux revêtements des fours.

Alundum. — L'alundum est le nom donné à de la bauxite fondue, spécialement préparée dans le four électrique. On a dit¹ que ce produit avait été employé, avec beaucoup de succès, dans le four Héroult d'une usine de Niagara. L'alundum est obtenu sous deux formes, l'une blanche et l'autre d'un brun rougeâtre. La variété blanche ne contient pas plus de 1 p. 100 d'impuretés, tandis que l'autre en contient de 6 à 8 p. 100. Le point de fusion des briques obtenues avec la variété blanche, oscille entre 2 050 et 2 100° C. Les voûtes des fours faites avec des briques de ce genre ont résisté à des températures qui auraient détruit les briques de silice en cinq ou six heures². On dit cependant qu'il y a quelques inconvénients à employer ces briques pour la confection des voûtes des fours électriques, car les vapeurs qui se dégagent des scories basiques excessivement chaudes, leur sont nuisibles.

L'alundum ne se dilate et ne se contracte que très légèrement.

4. Chromite. — Cette substance est une matière neutre, excessivement réfractaire, principalement constituée par un oxyde double de fer et de chrome. Comme elle n'est attaquée, ni par les flux basiques, ni par les flux siliceux, elle convient parfaitement pour le revêtement des fours devant résister aux actions chimiques et aux hautes températures.

En 1905, la production mondiale de la chromite a été la suivante³ :

Canada	7 781 tonnes.
Nouvelle-Calédonie	51 374 —
Nouvelle-Galles du Sud	53 —
Etats-Unis	122 —

On a estimé qu'en 1907, la production mondiale variait de 90 000 à 100 000 tonnes⁴. Nous donnons ci-dessous la composition centésimale des minerais de chrome.

TABLEAU XXV
Analyses centésimales des minerais de chrome.

N ^{os}		Cr ² O ³	FeO et Fe ² O ³	Al ² O ³	MgO	SiO ²	CaO	MnO	P ² O ⁵	H ² O
1	Turquie	51,7	14,2	14,1	14,3	3,5	1,7	—	—	0,3
2	Nouvelle-Calédonie	55,7	16,6	16,2	9,8	0,25	0,2	0,2	0,05	1,05
3	Bosnie	50-52	39 à 45		peu	2,5	peu	—	—	—

3. Minerai employé pour le revêtement du four Martin aux Acéries Diosgyör en Hongrie. (*Journal Iron and Steel Institute*, 1890, I, p. 218.

¹ *Journal of Iron and Steel Institute*, 1911, II, p. 500.

² *Metallurgical and Chemical Engineering*, vol. X, pp. 119 et 132.

³ *Mineral Industry*, 1905, p. 74.

⁴ *Journal of Iron and Steel Institute*, 1909, p. 545, II.

Comme substance réfractaire, le chrômite ne doit pas contenir moins de 6 p. 100 de silice.

C'est en France ¹, aux aciéries de Tamaris, que l'on a employé pour la première fois les minerais de chrôme au revêtement de la sole d'un four Martin-Siemens. Ce revêtement se faisait avec des blocs, réunis ensemble au moyen d'un mortier composé de deux parties de minerai et une partie de chaux. Les trois fours, dont les dimensions correspondaient aux tonnages respectifs de 6, 8 et 18 tonnes, ont donné d'excellents résultats.

A l'état pulvérulent, la chrômite est employée avec succès dans les fours basiques, le long des parois arrières des fours, ainsi que sur la base des carneaux pour la protection de leurs briques de silice. Elle peut être livrée avec teneur de 38 à 42 p. 100 d'oxyde chrômique ou avec 50 p. 100 d'oxyde chrômique.

Briques de chrôme. — Celles-ci sont faites avec du minerai pulvérisé, mélangé à un agglutinant approprié tel que la chaux, que l'on presse dans des moules et que l'on soumet ensuite à la cuisson. Comme elles sont pratiquement infusibles, elles sont principalement employées dans les fours Martin-Siemens basiques, pour la confection de la partie neutre située entre les briques d'argile, placées sur les plaques du fond, et les briques de magnésite formant le fond du four. Elles sont également employées pour les réparations rapides, car elles ne sont pas influencées par les changements brusques de température.

5. Calcaire. — Comme substance réfractaire basique pour le revêtement des fours, le calcaire fut employé avec succès à Witkowitz et à Kladno, lors de l'introduction du procédé basique. Wedding ² a donné la composition suivante de ce calcaire :

Chaux	47,46 p. 100.
Magnésie	2,93 —
Protoxyde de fer (FeO)	3,41 —
— de manganèse (MnO)	0,29 —
Acide carbonique	42,85 —
Silice	2,48 —
Alumine	0,53 —

Actuellement, la dolomie est universellement employée pour le garnissage des convertisseurs, car cette substance est beaucoup plus durable que le calcaire et en même temps plus économique, quoique le calcaire coûte meilleur marché que la dolomie.

Classification des matériaux réfractaires. — On a fait de nombreuses tentatives pour arriver à classer les matériaux réfractaires employés dans la construction et pour le revêtement des fours de fabrication du fer et de l'acier, mais étant données les variations de qualités des substances réfractaires désignées sous le même nom, il est difficile

¹ *The Engineering and Mining Journal*, vol. I, p. 243.

² Wedding, « *Basic Process* », p. 47.

d'arriver à définir des essais à la fois simples et pratiques permettant une classification certaine. M. Baraduc-Muller ¹ a proposé de grouper de la façon suivante les matériaux réfractaires :

1. Produits à base de silicates d'alumine ;
2. Produits à base d'alumine ;
3. Produits à base de silice ;
4. Produits à base de magnésie ;
5. Produits du type carborundum ;
6. Produits du type chrômite ;
7. Produits à base de carbone ;

et de déterminer sur chacun d'eux les propriétés suivantes :

1. Composition chimique ;
2. Pouvoir réfractaire ;
3. Densités absolue et apparente ;
4. Porosité et conductibilité calorifique ;
5. Résistance mécanique à la compression et au choc.

Cette série d'essais, permettrait de représenter le produit réfractaire sous la formule suivante :

$$\text{Valeur} = \frac{\text{Al}^2\text{O}^3}{\text{SiO}^2 + \text{Fondant}} + \text{Résistance calorifique} + \frac{\text{Densité absolue}}{\text{Densité apparente}} + \text{Résistance mécanique.}$$

Il est difficile de dire si cette formule a une réelle valeur pratique, mais il n'en est pas moins vrai, qu'il est absolument nécessaire de trouver une bonne méthode permettant d'essayer facilement les matériaux réfractaires avant leur emploi.

Électrodes pour fours électriques.

Le développement des divers types d'électrodes ou d'arcs des fours électriques a nécessité des recherches considérables non seulement pour la fabrication mais aussi pour assurer la durée de ces électrodes. Les électrodes employées sont de deux types : (1) celles en carbone amorphe et (2) celles en graphite. Les caractéristiques idéales d'une électrode sont :

- (a) Grande conductibilité ;
- (b) Résistance maximum à l'oxydation ;
- (c) Ne doit ni se fendiller, ni se briser sous l'action de la chaleur.

A l'origine, les électrodes en carbone amorphe ne furent employées, avec succès, que dans les petits fours électriques seulement, par suite des difficultés rencontrées dans la fabrication des électrodes à grande section. Actuellement, on fabrique des électrodes en carbone amorphe qui mesurent 0,50 m. de diamètre et 1,75 m. de longueur, munies de douilles à emboîtement ou à broche et qui donnent d'excellents résultats dans les fours électriques à acier. Quoiqu'étant plus coûteuses, les électrodes en graphite sont également souvent employées, car on peut facilement les réunir ensemble. Elles possèdent, de plus, l'avantage d'une plus grande conductibilité et se fendillent ou se brisent moins facilement que les électrodes en carbone amorphe.

¹ *Revue de Métallurgie, Mémoires*, vol. VI, pp. 700-729.

La capacité de transport du courant des électrodes, par pouce carré de section, dépend d'un certain nombre de facteurs, savoir : l'espèce d'électrode employée, la chute de température entre l'intérieur du four et l'extrémité extérieure de l'électrode, et enfin la longueur de l'électrode. On a trouvé les lois et déterminé les constantes, au moyen desquelles on peut déterminer les dimensions des électrodes pour un cas déterminé.

Électrodes en carbone amorphe. — La fabrication des électrodes en carbone amorphe fut entièrement décrite dans une communication de M. Eugène Haanel, Ph. D., au « Canadian Department of Mines ». Une fabrique d'électrodes en carbone comprend quatre ateliers différents :

1. Magasin d'approvisionnements et de triage ;
2. Atelier de concassage et de malaxage ;
3. Atelier de moulage ;
4. Atelier de séchage.

Les électrodes les plus simples et le meilleur marché sont faites avec de l'anhracite, du charbon de cornue et du goudron, mais les électrodes les meilleures sont faites avec du graphite ajouté aux matériaux ci-dessus. L'anhracite et le charbon de cornue sont d'abord broyés dans des concasseurs ordinaires, puis ensuite dans des moulins à meules. Lorsque le mélange est bien préparé, on ajoute le goudron, puis on traite le tout dans des malaxeurs et finalement dans des moulins à meules. Le mélange est alors abandonné au repos pendant quelques jours, puis il est moulé au moyen de presses hydrauliques du type à chasse automatique. Lorsque les électrodes sont formées, on les abandonne au repos pendant vingt-quatre heures, puis on les fait sécher à l'air pendant une semaine. Elles sont ensuite placées dans un four de séchage et de cuisson pendant vingt à vingt-deux jours, la température maximum auxquelles elles sont soumises étant d'environ $1\ 410^{\circ}$ C. Le prix d'une installation complète, avec les bâtiments et toutes les machines auxiliaires nécessaires pour travailler économiquement et pour produire annuellement 3 000 tonnes d'électrodes en carbone, de grandes dimensions, s'élève environ à 1 250 000 francs.

Dans une autre description ¹ faite sur la fabrication des électrodes en carbone, on signale parmi les substances employées, le coke, le brai tendre et dur, le goudron de houille et l'huile de pétrole. Le noir de lampe peut remplacer avantageusement une partie du coke pour la fabrication des électrodes de qualité supérieure. Le coke est d'abord concassé, puis séché et pulvérisé. Les proportions du mélange employé à la fabrication des électrodes de qualité ordinaire sont les suivantes : coke 147^k,400 ; brai dur 50 kilogrammes ; huile 4,54 litres. Ces substances sont mélangées, durant vingt minutes, dans une terrine à double paroi, chauffée par la vapeur et lorsque le mélange a atteint la température de $130-135^{\circ}$ C, il est compressé en cylindres au moyen d'une presse hydraulique, dans de forts moules en fonte. Ces cylindres, après refroidissement à $90-115^{\circ}$ C, sont transformés en disques ayant un diamètre de 3 à 5 p. 100 plus grand que le diamètre de l'électrode finie. La cuisson dure de dix à quatorze jours, période pendant laquelle on élève progressivement la température jusqu'à 550° et dès que

¹ *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. I, pp. 286-295.

celle-ci est atteinte on abandonne le four au refroidissement lent pendant quatre à cinq jours avant de l'ouvrir. Les électrodes terminées doivent avoir une résistance d'environ 0,0016 ohm par pouce cubique et sont capables de transporter un courant de 25 ampères par pouce carré de section.

Électrodes en graphite. — De toutes les électrodes en graphite, les plus connues sont probablement celles fabriquées par l'Acheson Graphite Co. Elles sont obtenues, en soumettant dans un four électrique des électrodes en carbone amorphe, à une température telle que tous les éléments autres que le carbone sont volatilisés et laissent un résidu de carbone à l'état graphitique. Un bon mélange¹ pour la fabrication des électrodes en graphite est le suivant : coke 147^k,400 ; brai dur 46^k,700, huile 4^l,54 ; oxyde de fer 2^k,267. Ce mélange est préparé comme nous venons de le décrire précédemment et après avoir été moulé et soumis à la cuisson, il est traité dans le four électrique. La comparaison suivante entre les électrodes en graphite et les électrodes en carbone a été donnée par l'Acheson Graphite Co.

	ÉLECTRODES Acheson en graphite.	ÉLECTRODES en carbone non graphitique.
Résistance spécifique, ohms par centimètre cube	0,00002	0,0000777
Surface de section comparative pour une même chute de voltage	1	3,8
Poids-grammes par centimètre cube. .	1 ^{gr} ,626	1 ^{gr} ,598
Résistance à l'allongement	800-1 000	1 000-1 500
Température d'oxydation à l'air. . . .	640°C	500°C

Quoique les électrodes en graphite aient une résistance à l'allongement inférieure à celle des électrodes en carbone, elles ne sont cependant pas aussi fragiles. L'absence de craquelures sur les électrodes en graphite, provient de l'action de la haute température à laquelle elles ont été soumises pendant leur fabrication et du traitement de recuit qu'elles reçoivent pendant le refroidissement.

Prix des électrodes. — Le prix des électrodes dépend, dans une certaine mesure, non pas de leurs dimensions, mais surtout de la distance qui sépare l'usine de fabrication, des usines fabriquant électriquement l'acier. Dans les cas où les électrodes utilisées sont de grandes dimensions et où leur prix de transport est excessif, le consommateur a intérêt à les fabriquer lui-même. C'est ainsi que les usines de l'Electrometals Ltd., Welland, Canada, qui fabriquent le ferro-silicium au four électrique, ont trouvé qu'il y avait économie pour elles, de fabriquer leurs électrodes plutôt que de les acheter aux fabricants. Cependant, si les électrodes employées ne sont pas de grandes dimensions, il n'y a pas intérêt à les fabriquer soi-même. Les bonnes électrodes pour fours électriques à acier coûtent :

Electrodes en carbone	0,28 à 0,69 par kg.
Electrodes Acheson en graphite . .	1,39 à 2,08 par kg.

¹ *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. I, pp. 286-295.

SECTION IV
FONDANTS

Calcaire. — Le calcaire est beaucoup plus employé, à l'état calciné ou non, comme fondant que comme revêtement des fours. Cependant, certains le préfèrent à la chaux, dans le four Martin-Siemens basique, car il ne contient pas de chaux à l'état de poussière, susceptible de réagir sur le revêtement et les blocs de silice, pour en provoquer la fusion superficielle et en augmenter, par conséquent, l'usure. Le calcaire est si abondant sur terre¹, que son prix n'est généralement que fonction des frais de main-d'œuvre d'extraction et du prix de transport aux fourneaux. Le calcaire varie au point de vue de la composition chimique : certains dépôts sont entièrement formés de carbonate de chaux qui, à l'état sec, correspond à environ 99 p. 100 de CaCO_3 , tandis que d'autres dépôts contiennent des quantités variables d'impuretés telles que la silice, l'alumine, la magnésie et le fer.

Nous donnons, ci-dessous, la composition de quelques calcaires.

TABLEAU XXVI
Analyses centésimales des calcaires.

	1	2			3
	SUÈDE	ANGLETERRE-DERBYSHIRE			ÉCOSSE
	Calc. d'Oaxen.	a	b	c	Harburn.
Chaux.	53,74	—	—	—	—
Magnésie	0,47	0,75	0,75	—	—
Oxyde de fer.	0,48	{ 6,50	0,95	0,86	—
Alumine.	0,32				—
Carbonate de chaux.	—	85,86	95,25	99,93	93,92
Acide phosphorique	0,006	—	—	—	0,02
Soufre.	traces.	—	—	—	—
Silice	3,44	2,5	1,0	0,6	0,50
Perte au feu.	42,42	—	—	—	—

1, Employé à Herräng à cause de son excellente qualité (*Journal Iron and Steel Institute*, 1902, I, p. 51).

2 et 3, Employé dans les cubilots de deuxième fusion.

Le calcaire, employé comme fondant dans les hauts fourneaux, nécessite d'autant plus de coke, par tonne de minerai, qu'il y a plus d'impuretés dans le calcaire. La présence d'une grande proportion de carbonate de magnésie dans le calcaire, augmente la consommation de celui-ci par tonne de fer fabriqué, et par conséquent, le prix de revient.

1. La production en 1911 pour les Etats-Unis seulement fut de 48 203 882 tonnes représentant une somme de 48 675 700 francs (*Mineral Industry*, 1911, p. 4).

Le calcaire, est également employé comme fondant, pour la seconde fusion de la fonte et des scraps, provenant du Bessemer et autres fours à acier.

Prix du calcaire. — Les prix varient considérablement et les chiffres ci-dessous donneront une idée de cette variation.

Angleterre	2,52 à 7,56 fr.	par tonne au fourneau.	
Amérique	3,15 à 8,50	—	—
Allemagne	2,62 à 5,04	—	—

Chaux. — Le calcaire cuit, est énormément employé, dans tous les procédés basiques et plus la chaux employée est pure, plus économiques sont les résultats obtenus dans la fabrication de l'acier. La présence de la silice en excès de 2 p. 100, augmente la quantité de chaux à employer et par conséquent, le prix de fabrication. L'élimination du soufre est aussi rendue plus difficile par suite de la présence de la silice.

Prix de revient de la chaux. — Nous donnons, ci-dessous, le prix de revient¹ de fabrication de la chaux.

PRIX DE REVIENT POUR 907 KILOGRAMMES

Intérêt du prix de l'usine et de la carrière	0,26 à 1,05 fr.
Taxes et suppléments	0,52 à 1,31 —
Prix d'extraction de 2 tonnes de calcaire.	2,62 à 4,72 —
Prix du combustible employé à la cuisson.	1,57 à 3,93 —
Prix de main-d'œuvre (excepté celui d'extraction).	1,30 à 4,20 —
TOTAL	6,27 à 15,21 fr.

Les prix varient donc considérablement. Le plus bas, représente celui qui peut être atteint dans une installation tout à fait moderne, travaillant constamment, et dans des conditions particulièrement favorables, relativement à l'extraction, au combustible et à la main-d'œuvre. Pour une production journalière de 20 tonnes de chaux, il faut employer un four ayant 13 mètres de hauteur sur 2 mètres de diamètre. On emploie différents types de fours ; ceux dans lesquels on charge des couches alternatives de calcaire et de combustible, et ceux dans lesquels le combustible est brûlé séparément dans des foyers fixes.

Le prix de vente de la chaux est d'environ 12,60 fr. la tonne.

Spath fluor. — Cette substance trouve un débouché considérable comme fondant dans la fabrication de l'acier. Elle ne produit pas seulement une scorie plus fluide, mais elle permet l'élimination du soufre dans le procédé Martin-Siemens. Son emploi va sans cesse en augmentant et les chiffres ci-dessous², arrêtés respectivement au 30 juin des années 1910

¹ *Mineral Industry*, 1905, p. 429.

² *Ibid*, 1914, pp. 269.

et 1911, et qui représentent les quantités importées aux États-Unis, donneront une idée de ce développement.

1910.	16 561 tonnes	représentant	316 250 francs.
1911.	44 004	—	— 1 400 000 —

Il est payé un droit d'entrée de 15,75 fr. par tonne.

A ce chiffre des importations, il faut ajouter celui de la production des États-Unis, qui s'élève à 42 300 et dont le prix de vente moyen dans l'Illinois, était en 1911, de 35,50 fr. la tonne. L'application du prix se fait comme suit :

Tout-venant.	39,37 francs.
En morceaux	47,25 —
En poudre.	63 à 78,75 —

Le tableau suivant ¹, indique la production en spath fluor des principaux pays.

TABLEAU XXVII
Production du spath fluor en tonnes.

	1910	1911
Autriche-Hongrie	8 000 (e)	—
France	8 262	—
Allemagne	17 988 (a)	23 073 (a)
Espagne	480	—
Angleterre.	62 607	32 100
Etats-Unis.	63 000	42 300 (e)

a. Exportation. La production allemande n'est pas indiquée.
e. Calculée.

La composition du spath fluor employé par les usines de fabrication du fer et de l'acier est la suivante :

TABLEAU XXVIII
Composition analytique du spath fluor.

	1		2
	SPATH FLUOR ANGLAIS		SPATH FLUOR AMÉRICAIN
	(a)	(b)	
Fluorure de calcium	78,4	95,52	83,5-93,2
Carbonate de calcium	8,1	—	0,25-10,0
Silice.	4,2	4,6	0,5-8,0
Alumine	0,5	3,8	—
Oxyde de fer.	1,0		—
Acide carbonique	—	1,5	—

1 (a), Iron Age, vol. 78, p. 1258.

2, Mineral Industry, 1911, p. 269.

¹ « Mineral Industry », 1905, p. 429.

Le prix du spath fluor, cassé à l'anneau de 25 millimètres à 25,5 mm., rendu au fourneau, varie, en Angleterre, de 20,16 à 37,80 fr. la tonne.

SECTION V

**COMBUSTIBLES ET FORCE ÉLECTRIQUE
EMPLOYÉS DANS LA FABRICATION DE L'ACIER**

Les combustibles peuvent être classés en quatre catégories distinctes : 1° solides, 2° liquides, 3° gazeux (tous ceux-ci se trouvent dans la nature) et 4° énergie électrique. La majeure partie des combustibles solides sont employés tels qu'on les trouve dans la nature, savoir : le bois, la tourbe et la houille. Les combustibles artificiels tels que le charbon de bois, le coke et les briquettes sont tirés du bois, de la houille et de la tourbe et trouvent leur utilisation dans la fabrication de l'acier. Les combustibles liquides ne sont, ni aussi abondants dans la nature, ni aussi bien distribués, que les combustibles solides. Ils ont cependant été utilisés depuis plusieurs années à la fabrication de l'acier, aux Etats-Unis notamment. Les combustibles gazeux, employés dans la fabrication de l'acier, sont pour la plupart obtenus avec de la houille, quoique l'on utilise également dans le même but le gaz des fours à coke et celui des hauts fourneaux.

Les gaz naturels, trouvés dans certaines parties du monde (notamment en Amérique), sont également utilisés comme combustible pour le chauffage des fours Martin-Siemens.

Les combustibles varient en qualité. Il est quelquefois difficile de distinguer entre les vrais combustibles et les non combustibles, car si presque toutes les sortes de substances, donnant de la chaleur, trouvent leur emploi, certaines contiennent beaucoup plus d'autres éléments que le carbone et l'hydrogène et leurs composés. Ces éléments et composés constituent toutefois la principale source de chaleur de tous les combustibles, quand ils sont rapidement oxydés par l'air atmosphérique. Toutes les sortes de combustibles employés dans la fabrication de l'acier, doivent être essayés complètement au point de vue de leur valeur calorifique, laquelle peut être exactement mesurée. Les combustibles sont généralement classés selon leur valeur calorifique, leur teneur en soufre et en cendres (quand il s'agit de combustibles solides) et aussi au point de vue économique. Le soufre dans les combustibles est un élément très nuisible, surtout dans les combustibles solides. Les combustibles liquides et les gaz naturels ne contiennent généralement pas autant de soufre que les combustibles solides.

Production mondiale de la houille. — On trouve des gisements de houille dans presque toutes les parties du monde. Ils sont principalement formés de houilles bitumineuses et anthraciteuses, quoique la variété connue sous le nom de houille brune ou lignite se trouve aussi en grande quantité en Europe et dans les autres parties du monde. La production

totale de la houille en 1910 est donnée¹ dans le tableau XXIX, avec indications pour certains pays pour 1911.

TABLEAU XXIX

Production de la houille, en tonnes, dans les principaux pays du monde.

	1910	1911
Asie :		
Chine.	14 591 000	—
Indes.	12 092 416	—
Japon.	14 794 208	16 020 000
Australie :		
Nouvelle-Galles du Sud.	8 304 284	8 250 000
Nouvelle-Zélande	2 232 520	2 106 000
Autres colonies australiennes	1 710 930	1 740 030
Europe :		
Autriche-Hongrie ²	38 006 840	40 116 743
Belgique	23 127 230	23 112 062
France	38 570 473	—
Allemagne ²	221 986 376	234 259 061
Italie	400 000 ⁴	510 029
Russie	24 572 403	—
Espagne ²	3 550 000	—
Suède.	210 700 ⁴	—
Royaume-Uni.	264 505 207	268 029 000
Amérique du Nord :		
Ouest Canadien.	6 446 336	5 500 000
Est Canadien	6 564 930	6 602 000
Mexico	2 450 231	—
Etats-Unis d'Amérique.	445 816 040	455 720 550
Afrique du Sud ³	5 500 219	—
Autres pays.	7 000 000 ⁴	—
TOTAL.	1 143 739 902	

² Y compris les lignites.

³ Y compris Transvaal, Natal et Cap de Bonne-Espérance.

⁴ Moyennes calculées.

Durant ces cinq dernières années, l'augmentation de la production de la houille a été constante en Allemagne et aux Etats-Unis, à savoir, 21 p. 100, tandis que dans le Royaume-Uni elle n'a été que légèrement supérieure à 7 p. 100. En ce qui concerne l'Allemagne, ce progrès rapide est le résultat de l'augmentation de sa production d'acier. Le résumé suivant donne les quantités de houille, produites par les trois principaux pays industriels du monde, pendant les années 1906 et 1911.

	1906	1911	AUGMENTATION
	En tonnes.	En tonnes.	p. 100.
Etats-Unis.	375 397 204	455 720 555	21
Royaume-Uni	251 050 809	268 029 000	7
Allemagne.	193 533 259	234 259 061	21

¹ « Mineral Industry ». 1911, p. 131.

En Amérique. — La production de l'Amérique provient de 28 États dont trois de ceux-ci — Pennsylvanie, Colorado et New-Mexico — produisent des houilles anthraciteuses aussi bien que des houilles bitumineuses. De l'État de Pennsylvanie, on a extrait en 1910 et 1911, 80 et 90 millions de tonnes, exactement 80 389 306 et 90 490 356 tonnes d'anthracite. Le prix moyen par tonne était de 10,50 fr. en Pennsylvanie, et de 14,70 fr. et 15,75 fr. dans le Colorado et le New-Mexico, prix de revient sur le carreau de la mine.

Le prix de revient, sur le carreau de la mine, des houilles bitumineuses varie de 21 francs pour l'Alaska et le Nevada, prix le plus élevé, à 4,93 fr. pour West Virginia, prix le plus bas. Ces prix furent les prix moyens en 1910 et 1911, excepté pour West Virginia, où il était en 1911 de 4,87 fr. Dans le tableau XXX nous donnons les prix moyens de vente des houilles anthraciteuses et bitumineuses, au départ de la mine, payés aux États-Unis de 1906 à 1911. On remarquera que les fluctuations du prix de vente ont été très grandes.

TABLEAU XXX

**Prix moyens de vente de la houille au départ de la mine
aux États-Unis.**

ESPÈCE DE HOUILLE	1906	1908	1910	1911
	francs.	francs.	francs.	francs.
Anthraciteuse	9,71	9,97	9,97	10,13
Bitumineuse.	5,83	5,88	5,88	6,19

La quantité de coke produite par les États-Unis en 1910 était de 36 094 769 tonnes et en 1911, de 33 349 754 tonnes, le prix de vente moyen étant respectivement de 12,07 fr. et 12,44 fr. la tonne. Le prix de vente le plus élevé fut de 29,40 fr. la tonne dans l'état de Montana et le plus bas fut de 10,02 fr. la tonne en Virginia.

En Allemagne. — Les trois principaux bassins houillers de la Prusse sont : 1° le Bas-Rhin et le bassin de Westphalie (de beaucoup le plus important); 2° la Silésie et surtout la Haute-Silésie; 3° les régions du Rhin voisines de Saarbrück et d'Aix-la-Chapelle. Les combustibles produits en Allemagne en 1911, en tonnes, furent : houille, 160 742 272; lignite, 73 516 786; coke, 25 405 108; briquettes de houille, 4 990 988; briquettes de lignite, 16 836 679.

Autres pays. — Tandis que la plupart des pays du monde ont augmenté leurs productions durant ces cinq dernières années, la production de la houille de la Suède, de la Belgique et du Canada (Est), a été approximativement la même chaque année. Il est intéressant de noter le développement du Japon. En 1874, la production de la houille était inférieure à

un quart de million de tonnes, tandis qu'en 1911 elle dépassait 16 000 000 de tonnes.

Emplois de la houille. — Les différentes sortes de houilles et les diverses qualités, sont plus ou moins employées comme combustibles dans chacun des procédés, non seulement pour le chauffage préliminaire, mais aussi comme source principale de chaleur.

Dans les anciens fours à manche, de fusion de l'acier au creuset, la houille anthraciteuse était communément employée. En dehors de l'emploi de la houille pour le chauffage préliminaire et les procédés de recarburation, la houille n'est généralement employée dans la fabrication de l'acier, que pour la production du gaz artificiel, dans les nombreux types de gazogènes employés conjointement avec les fours Martin-Siemens et les fours à creusets (voir Chap. XXXI sur les gazogènes). Dans le tableau XXXI nous donnons les analyses¹ des houilles des différents pays.

TABLEAU XXXI

Analyses des diverses houilles.

Nos	PROVENANCE ou nom de la houille.	POIDS spé- cifique.	C		H		O		Az		S		CENDRES p. 100.	RENDEMENT en coke p. 100.
			p. 100.											
1	Galles. Thomas's Merthyr.	1,3	90,12	4,33	2,02	1,00	0,85	4,68	86,53					
2	— Bedwas	1,32	80,61	6,01	1,50	1,44	3,50	6,94	71,7					
3	Newcastle. Hartly.	1,29	81,81	5,50	2,58	1,28	1,69	7,14	64,61					
4	Derbyshire. Earl Fitzwilliam's, Elsecar	1,296	81,93	4,85	8,58	1,27	0,91	2,46	61,6					
5	Lancashire, Ince Hall Co.'s, Arley	1,272	82,61	5,86	7,44	1,76	0,80	1,53	64,0					
6	Ecosse. Wellwood.	1,27	81,36	6,28	6,37	1,53	1,57	2,89	59,15					
7	Alais. Département du Gard.	1,322	89,27	4,85	4,47	—	—	1,41	—					
8	Saint-Girons.	1,316	72,94	5,45	17,53	—	—	4,08	—					
9	Königsgrube.	1,285	78,39	3,21	17,77	—	—	0,61	—					
10	Sälzer et Neuak. Westphalie	1,288	88,68	3,21	8,11	—	—	—	—					
11	Anthracite Pennsylvanien. Pottsville	1,462	90,45	2,43	2,45	—	—	4,67	—					

Valeur calorifique des houilles. — Dans le tableau XXXII (p. 45) nous donnons les propriétés des houilles anglaises et étrangères, montrant leur valeur particulière comme houilles à gaz. On remarquera que les valeurs calorifiques des houilles varient de 7 300 calories par kilogramme avec des échantillons très fortement cokéfiant à 4 200 calories par kilogramme avec des échantillons de lignite.

Coke. — Le coke convient beaucoup mieux dans les nombreux procédés de fabrication de l'acier que la houille. Il est toujours employé dans le four à creuset Huntsman et dans le cubilot à refondre la fonte, pour le con-

¹ Phillips, « *Elements of Metallurgy* », pp. 51-53.

TABLEAU XXXII
Propriétés des combustibles anglais et étrangers.

N ^{os}	PROVENANCE DU COMBUSTIBLE			CARACTÉRISTIQUES du combustible.	DIMENSIONS et formes du combustible.	ANALYSE MOYENNE du combustible.				POUVOIR calorimétrique total.	
	Pays.	Régions.	Localité.			C fixe.	Matières volatiles.	Cendres.	Humidité.		Soufre.	Calories par kilogrammes.
1	Grande-Bretagne.	Yorkshire.	Pearm Valley, Sheepbridge.	Cokéfiant et bour- soufflant.	De la grosseur d'un pois à de la pous- sière.	54,8	29,5	6,2	7,8	4,3	6 400
2	Belgique.	Mons.	Flénu.	Cokéfiant. Ten- dance à se scorifier.	Pois, noisette et houille fine.	—	33,0	5,0	—	—	6 600
3	France	Saint-Étienne.	Decize.	Très cokéfiant.	Grosseur d'un pois.	60,0	49,6	43,4	7,3	4,2	7 300
4	Autriche.	Styrie.	Fohnsdorf.	Houille miroitante.	Houille rude au toucher.	48,0	27,0	47,0	40,0	2,2	5 000
5	Bosnie.	—	Banjaluka.	Lignite.	Pois et noisettes.	44,8	55,3	20,6	45,0	3,8	4 200
6	Allemagne.	Rhenane.	Brühl.	Briquettes.	2" à 3".	47,3	34,8	4,6	43,3	—	4 900
7	Russie.	Pologne.	Mine Park.	Non cokéfiant.	Noisette lavée $\frac{1}{2}$ ".	48,0	32,0	8,5	41,5	—	5 600

vertisseur Bessemer. Il est également employé dans les hauts fourneaux et autres fours de fusion. Généralement on fabrique deux qualités. Le coke tendre, est peu employé dans les fours à fusion du fer et de l'acier, car il est indispensable d'avoir un coke dense et dur, aussi exempt de soufre que possible. En fabricant le coke au moyen de la houille, à l'aide d'un des nombreux types de fours à coke spécialement employés à cet usage, les constituants volatils sont éliminés et laissent un résidu combustible, contenant généralement moins de soufre, et ayant un pouvoir calorifique plus élevé, que la houille ayant servi à le préparer. Le tableau XXXIII (p. 37)¹ donne la composition de quelques espèces de cokes types.

TABLEAU XXXIII
Composition centésimale du coke.

	1		2		3	
	ANALYSE ordinaire.	ABSTRACTION faite du soufre et des cendres.	ANALYSE ordinaire.	ABSTRACTION faite du soufre et des cendres.	ANALYSE ordinaire.	ABSTRACTION faite du soufre et des cendres.
Carbone.	85,84	97,83	91,3	97,33	91,59	97,33
Hydrogène.	0,52	0,60	0,33	0,35	0,47	0,50
Oxygène et azote.	1,38	1,57	2,17	2,32	2,05	2,17
Soufre.	0,86	—	—	—	—	—
Cendres.	11,40	—	6,20	—	5,89	—

Lorsque l'on commande du coke, il est absolument indispensable de spécifier la quantité maximum de soufre, savoir 0,8 p. 100, si on l'utilise pour la fusion de la fonte et des scraps d'acier dans les cubilots du procédé Bessemer, et 0,6 p. 100, pour les fours à creusets fabriquant des aciers à outils à coupe rapide.

Combustibles liquides. — Si on les compare aux autres genres de combustibles, les combustibles liquides sont de beaucoup les moins employés à la fabrication de l'acier. Ils sont appliqués et actuellement employés dans les fours de fabrication de l'acier au creuset, dans les petits et les grands fours Martin-Siemens et pour la fusion de la fonte à transformer en acier par le procédé Bessemer. En 1888, James Riley et F. W. Dick ont pris un brevet pour l'emploi des combustibles liquides dans les fours de régénération, et depuis cette époque on y a apporté de nombreux perfectionnements dans le but d'arriver à utiliser économiquement le pétrole brut, à la fabrication de l'acier. Il est probable que le prix de revient de ce combustible est le principal obstacle à son emploi. Ainsi, par exemple, dans certaines régions des États-Unis, comme à Worcester où le prix de vente de la houille varie de 15,75 fr. à 21 francs la tonne, il serait plus avantageux d'employer le pétrole brut, mais les fluctuations du prix de

¹ Percy, « Fuels », p. 417.

vente de celui-ci et surtout ses augmentations en 1912 ont obligé certains fabricants d'acier à revenir aux gazogènes. Certains fours sont cependant encore équipés pour travailler, soit avec du gaz de gazogènes, soit avec le pétrole brut.

La question de situation influence beaucoup le prix du pétrole brut, aussi bien d'ailleurs, que celui de la houille. Booth¹ a montré que le pétrole brut coûtant 3 francs à Bakou revient en France à 185 francs, par conséquent à un prix excessif. Cette différence de 182 francs est absorbée par les transports par fer et par mer, la manutention, les taxes et le magasinage.

La question du prix mise à part, l'emploi du pétrole brut dans la fabrication de l'acier présente un certain nombre d'avantages. Il ne contient généralement presque pas de soufre, souvent pas, ne donne pas de cendres et est par conséquent, moins ennuyeux par son action sur les générateurs et les fondants, que le gaz. Pour le fonctionnement d'un four Martin-Siemens il faut de 180 à 225 litres de pétrole par tonne d'acier, et pour la fusion de la fonte, pour le procédé Bessemer il en faut 180 litres.

La valeur chimique des pétroles trouvés dans les différentes parties du monde, ne varie pas beaucoup quant à la teneur en carbone et en hydrogène.

Le tableau XXXIV donne la composition intime des principaux pétroles².

TABLEAU XXXIV

Analyses centésimales des pétroles.

	C	H	O
Amérique	84,9	13,7	1,0
Russie.	86,6	12,3	1,1
Bornéo.	87,8	10,78	1,24
Texas	85,6	11,03	3,51
Caucase	84,9	13,96	1,25
Birmanie.	86,4	12,1	1,5

Valeur calorifique du pétrole. — Si l'on compare la valeur calorimétrique du pétrole avec celle de la houille, on remarque que pour celui-ci elle est de 50 à 60 p. 100 plus élevée. La valeur calorimétrique d'un bon gaz de houille varie de 5500 à 7000 calories par kilogramme. Le tableau suivant donne les valeurs des huiles combustibles liquides de diverses provenances.

¹ Booth, « *Liquid Fuels* », p. 35.

² Lewes, « *Liquid and Gaseous Fuels* », p. 42.

TABLEAU XXXV

Pouvoir calorimétrique des huiles combustibles liquides ¹.

PROVENANCE	COMBUSTIBLE	DENSITÉ à 0° C.	ANALYSE centésimale.			POUVOIR calorimétrique.	
			C	H	O	Calories réelles.	Calories calculées.
						par kg.	par kg.
Russie.	Pétrole (refus). . .	0,928	87,10	11,7	1,2	—	11,018
—	Astatki	0,900	84,94	13,96	1,2	10,340	11,626
Caucase.	Brut lourd	0,938	86,60	12,30	1,1	11,800	11,200
Amérique	Résidu solide	—	97,855	0,489	1,96	8,057	—
Ecosse	Huile B. F.	0,920	83,64	10,59	9,458	10,328	—

Production mondiale du pétrole. — Les principaux champs pétroliers se trouvent en Amérique et en Russie. Le tableau XXXVI donne l'extraction mondiale en tonnes.

TABLEAU XXXVI

Extraction mondiale du pétrole ².

	1910	1911
États-Unis d'Amérique.	28 331 000	29 000 000
Russie	8 952 793	8 290 000
Indes hollandaises (Est).	1 700 000	1 590 000
Galicie	1 700 000	1 300 000
Roumanie.	1 352 300	1 540 000
Indes	872 000	1 043 000
Mexique	542 400	896 338
Autres pays.	786 480	1 000 000
Total.	44 236 973	44 659 338

Gaz naturel. — On trouve du gaz naturel dans différentes parties du monde et c'est vers l'année 1884 qu'il fut employé pour la première fois dans plusieurs États de l'Amérique, notamment en Pennsylvanie, West Virginia, Ohio et Indiana. On le trouve aussi en abondance au Canada. En 1910, il y avait dans l'Ontario, 828 puits dont on utilisait le gaz comme combustible et pour l'éclairage : cela représente une valeur de 7 012 875 francs, pour une moyenne de 4 centimes par mètre cube. La production de 1911 fut évaluée à 8 980 500 francs. Le gaz employé dans l'Alberta pendant 1911 représentait une valeur de 5 035 000 francs. D'autre part, on constate une diminution dans la production du pétrole, de 49 753 616 litres en 1910 à 45 849 985 litres en 1911.

¹ Booth, « *Liquid Fuel and its appliances* », p. 281.

² « *Mineral Industry* », 1911, p. 557.

La composition du gaz varie avec les divers puits. Le D^r Brislée¹ a donné l'analyse suivante, comme représentant la composition moyenne d'un certain nombre d'échantillons de gaz naturels provenant de Pennsylvanie.

Méthane (gaz des marais CH ⁴)	67	p. 100.
Hydrogène (H ²)	22	—
Ethane (C ² H ⁶)	5	—
Éthylène (C ² H ⁴)	1	—
Oxyde de carbone (CO)	0,6	—
Acide carbonique (CO ²)	0,6	—
Azote (Az)	3,8	—

En Pennsylvanie et dans l'Ohio, il existe plusieurs grands fours Martin-Siemens qui peuvent indistinctement fonctionner, soit au gaz naturel, soit au gaz de gazogène, de sorte que si le prix du gaz naturel dépasse celui du gaz fabriqué avec de la houille, on emploie les gazogènes. Les fabricants d'acier se sont, en général, assurés l'emploi de ce gaz pour une longue période à un prix économique, mais ils ont jugé prudent de s'adjoindre des gazogènes qu'ils utiliseraient, dès que le syndicat du gaz naturel leur demanderait un prix anormal.

Le gaz est recueilli dans des gazomètres appropriés à cet usage, puis envoyé directement dans les carneaux du four Martin-Siemens sous une pression d'environ 0^m,035 par centimètre carré, au lieu de le faire d'abord passer dans les régénérateurs comme cela se fait avec le gaz artificiel. Le gaz est mélangé avec l'air chaud provenant des régénérateurs et brûle avec une flamme plus courte et moins destructive sur les parois des fours que le gaz de gazogène.

Dans une grande usine du Cleveland, on le payait 0,03 fr. par mètre cube en juin 1912, et on le considérait d'un emploi plus économique que la houille. Il a été également employé dans un grand four Talbot aux usines de MM. Jones et Laughlin, vers la même époque, ainsi que dans d'autres usines, probablement.

Prix de la force électrique. — Le prix auquel la force électrique peut être produite ou acquise est un facteur très important en ce qui concerne la fabrication économique de l'acier au four électrique. Partout où se trouve une masse d'eau pouvant être captée dans des conditions avantageuses, il y a une source économique de force. Malheureusement, toutes les masses d'eau ne peuvent pas toujours être économiquement employées au fonctionnement des générateurs électriques. De plus, les régions dans lesquelles cela pourrait se faire, sont souvent situées à des distances considérables des centres industriels pouvant utiliser cette orce, de sorte que les frais de transmission de celle-ci constituent un facteur très important de son prix de revient. Dans les régions où l'on ne trouve pas des masses d'eau suffisantes, on emploie des machines à vapeur ou des turbines à vapeur, des machines à gaz ou à pétrole,

¹ *Industrial Chemistry*, p. 459.

TABLEAU XXXVII
Prix de la force électrique.

N ^{os}	LOCALITÉS	COUT DE L'INSTALLATION de la force.	COUT DE LA FORCE	SOURCE EMPLOYÉE à la produire.	USAGES de la force produite.
1	Norvège.	186,62 francs par kw. de capacité (usine de 7500 kw.).	63,04 fr. par kilowatt-année.	Chute d'eau.	—
2	— (Notodden)	186,62 francs par kw. de capacité (usine de 7500 kw.).	46,64 —	—	—
3	— (Jossingford)	174,84 fr. à 210,16 fr. par kilowatt de capacité.	29,84 —	—	Four électrique Hiorth de 5 tonnes.
4	Italie	—	70,91 —	—	—
5	Suisse (Aare)	—	pour une consommation de 3000 chev. 0,029 fr. à 0,039 fr. par kilowatt-heure.	—	Four électrique Girod de 2 tonnes.
6	Belgique (Liège)	—	0,031 fr. par kilowatt-heure.	Machine à gaz.	—
7	Nord de l'Angleterre	—	0,015 fr. à 0,016 fr. par kilowatt-heure.	Turbine à vapeur.	—
8	Galles du Nord.	—	0,030 fr. par kilowatt-heure.	Machine à vapeur (houille, 3 à 6 tonnes)	—
9	Etats-Unis (Sud de Chicago)	756,60 francs par kilowatt de capacité (supposé).	0,026 — 98,02 fr. par kilowatt-année pour une consommation de 2000 chevaux ou 0,031 fr. par kilowatt-heure pour une consommation supérieure à 5000 kilowatts-heures par mois.	Machine à gaz. Chute d'eau.	Four électrique Héroult de 5 tonnes.
10	Niagara	—	—	—	—

1 et 2, *Transactions of the Faraday Society*, vol. IV, pp. 434-442.
3, *Transactions of the American Electrochemical Society*, vol. XVIII.

4, *Iron Age*, vol. LXX (20 nov.), p. 5.

5, *Electrochemical and Metallurgical Industry*, 1908, p. 452.

6, *Journal Iron and Steel Institute*, 1908, III, p. 104.

7 et 8, *Journal Iron and Steel Institute*, 1910, I, p. 410.

9, *Metallurgical and Chemical Engineering*, avril 1910,

l'emploi d'un système ou d'un autre dépendant des conditions prédominantes. Maintenant que l'on a reconnu l'importance de l'utilisation comme force motrice des gaz des hauts fourneaux et des fours à gaz, la plupart des usines possèdent des installations permettant de les utiliser. D'autre part, l'emploi des turbines à vapeur à basse pression, permet de produire économiquement l'électricité au moyen de la vapeur d'échappement, de sorte que les usines où l'on consomme beaucoup de vapeur, sont souvent installées pour recueillir la vapeur d'échappement et l'utiliser à la production de la force.

Le choix de l'un ou de l'autre des procédés dépend évidemment des conditions locales. Il est souvent plus économique d'acheter la force à une compagnie ou à un syndicat producteur d'électricité, que d'établir une installation électrique dans l'usine qui doit l'employer.

Le tableau XXXVII (p. 50) donnera une idée des différents prix de production de l'énergie électrique.

TABLEAU XXXVIII

**Prix de l'énergie électrique par kilowatt-année et heure
et par cheval-année et heure.**

PRIX par kilowatt-année.	PRIX par cheval-année.	PRIX par kilowatt-heure.	PRIX par cheval-heure.
francs.	francs.	francs.	francs.
25,22	18,79	0,0028	0,0021
50,44	37,61	0,0057	0,0043
75,66	56,42	0,0086	0,0064
100,88	75,22	0,0115	0,0086
126,10	94,03	0,0143	0,0107
151,32	112,85	0,0172	0,0129
176,54	131,66	0,0201	0,0150
201,76	150,46	0,0229	0,0172
226,98	169,27	0,0259	0,0193
252,20	188,14	0,0287	0,0214
277,42	206,95	0,0316	0,0236
302,64	225,75	0,0345	0,0257
327,86	244,56	0,0373	0,0279
353,08	263,38	0,0402	0,0300
378,30	282,19	0,0431	0,0321
403,52	300,99	0,0459	0,0343
428,74	319,80	0,0489	0,0364
453,96	338,62	0,0517	0,0386
479,18	357,43	0,0546	0,0407
504,40	376,28	0,0575	0,0429
529,62	395,10	0,0603	0,0450
554,84	413,91	0,0633	0,0472
580,06	432,73	0,0661	0,0493
605,28	451,52	0,0689	0,0515
630,50	470,34	0,0719	0,0536
655,72	489,15	0,0747	0,0556
680,94	507,97	0,0777	0,0578
706,16	526,76	0,0805	0,0599
731,38	545,58	0,0833	0,0621
756,60	564,44	0,0863	0,0643

Dans le prix de production donné, il ne faut pas oublier que les taux

d'intérêt et d'amortissement supportés par les installations d'une usine de force varient considérablement, comme d'ailleurs ceux supportés pour l'utilisation des gaz perdus, de la vapeur d'échappement, etc. Le prix payé par le consommateur d'énergie dépend beaucoup aussi de diverses circonstances spéciales à chaque cas, tels que le facteur force, le facteur charge, le facteur continuité ou non de la charge, le facteur consommation, etc. Les compagnies productrices d'électricité accordent généralement des prix spéciaux aux usines consommant beaucoup d'électricité comme c'est le cas de celles employant des fours électriques.

Le tableau XXXVIII (p. 51) donne le prix équivalent par kilowatt-heure et cheval-heure de l'énergie par rapport au kilowatt-année et au cheval-année. Il a été établi sur la base de trois cents soixante-cinq jours par an et de vingt-quatre heures par jour. Le coût de la force par kilowatt-heure (ou cheval-heure) n'est pas nécessairement comparable au prix équivalent du kilowatt-année (ou cheval-année) mais montre, qu'il est fonction de l'utilisation continue de la force durant toute l'année.

SECTION VI

FERRO-ALLIAGES

Les ferro-alliages sont des produits manufacturés obtenus par combinaison du fer avec un ou plusieurs des métaux suivants : aluminium, calcium, chrome, manganèse, molybdène, nickel, silicium, titane, tungstène, uranium, vanadium, etc. La fabrication de ces alliages a pris une importance et un développement considérables en rapport avec la production de l'acier. Dans chaque procédé de fabrication de l'acier, on emploie habituellement un ou plusieurs ferro-alliages selon la qualité de l'acier à obtenir.

Dans la fabrication de l'acier, les ferro-alliages ont un double rôle à remplir :

1. En provoquant des réactions chimiques énergiques pendant l'élimination des diverses impuretés, ils agissent comme agents désoxydants dans les différents procédés de fabrication de l'acier.

2. Ils donnent au métal dont les impuretés ont été enlevées, un certain nombre de propriétés physiques et chimiques spéciales, selon la nature et la quantité du ferro-alliage ajouté.

Classification des ferro-alliages. — Les ferro-alliages peuvent parfaitement se diviser en deux catégories, (a) les alliages ordinaires et (b) les alliages riches ; les premiers étant généralement employés pour la fabrication des aciers au carbone, et les autres pour les aciers spéciaux. Il y a cependant des cas, où les alliages régulièrement employés pour la fabrication des aciers en carbone, sont également employés pour la fabrication des aciers spéciaux, par exemple le ferro-manganèse qui est invariablement employé, à différents degrés, pour les aciers ordinaires au carbone, l'est également pour la fabrication des aciers au manganèse.

Les ferro-alliages généralement employés dans le premier cas sont : le spiegeleisen, le ferro-manganèse, le ferro-silicium et le ferro-aluminium,

et dans le second cas on emploie les alliages suivants : ferro-nickel, ferro-chrome, ferro-tungstène, ferro-titane, ferro-molybdène, ferro-uranium et ferro-vanadium.

Fabrication des ferro-alliages. — Depuis l'introduction du four électrique, on est parvenu à fabriquer des ferro-alliages contenant de très grandes proportions de ou des métaux ajoutés au fer. Les ferro-alliages contiennent de moins en moins de ces éléments étrangers et nuisibles, qui avaient tendance à s'introduire dans l'acier sous forme d'impuretés. Les ferro-alliages à très haute teneur, employés comme désoxydants, activent beaucoup plus rapidement les actions chimiques dans l'acier et absorbent, pour fondre, moins de chaleur que les alliages du même métal à faible teneur. Il y a donc avantage à employer des alliages riches plutôt que des alliages pauvres du métal que l'on désire ajouter à l'acier sous forme d'additions permanentes. Naturellement, pour arriver au même résultat, il est nécessaire de n'ajouter qu'une petite quantité de celui-ci, de sorte que la perte de chaleur résultant de la fusion des substances ajoutées à l'état solide est réduite à son minimum. Ce fait est particulièrement avantageux, notamment dans les cas où il est indispensable de maintenir invariable la température de fusion de l'acier.

Particularités et analyses des ferro-alliages. Spiegeleisen. — C'est un ferro-manganèse pauvre contenant généralement de 10 à 15 p. 100 (et quelquefois plus) de manganèse, avec environ 5 p. 100 de carbone. Il est fabriqué à diverses teneurs et est très employé dans la fabrication de l'acier Bessemer. Son introduction dans ce procédé par Robert Mushet, en 1856, fut de la plus haute importance pour le développement de ce procédé en Angleterre ainsi que dans d'autres pays. Le ferro-manganèse est actuellement employé, en même temps que le spiegeleisen, dans le procédé Bessemer ainsi que dans les autres procédés de fabrication de l'acier. Dans le tableau XXXIX nous donnons des analyses types des spiegeles anglais.

TABLEAU XXXIX

Composition centésimale des Spiegeles anglais (Darwyn et Mostyn) ¹.

ÉCHANTILLON	Mn	C	Si	P	S
1	29,75	5,20	0,65	0,090	néant.
2	20,11	4,99	0,42	0,074	néant.
3	14,40	4,32	0,56	0,063	néant.
4	9,25	3,95	0,44	0,060	traces.

Le prix du spiegeleisen (20 p. 100 Mn) varie de 151,32 à 163,90 fr. la tonne.

Silico-spiegel. — Cet alliage contient surtout du silicium et du manganèse en diverses proportions et est utilement employé, comme agent

¹ Foundry Trade Journal, 1907, p. 424.

désoxydant. Ci-dessous, nous en donnons une composition moyenne ¹:

Si	C	Mn	S	P
10,51 - 14,65	1,0 - 1,3	19,19 - 24,48	0,018 - 0,025	0,12 - 0,14 p. 100.

Ferro-manganèse. — Le ferro-manganèse, généralement employé dans la fabrication de l'acier, contient environ 80 p. 100 de Mn. En général, le ferro-manganèse anglais contient moins de phosphore que celui employé sur le continent. Il est employé dans les cas où il ne faut pas augmenter matériellement la teneur en carbone du métal (comme cela arrive quand on ajoute du spiegel); il est en outre très employé dans la fabrication des aciers au manganèse. Nous donnons ci-dessous des analyses types de ferro-manganèse anglais.

TABLEAU XL

Composition centésimale de ferro-manganèse anglais.

ÉCHANTILLON	Mn	C	Si	P	S	Fe
1	60,0	6,4	0,6	0,10	0,005	32,8
2	70,0	6,8	0,7	0,14	0,005	22,3
3	80,0	7,2	0,8	0,18	0,004	11,2

Le prix moyen du ferro-manganèse (80 p. 100) en 1907 était de 390,90 fr. la tonne et en 1908 il était descendu à 201,76 francs la tonne.

Ferro-silicium. — Cet alliage s'obtenait autrefois au haut fourneau sous forme de fonte très siliceuse contenant de 10 à 12 p. 100 de silicium. Par cette méthode de fabrication, où l'on consommait beaucoup plus de combustible que dans la fabrication des fontes ordinaires, l'alliage contenait beaucoup de phosphore et de soufre, ce qui le rendait moins efficace que le ferro-silicium obtenu au four électrique au moyen de roches très siliceuses et qui contient jusqu'à 90 et 95 p. 100 de silicium. Nous donnons ci-dessous la composition centésimale de ferro-silicium anglais obtenus au haut fourneau.

TABLEAU XLI

Ferro-silicium de haut fourneau anglais (Darwyn et Mostyn) ².

ÉCHANTILLON	Si	C	Mn	P	S	Fe
1	17,0	0,9	1,5	0,08	0,04	80,4
2	13,45	1,21	1,71	0,058	0,02	83,5
3	11,50	1,50	1,35	0,058	0,03	85,5
4	8,1	1,75	2,2	0,056	0,045	87,8

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 630.

² *Foundry Trade Journal*, 1907, p. 424.

Les ferro-silicium, fabriqués au four électrique, contiennent 25-30, 45-50, 75-80 et 90-95 p. 100 de silicium. Nous donnons ci-dessous quelques analyses types.

TABLEAU XLII
Composition centésimale des ferro-silicium
(Blackwell, Sons et C^o)¹.

ÉCHANTILLON	Si	C	Mn	P	S	Fe
1	32,7	0,27	0,31	0,05	0,04	66,6
2	48,7	0,09	0,43	0,04	0,03	51,0
3	75,8	0,0	0,11	0,02	0,02	24,0
4	94,8	0,0	0,08	0,01	0,02	5,1

L'alliage dont le pourcentage est le plus faible (25-30 p. 100 Si), est avantagement employé en gros morceaux dans le four Martin-Siemens et dans le procédé Bessemer, sans qu'il y ait une plus grande perte de silicium que quand on emploie les fontes siliceuses à 10-12 p. 100. Généralement on l'ajoute à l'acier dans le four, mais aussi quelquefois dans la poche, avant d'y couler l'acier. La première manière d'opérer est la plus commune. Le ferro-silicium à 45-50 p. 100 a un point de fusion plus bas que l'alliage à 25-30 p. 100, c'est par conséquent un désoxydant plus énergique mais comme il est moins dense, il risque de rester en suspens dans la scorie quand on l'ajoute à la charge du four.

Les ferro-silicium sont surtout utilisés dans la fabrication des aciers au silicium employés pour les transformateurs électriques. Le prix du ferro-silicium à 50 p. 100 était en 1908 de 479,18 francs la tonne et en 1912 de 302,64 francs la tonne.

Ferro-silico-aluminium. — Il est d'usage, dans la plupart des procédés de fabrication de l'acier, d'employer de petites quantités d'aluminium plutôt qu'un alliage de celui-ci, comme par exemple le ferro-silicium-aluminium. Cet alliage contient environ 45 p. 100 de silicium et 12 à 15 p. 100 d'aluminium, et est employé dans le même but que les autres agents désoxydants. Il est employé, en majeure partie, dans la fabrication de l'acier au four électrique, pour entraîner les oxydes métalliques dans la scorie en produisant des silicates de fer et d'aluminium très liquides qui provoquent l'élimination plus rapide et plus complète des oxydes. Cet alliage est également ajouté à l'acier liquide contenu dans les poches, avant d'en verser leur contenu dans les moules, pour empêcher l'acier fondu de mousser. En somme, il joue le même rôle, mais peut-être plus efficacement, que l'aluminium.

Les composés suivants combinés avec une plus ou moins grande quantité de fer, sont également employés dans la fabrication de l'acier pour désoxyder et pour « physicking ² » les charges.

¹ Foundry Trade Journal, 1907, p. 424.

² Expression dont la traduction littérale signifie *médicament* et qui veut dire ici, modifier les propriétés physiques des charges (E. Bazin).

(1) Silico-manganèse-aluminium¹ contenant :

Si	18-20 ou 9-11 p. 100.
Mn	18-22 ou 9-11 —
Al	9-12 ou 4,5-6 —

(2) Silico-calcium-aluminium² ayant une composition moyenne de :

Si	50-55 p. 100.	Mg.	environ 0,35 p. 100.
Ca.	18-22 —	Mn	— 0,22 —
Fe.	12-15 —	S.	— 0,75 —
Al.	4-5 —	P.	— 0,03 —
C	1,0-1,2 —		

L'emploi de cet alliage est limité à la fabrication des aciers d'excellente qualité, car il est assez coûteux. En plus de son emploi comme désoxydant, il est très précieux pour la désulfuration de l'acier.

Le prix moyen de l'aluminium métallique en 1907 était de 4 792 francs la tonne, mais en 1909 ce prix fut ramené à environ 1 576,25 fr. la tonne.

Silico-manganèse. — Cet alliage³ se fait généralement à deux titres différents :

	Mn	Si	Fe
(a)	60-70 p. 100.	20-25 p. 100.	3-4 p. 100.
(b)	50-60 —	22-25 —	environ 19 p. 100.

Ces alliages sont employés pour les additions fixes dans la fabrication de l'acier et sont quelquefois d'une application plus facile que l'emploi des alliages séparés, surtout lorsque le Si et le Mn du produit fini, atteint la même proportion pour l'un et l'autre que celle du ferro-alliage. Ces deux alliages contiennent environ 0,35 p. 100 de carbone et sont très pauvres en soufre et en phosphore de sorte qu'ils sont avantageux pour la fabrication des aciers d'excellente qualité.

Ferro-chrôme. — Cet alliage est généralement fabriqué au four électrique. Il contient environ 60 p. 100 de chrome. Le minerai qui sert à le fabriquer, connu sous le nom de chrômite (FeO , Cr^2O^3), contient approximativement à l'état pur 68 p. 100 d'acide chrômique. On trouve d'autres minerais, contenant des quantités variables d'acide chrômique, en Turquie, dans la Calédonie, le Canada, les Indes, l'Afrique du Sud, la Nouvelle-Galles du Sud et aux États-Unis. Les minerais provenant de la Nouvelle-Calédonie contiennent environ 56 p. 100 de Cr^2O^3 . Le prix de l'alliage dépend naturellement du prix du minerai. En 1906, le prix du minerai contenant 50 p. 100 de Cr^2O^3 était de 88,20 fr. la tonne rendue dans un port anglais ou du continent. En 1893, il était de 138,60 fr. la tonne.

Le ferro-chrôme est employé pour communiquer à l'acier fini des qualités spéciales de dureté. Il est également employé, en combinaison avec

¹ Société Electro-Métallurgique, Uginé, France.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

le nickel, pour la fabrication de l'acier employé pour faire les projectiles et les plaques de blindage. Il est aussi employé pour les aciers à outils et autres. Les analyses² suivantes, représentent la composition type des ferro-chrome à haute et basse teneur en carbone, fabriqués au four électrique Girod.

	Cr	Fe	C	Si	Al	Mn	Ca	S	P
(1)	54,5	22,0	9,5	2,25	0,80	0,15	0,25	0,04	0,03 p. 100.
(2)	63,5	35,0	0,6	0,20	0,10	0,10	0,35	0,03	0,02 —

Le prix de vente du ferro-chrome (60 p. 100 Cr) variait de 580 francs à 756,60 francs la tonne en 1906 et de 454 francs à 504 francs en 1911. Les prix dépendent de la teneur en carbone. Voici ceux qui ont été payés en 1912 :

Ferro-chrome.

60 p. 100 contenant 8-10 p. 100 de carbone	422,42 fr.
60 — — — 4-6 — —	479,18 —
60 — — — 2 — au maximum de carbone.	1 210,56 —

Ferro-tungstène. — Le tungstène est employé depuis plus de quarante ans dans la fabrication des aciers à outil. Robert Mushet ayant découvert les qualités de dureté que le tungstène donnait à l'acier, il ne fut pas possible, pendant un bon nombre d'années, de produire des aciers à outils ayant les qualités de l'acier Mushet. Les aciers à outils au tungstène fabriqués de nos jours, sont si nombreux qu'il ne faut pas songer les énumérer. Certains aciers à coupe rapide contiennent jusqu'à 20-25 p. 100 de tungstène. Le ferro-tungstène se fabrique avec le wolframate de fer et de manganèse qui, commercialement, contient 70 p. 100 d'acide tungstique. On trouve les minerais de tungstène dans la Nouvelle-Galles du Sud, dans l'Argentine, au Brésil, en Chine, aux Etats-Unis, en Espagne, au Portugal, en Angleterre (Galles et Cornwall), en Bohême, en Saxe, etc.

TABLEAU XLII

Composition analytique des minerais de tungstène.

	ESPAGNE	AUSTRALIE	BOHÈME (Zinnwald).	ÉTATS-UNIS
TuO ³	64,13	64,23	71,76	63,20
SnO ²	0,68	0,57	—	—
MnO	6,42	1,31	16,30	1,10
FeO	10,88	16,71	7,60	20,30
SiO ²	7,71	3,21	1,69	15,00
Al ² O ³	5,32	2,31	—	—
CaO	1,21	1,21	2,28	—
MgO	3,16	7,16	—	—
CuO	0,38	1,21	—	—
CO ²	—	2,05	—	—
P	—	—	—	traces
S	—	—	—	0,50

¹ Société Electro-Métallurgique, Ugine, France.

Le tableau précédent¹ donne la composition des minerais des différents pays.

Le ferro-tungstène se fabrique au four électrique mais il est très difficile d'obtenir des produits de composition régulière. La poudre de tungstène, préparée chimiquement, est encore beaucoup employée; mais on la remplace petit à petit par l'alliage métallique². Les alliages de ferro-tungstène contiennent de 50 à 85 p. 100 de Tu. La composition analytique moyenne est la suivante³ :

Tu	C	Si	Mn	Fe	Al	P	S
72,50	1,75	0,33	0,80	23,39	0,06	0,01	0,01 p. 100.

Il faut de 140-145 unités de TuO_3 pour produire 100 parties à 98 p. 100 de tungstène. Le minerai étant à 32,78 fr. l'unité et le prix de fabrication à 269,80 francs la tonne, le prix de vente sera d'environ 6 860 francs la tonne. Quand le minerai était à 50,44 francs l'unité, le prix de vente était de 10 088 francs la tonne. En 1906, le prix était de 3 530,80 francs et pendant l'année 1912 ce prix a varié de 6 355,44 à 7 566 francs la tonne.

Ferro-molybdène. — Cet alliage s'obtient en partant du sulfure de molybdène (MoS_2) ou de la wulfrenite (Pb,MoO_3) que l'on rencontre principalement en Scandinavie, au Japon, aux Etats-Unis et en Australie. Ces deux minéraux sont très rares, de sorte que la production du ferro-alliage est très petite. Le minerai contient :

	Mo	S	Fe	SiO_2
(1)	60,0	39,0	0,75	0,4 p. 100.
(2)	59,5	39,0	0,90	0,4 —

Le ferro-molybdène se fabrique sous forme de poudre ou à l'état métallique solide. La poudre répond à la composition suivante⁴ :

Molybdène métallique.	93,39 p. 100.
Oxydes de Mo { MoO_3	0,70 —
{ Mo_2O_3	2,63 —
Fer	1,50 —
Carbone total	0,54 —
Silicium	0,327 —
Manganèse	0,01 —
Soufre.	0,115 —
Humidité.	0,22 —

Le ferro-molybdène, obtenu au four électrique, contient 80 p. 100 de Mo et de 2 à 4 p. 100 de carbone. Il est pratiquement exempt d'impuretés. La composition analytique moyenne est la suivante :

Mo	Fe	C	Si	Al	Ca	Mn	S	P
75,0	18,5	4,0	0,2	0,1	0,15	0,15	0,03	0,03 p. 100.

¹ Foundry Trade Journal, 1907.

² Journal Institute of Mining and Metallurgy, 18 janvier 1906.

³ Foundry Trade Journal, 1907.

⁴ Journal Iron and Steel Institute, 1911, III, p. 69.

Il est beaucoup employé pour la fabrication de l'acier à outils. Combiné avec un ou plusieurs métaux tels que le nickel, le chrome et le tungstène, il convient très bien pour la fabrication de l'acier employé dans la construction des automobiles, des torpilleurs, des sous-marins, etc. En 1906, le prix du ferro-molybdène était de 6,30 fr. à 7,56 fr. par chaque 453 grammes de Mo contenu dans l'alliage et en 1912 le prix moyen était à peu près du même ordre.

Ferro-vanadium. — Dans ces dernières années, on a constaté que le vanadium, ajouté même en petite quantité, communiquait à l'acier des propriétés particulières spéciales. Il a été très employé, en combinaison avec le tungstène et le molybdène, pour la fabrication des aciers à outils à coupe très rapide. On le prépare en partant de la vanadinite ou chlorovanadate de plomb, représentés par la formule $3(\text{Pb}^3 \text{V}^2 \text{O}^8) + \text{PbCl}^2$ qui contient environ 19,35 p. 100 de V^2O^5 à l'état pur¹. Les minerais généralement employés pour la fabrication du ferro-vanadium contiennent environ 10 p. 100 de V^2O^5 . On trouve ces minerais en Espagne, dans l'Argentine, au Mexique et en Suède. Leur composition est variable. Le minerai de vanadium d'Espagne répond à la composition analytique suivante² :

V^2O^5	Pb	SiO^2	Fe^2O^3	Al^2O^3	MnO	As^2O^5	P^2O^5	Cu
12,20	51,27	15,30	10,14	3,15	2,29	1,4	1,10	0,5 p. 100.

Le ferro-alliage est fabriqué avec des proportions de vanadium variant de 25 à 50 p. 100 et dont la teneur en carbone varie de 0,3 à 5 p. 100. Nous donnons ci-dessous la composition moyenne de ces alliages³ :

	V	Fe	C	Si	Al	Mn	P	S	
Type. . .	50 p. 100	55,0	40,0	4,0	0,30	0,10	0,30	0,04	0,03 p. 100.
— de 25 à 30 —	—	34,1	64,22	1,42	0,12	0,12	0,12	0,009	0,03 —

Le prix du ferro-vanadium varie considérablement selon le prix du minerai. En 1907, le prix de vente de l'alliage (46 p. 100 V) était de 12,60 fr. pour chaque 453 grammes de vanadium qu'il contenait. En juin 1911, le prix était de 22 francs et en 1912 ce prix variait de 11,34 fr. à 13,86 fr. pour chaque 453 grammes de vanadium.

Ferro-titane. — Le ferro-titane se fabrique à deux titres différents — le fort et le faible, — mais il paraît difficile de fabriquer des alliages contenant une très forte proportion de titane, par suite des difficultés de fusion d'une part et des pertes par oxydation d'autre part. Pour ces raisons « La Société Electro-Métallurgique » a cessé la fabrication des alliages très riches pour se limiter à la fabrication du ferro-titane contenant de 10 à 20 p. 100 de titane.

Aux Etats-Unis, on a extrait 8000 tonnes de minerai produisant 566 tonnes de concentrés, contenant de 75 à 98 p. 100 de TiO^2 .

¹ *Journal Institute of Mining and Metallurgy*, 18 janvier 1906.

² *Foundry Trade Journal*, 1907.

³ *Société Electro-Métallurgique*, Ugine. France.

D'après le D^r Léon Guillet¹, le titane n'est intéressant qu'au point de vue de l'élimination de l'azote. Il n'a aucune influence marquée sur les propriétés mécaniques, la résistance à la traction des aciers contenant du titane est peut-être légèrement augmentée, mais l'allongement est légèrement diminué. La limite d'élasticité et la résistance au choc ne sont pas modifiées.

Nous donnons ci-dessous les analyses types du ferro-titane à haute et basse teneur :

	Ti	C	Si	S	P	Fe (par diff.)	As	Al	Mn	
Pauvre.	11,21	0,67	0,37	0,03	0,04	87,68	—	—	—	p. 100.
Riche .	51,30	2,82	—	0,047	0,021	44,19	1,12	0,41	0,08	—

Les alliages pauvres sont généralement vendus par lb. (453,5 gr.) d'alliage, mais les alliages riches sont vendus par lb. de titane. En 1912, le prix moyen du ferro-titane contenant 15 p. 100 de Ti était de 0,63 fr. par lb. d'alliage. Il est beaucoup employé aux Etats-Unis pour la fabrication des aciers à rails.

Ferro-nickel. — On produit le nickel soit presque complètement exempt de fer, soit sous forme de ferro-alliage. On l'extrait de minerais nickelifères magnétiques et des pyrites de cuivre contenant un très faible pourcentage de nickel, la teneur moyenne étant environ 5 p. 100.

Nous donnons ci-dessous la composition analytique moyenne du nickel et du ferro-nickel.

TABLEAU XLIV

Analyses centésimales moyennes du nickel et du ferro-nickel².

N ^{os}		Ni	C	Si	Al	S	Co	Cu	Fe	Mn	P
1	Nickel, très pur	99,3	0,09	0,14	0,14	0,01	—	0,07	0,39	—	—
2	— échantillon moyen	97,3	0,14	0,54	0,54	0,02	1,2	0,08	0,49	—	—
3	Ferro-nickel.	50,0	0,61	0,10	0,01	0,04	0,01	0,08	48,49	0,28	0,04

1 et 2, Société « Le Nickel ».

3, Weil et Reinhardt.

On fabrique le ferro-nickel avec les teneurs suivantes de nickel : 25, 35 et 75 p. 100 ; mais le nickel, presque complètement exempt de fer, et dont nous donnons les analyses sous les n^{os} 1 et 2 est très fréquemment employé dans la fabrication de l'acier. Le nickel est employé en diverses proportions dans les aciers au nickel et en combinaison avec d'autres métaux tels que le chrome, le molybdène, le vanadium, le tungstène, etc., pour les aciers à outils.

En décembre 1907, le prix du nickel était de 4489 francs la tonne et en 1912 le prix de la tonne variait de 4161 francs à 4287 francs.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1906, II, p. 48.

² *Foundry Trade Journal*, 1907.

Ferro-phosphore. — Cet alliage est employé pour l'enrichissement des scories phosphoriques, produites dans les fours à acier basique, afin de leur donner une plus grande valeur commerciale au point de vue de leur utilisation en agriculture. Les ferro-phosphore fabriqués en Angleterre et destinés à l'usage ci-dessus contiennent¹ :

	P	Fe	Si	C	S	Mn	
(1)	24,0	73,3	2,47	0,03	0,08	0,10	p. 100.
(2)	17,50	76,12	0,42	0,27	—	5,75	—

On a publié un compte rendu de l'emploi dans la fabrication de l'acier aux « Sharon Steel Co.'s Works, Pa., Etats-Unis, du ferro-phosphore fabriqué en Angleterre. On a remarqué qu'en laminant des tôles minces « en paquet » l'ouverture du paquet était facilitée par la présence du phosphore dans l'acier².

Toutefois, on n'a pas indiqué à quelle teneur en phosphore on s'était arrêté pour obtenir les meilleurs résultats avec le matériel employé à cet usage. Les analyses des ferro-phosphore employés étaient les suivantes :

	P	Fe	Si	C	Mn	Total	
	17,23	79,40	1,46	1,14	0,76	99,99	p. 100.
	25,56	70,66	1,80	1,20	0,64	99,86	—

Afin d'éviter certains effets dans la charge par l'addition du ferro-phosphore, on a fait des expériences avec du phospho-manganèse d'origine anglaise ayant la composition suivante :

Mn	P	Fe	C	Si	Total
65	25	7	2	1	100 p. 100.

Cette composition donne d'excellents résultats.

Le ferro-phosphore est également employé pour augmenter la dureté de certains aciers basiques. On a trouvé que sa présence était avantageuse dans les produits destinés à être filetés.

Il est assez singulier que l'on obtienne de très bons résultats en utilisant de l'acier contenant de 0,10 à 0,15 p. 100 de soufre pour la fabrication des boulons et des écrous. On obtient de meilleurs filets et on ne risque pas de les arracher pendant le filetage ou le taraudage. La présence du soufre, sous forme de sulfure de manganèse, est aussi absolument indispensable pour empêcher le métal de devenir cassant à chaud pendant le laminage.

Il est très remarquable que le phosphore et le soufre possèdent de telles propriétés, vu que leur présence dans l'acier y est nuisible dans la plupart des cas.

Alliages divers. — On produit maintenant un grand nombre d'autres alliages destinés à la fabrication de l'acier. Nous en donnons ci-dessous la nomenclature.

¹ *Métallurgie*, vol. VI, p. 128.

² *Iron Age*, 7 mai 1903, pp. 29-30.

TABLEAU XLV

Analyses centésimales des alliages divers.

N ^{os}	ALLIAGES	C	Si	Mn	P	S	Fe	Ca	Al	Cr	Ni	Tu	Mo	Mg	Bo
1	Carbure de silicium	1,14	69,8	0,22	0,036	0,014	11,15	15,05	2,55	—	—	—	—	0,26	—
2	Silico-chrome	3,40	17,17	0,70	—	0,01	28,29	—	—	50,2	—	—	—	0,24	—
3	Chrome-molybdène	0,5	—	—	—	—	—	—	—	30,0	—	—	50,0	—	—
4	Nickel-tungstène	0,5	0,25	—	—	—	—	—	—	—	25,0	50,0	—	—	—
		1,0	0,50	—	—	—	—	—	—		50,0	75,0	—	—	—
5	Nickel-molybdène	0,5	0,25	—	—	—	—	—	—	—	25,0	—	60,0	—	—
		1,0	0,50	—	—	—	—	—	—		50,0	—	70,0	—	—
6	Nickel-chrome	1,0	0,25	—	—	—	—	—	—	72,0	24,0	—	—	—	—
7	Ferro-bore	2,855	—	—	0,03	0,005	—	—		—	75,0	—	—	—	—

Analysés par G. Watson Gray, F. I. C., Liverpool.

On fabrique également du ferro-sodium, généralement vendu avec 25 p. 100 de sodium métallique et exempt de chaux ou d'un excès de carbone. Nous donnons ci-dessous les prix moyens de vente en Angleterre des ferro-alliages durant l'année 1912.

TABLEAU XLVI

Prix moyens des ferro-alliages payés en Angleterre en 1912.

FERRO-ALLIAGES	PRIX PAR LB. (1 lb. = 453,5 gr.)	PRIX par tonne.	ÉCHELLE
Spiegeleisen (20 p. 100 Mn)	francs. —	francs. 151,32 à 163,92	—
Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	—	209,32	—
Ferro-silicium (50 p. 100 Si)	—	302,64	Base 45 p. 100, — redevance de 7 francs pour chaque 1 p. 100 de Si en plus ou en moins.
Ferro-chrome (60 p. 100 Cr contenant 8-10 p. 100 carbone)	—	422,42	
Ferro-chrome (60 p. 100 Cr contenant 4-6 p. 100 carbone)	—	479,18	Redevance de 10 francs pour chaque 1 p. 100 de Cr en plus ou en moins.
Ferro-chrome (60 p. 100 Cr contenant au max. 2 p. 100 carb.)	—	1 210,56	12,50 fr. pour chaque 1 p. 100 de Cr en plus ou en moins.
Ferro-tungstène	2,83 à 3,36 par lb. de tungstène.	—	Redevance de 25 francs pour chaque 1 p. 100 de Cr en plus ou en moins.
Ferro-molybdène	6,93 par lb. de Mo	—	—
Ferro-vanadium	11,34 à 13,86 par lb. de vanadium.	—	—
Ferro-titane (15 p. 100 Ti)	0,63 par lb. d'alliage.	—	—
Carbure de silicium	—	1 008,80	—

PREMIÈRE PARTIE

LE PROCÉDÉ AU CREUSET

LE PROCÉDE AU CREUSOT

CHAPITRE III

FABRICATION DE L'ACIER AU CREUSET

Historique. — La méthode au creuset est la plus ancienne des quatre principales méthodes de fabrication de l'acier employées de nos jours et elle a gardé, pendant plus de cent ans, la suprématie dans l'industrie de l'acier, jusqu'au moment où Bessemer attira l'attention du monde entier avec son convertisseur. Aujourd'hui encore, le procédé au creuset occupe la première place dans la fabrication des aciers de qualité supérieure.

Depuis 1740, époque à laquelle Benjamin Huntsman introduisit à Sheffield la fabrication de l'acier au creuset, on a apporté de temps en temps¹ de nombreuses modifications tant sur la composition des mélanges employés, que sur la méthode adoptée.

La méthode originale d'Huntsman, consistant à fondre de l'acier poule ou fortement carburé, est la seule encore employée à Sheffield pour la fabrication des aciers riches en carbone; ainsi que les modifications introduites par Mushet, Heath et Vickers basées sur la fusion du fer avec le charbon de bois et le manganèse.

En Amérique, la méthode prédominante consiste à carburger la charge à la teneur voulue en y introduisant du charbon de bois, dont le carbone est rapidement absorbé par le fer en barre lorsqu'il est fondu.

Pour la production des moulages d'acier au creuset, on emploie la méthode « fonte et fer », ces matériaux étant mélangés en proportions calculées pour donner au métal fini la teneur désirée en carbone.

On a également essayé la méthode « fonte et minerai » dans laquelle on fondait ensemble des morceaux de fonte et du minerai de fer. Cette méthode ne semble pas s'être beaucoup développée dans la fabrication de l'acier au creuset.

Dans toutes les méthodes ci-dessus, on laisse l'acier se reposer pendant quelque temps dans le four pour être certain d'avoir des lingots sains. Dans le but de diminuer la durée du procédé, Mitis propose de « tuer le métal² » en lui ajoutant immédiatement après la fusion, une petite quantité de ferro-aluminium ou d'aluminium. On peut alors couler le métal quelques minutes après.

¹ Conférence faite par Mr. (maintenant Sir Robert) Hadfield devant l'*Iron and Steel Institute* en 1894.

² Cette période de repos est désignée en anglais par le mot technique de « Killing ». L'expression anglaise *to kill the metal*, signifie tuer le métal (E. Bazin).

On a proposé et essayé, de temps en temps, plusieurs autres méthodes qui sont, plus ou moins toutes, une combinaison ou une variation des méthodes précédentes.

Dans le but de faire adopter le procédé au creuset pour la fabrication d'acier de bonne qualité en partant de matériaux bon marché, on a essayé l'emploi des creusets basiques, mais ces essais ne semblent pas avoir été couronnés de succès.

Remarques générales. — La venue des fours électriques a arrêté, dans une certaine mesure, le développement du procédé de fabrication de l'acier au creuset, mais pas au point, cependant, où le prétendent les partisans du four électrique. Un des principaux obstacles au développement du four électrique, consiste dans le prix de la force nécessaire à ce procédé, et c'est la raison pour laquelle le four électrique ne peut être employé que pour la fabrication des aciers d'excellente qualité analogues à ceux fabriqués par le procédé au creuset. Il ne peut être question de la qualité de l'acier obtenu avec ce tout dernier type de four, mais le nom de « creuset » a été associé si longtemps à l'acier d'excellente qualité que certains consommateurs n'en veulent point d'autre, car ils sont persuadés que tout autre lui est nécessairement inférieur.

Un autre rival du procédé au creuset est le petit convertisseur Bessemer soufflé à la surface, dont l'usage va sans cesse en augmentant pour la fabrication des aciers de bonne qualité, coulés en moulages petits et difficiles et seulement obtenus jusqu'ici que par le procédé au creuset. On a constaté que lorsque l'on emploie de la fonte et des scraps contenant une faible proportion de soufre et de phosphore, on peut produire de l'acier de très bonne qualité à une température presque égale à celle obtenue dans le four à creuset. Cet acier convient parfaitement à l'usage auquel on le destine et coûte beaucoup meilleur marché.

L'emploi du four Martin, connu sous le nom de type « Baby », peut aussi être considéré comme un substitut du procédé au creuset, pour l'obtention de moulages en acier, analogues à ceux que l'on fait au moyen du petit convertisseur. D'après les rapports des résultats obtenus avec ce four, on doit en conclure que le four à creuset trouvera dans le petit four Martin, un redoutable rival pour la fabrication des moulages en acier d'excellente qualité.

Fabrication de l'acier au creuset. — Pour la fabrication de l'acier à outils, dont la teneur en carbone varie de 0,5 p. 100 à 1,5 p. 100 selon la trempe désirée, les matériaux employés doivent être soigneusement choisis et proportionnés. (Voir Chapitre XI pour les analyses types des matériaux, — les proportions employées et les qualités des aciers finis.) Une méthode communément employée, consiste à choisir de l'acier poule (provenant des fours de cémentation) dans des conditions telles que l'on obtiendra la trempe désirée, par simple fusion au creuset. Cette façon d'opérer est, comme nous l'avons déjà dit, la méthode originale de Huntsman qui permet d'obtenir des aciers bien homogènes. La méthode alternative consiste à fondre de l'acier poule, dont la teneur en carbone est un peu supérieure à celle que doit avoir l'acier fini, et de la réduire

à la teneur voulue, par addition de fer suédois en barre. Une autre méthode, également employée, consiste à fondre du fer suédois en barre et de le carburer à la teneur voulue, par addition de charbon de bois. Cette méthode peut se faire inversement, en fondant des morceaux de fonte très pure dont on diminue la teneur en carbone par addition de fer suédois en barre.

L'acier Bessemer et l'acier Martin-Siemens n'ont pas été sans être employés dans le procédé au creuset et on fabrique, par fusion de ces aciers dans le creuset, une grande quantité d'aciers à outil.

Les aciers à coupe rapide, si nombreux en quantité et en qualité, sont également fabriqués par le procédé au creuset, la composition chimique désirée étant obtenue par des additions de ferro-alliages tels que le ferro-vanadium, le ferro-tungstène, le ferro-chrome, le ferro-molybdène, le ferro-titane, etc.

Réactions chimiques du procédé au creuset. — Quoique pratiquement le procédé au creuset soit simplement un procédé de fusion, il n'en est pas moins intéressant de signaler les actions et les réactions chimiques qui se produisent pendant l'opération. La première objection, qui vient d'elle-même à l'esprit, est due à l'emploi des creusets en plombagine car la charge doit absorber une quantité considérable de carbone. Que l'on emploie des creusets en plombagine ou en argile, la charge absorbe aussi la silice du creuset, de sorte qu'il est extrêmement difficile d'obtenir des aciers pauvres en silicium, à moins d'employer des matériaux très purs, contenant très peu de silicium. Il ne faut pas oublier que le silicium est absorbé pendant la période de repos qui « tue le métal » et que, grâce à cette absorption, l'homogénéité de l'acier est considérablement améliorée.

Par la méthode de Mitis, on remplace la « période de repos », par des additions d'aluminium, de sorte que le temps employé par cette partie de l'opération est énormément réduit. Quoique ces additions provoquent l'introduction dans l'acier d'une petite quantité d'aluminium, cette introduction ne peut être nuisible tant que la quantité absorbée ne dépasse pas 0,03 p. 100. Dans ces conditions, la faculté d'absorption du silicium par l'acier, est diminuée.

Nous donnons ci-dessous un tableau qui donnera une idée de la quantité d'aluminium absorbée par l'acier par rapport à la quantité ajoutée

SUBSTANCE FONDUE	ALUMINIUM AJOUTÉ	ALUMINIUM dans l'acier fondu.
Débris de ressorts (Bessemer) . .	0,10 p. 100.	0,076 p. 100.
Débris de tôles de chaudières (Martin-Siemens).	0,10 p. 100.	0,068 p. 100.

La quantité de soufre et de phosphore tend à augmenter légèrement dans ce procédé, par suite des pertes dues à la fusion. Dans les fours chauffés au coke, l'augmentation du soufre provenant du coke est tout à fait appréciable. Le changement qui se produit dans la composition chimique, dans le procédé au creuset, est nettement mis en évidence par le tableau ci-dessous, qui indique les modifications apportées dans la teneur

des différents constituants du métal provenant de la fusion, au creuset d'argile, dans un four chauffé au coke, de 18 kilogrammes de débris de tôles de chaudières (Martin-Siemens acide).

Le silicium augmente de	0,02 à 0,41	p. 100.
Le manganèse diminue de	0,54 à 0,29	—
Le soufre augmente de	0,05 à 0,09	—
Le phosphore reste constant à	0,06	—

On remarquera que l'augmentation en silicium et en soufre est considérable, que le manganèse est réduit par oxydation et que le phosphore n'est pas influencé.

CHAPITRE IV

L'ÉVOLUTION DU FOUR A CREUSETS

Les perfectionnements des fours à creusets se sont limités à un petit nombre de points, probablement par suite de la nature même du procédé qui consiste, en somme, à fondre les matériaux dans un vase fermé, par application de la chaleur à l'extérieur, celle-ci devant traverser les parois du creuset avant d'atteindre les matériaux à fondre. Le dessin de construction des fours a surtout été perfectionné en vue d'augmenter la rapidité de la fusion, tout en diminuant la consommation du combustible. On a également pris en considération, pour les perfectionner, les méthodes de travail, ainsi que les moyens tendant à prolonger la durée des fours.

Il est absolument évident que, d'après les nombreux brevets demandés à l'Office des brevets, on a dépensé beaucoup de temps et de talent pour perfectionner ce procédé.

Le four original employé par Huntsman en 1740 était chauffé au coke. Depuis cette époque, on a employé d'autres combustibles, tels que la houille, le gaz, le pétrole lampant, etc., de sorte que l'on a pris l'habitude de classer les fours à creusets d'après la nature du combustible employé.

L'emploi de l'air chaud sous pression, a été introduit dans les différents types de fours provoquer la combustion complète du combustible. Nous donnons dans les pages suivantes, un court résumé des principaux perfectionnements.

Usages très anciens des creusets. — Alors que l'on admettait que Huntsman fut le premier qui entreprit la fusion de l'acier au creuset, le professeur Henry Louis ¹ a montré que les creusets étaient déjà en usage au xiv^e siècle pour la fusion de l'airain. Ce fait a été mentionné dans l'« *Aula Subterranea* » de Lazare Ercker, en 1574. De plus, on a reconnu que l'acier « Wootz » était directement obtenu dans les Indes, il y a 2 000 ans ², en réduisant directement dans de petits creusets d'argile des minerais hématites et magnétites.

Four Huntsman. — La figure 1 représente une coupe en élévation de l'ancien type de four chauffé au coke, encore très employé dans la forme modifiée représentée par la figure 2, dans la région où Huntsman fit de

¹ Communication faite à l'Université de Durham. *Phil. Soc.*, 9 février 1911.

² *Stahl und Eisen*, vol. XXI, p. 209.

l'acier pour la première fois. Tandis que l'on a introduit de nombreux procédés pour fabriquer de l'acier en plus grande quantité que l'on ne peut en faire avec le four à creuset, le four Huntsman chauffé au coke a conservé une place prédominante dans la fabrication des aciers à outils d'ex-

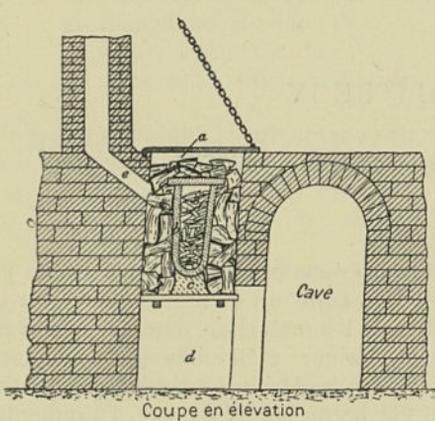


Fig. 1. — Four à creusets de Huntsman chauffé au coke. Type original.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, bloc réfractaire.
d, cendrier. — *e*, tuyau de cheminée.

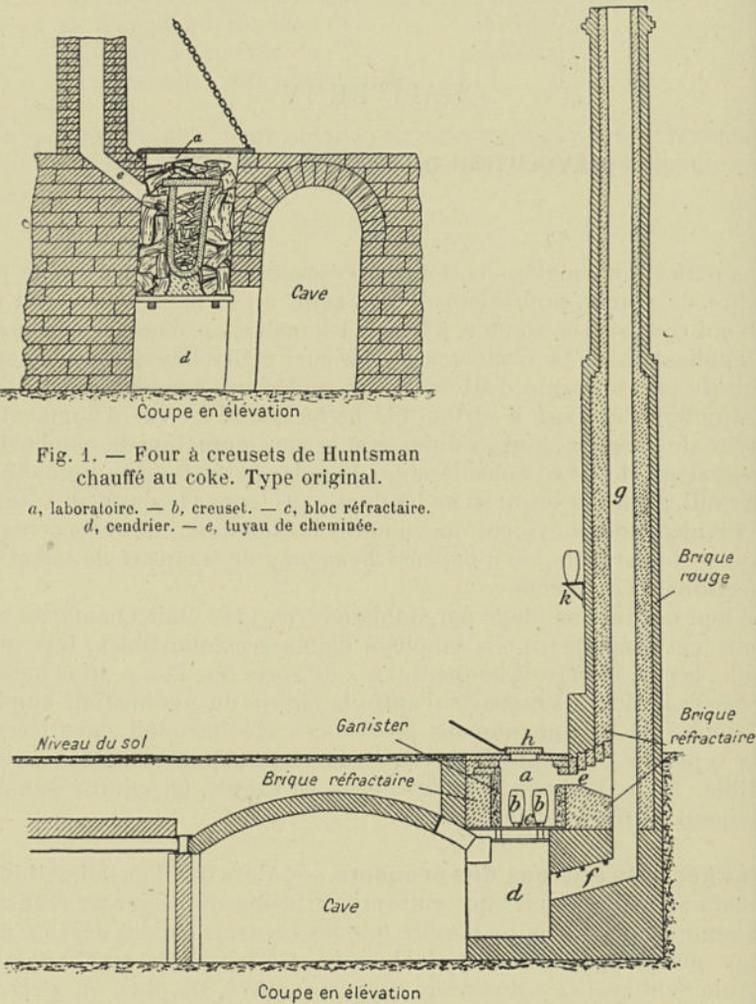


Fig. 2. — Four à creusets de Huntsman chauffé au coke. Type moderne.

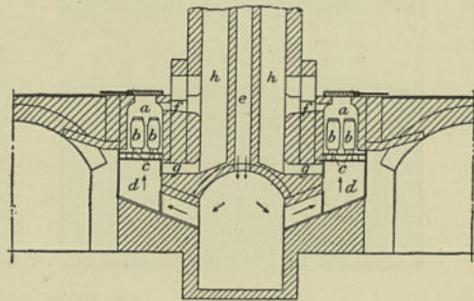
a, laboratoire. — *b*, *b*, creusets. — *c*, supports en terre réfractaire. — *d*, cendrier. — *e*, tuyau de cheminée. — *f*, tuyau de cheminée auxiliaire. — *g*, cheminée. — *h*, couvercle du laboratoire. — *k*, tablette pour le séchage des creusets.

cellente qualité. On est surtout parvenu à fabriquer économiquement l'acier au creuset, grâce à la connaissance plus approfondie des matériaux employés. On emploie également le four Huntsman, dans les petites fonderies des divers pays, pour la production de l'acier pour moulages ainsi que pour fondre d'autres métaux.

En perfectionnant son procédé, Huntsman a rencontré plus de difficultés en cherchant à obtenir, pour la fabrication de ses creusets, une argile résistant bien au feu, que dans la construction du four lui-même ou dans l'application des combustibles dont il pouvait se servir. Sur ce dernier point la plupart des ennus rencontrés avaient pour cause la connaissance incomplète des lois de la combustion. Le four Huntsman sera plus complètement décrit au Chapitre vi.

Four chauffé au coke utilisant la chaleur perdue. — Aussi loin que l'on puisse remonter, le premier perfectionnement important, dans la construction des fours à creusets, a été réalisé par Johnson en 1853.

La figure 3 représente une coupe du four breveté par lui. Dans ce four, il prévoit non seulement l'utilisation des gaz perdus pour le chauffage de l'air de combustion mais aussi l'envoi dans le four de cet air sous pression, à travers les grilles du foyer. Depuis cette époque ces deux perfectionnements ont été appliqués sous différentes formes.



Coupe en élévation.

Fig. 3. — Four à creusets chauffé au coke, utilisant la chaleur perdue pour le chauffage de l'air de combustion.

a, a, laboratoires. — *b, b*, creusets. — *c, c*, supports en terre réfractaire. — *d, d*, cendriers. — *e*, cheminée d'arrivée de l'air pour la combustion. — *f* et *g*, carnaux de cheminée. — *h, h*, cheminées.

Four à creusets multiples. — En 1855, Henry

Bessemer a fait breveter un four à creusets ayant une série de laboratoires placés autour d'une cheminée conique dans les parois de laquelle se trouvaient les carnaux des fours. Le fond de chaque creuset était fermé par un bouchon que l'on enlevait pour couler directement le métal dans le moule placé au centre de la cheminée et au-dessous des laboratoires.

Four à creusets à régénération de Siemens. — En 1856, F. Siemens a pris un brevet pour des régénérateurs destinés aux fours à creusets. La chambre de briques en chicanes, qu'il imagina en 1857, avec son frère C.-W. Siemens, est devenue depuis longtemps l'élément indispensable des fours Martin-Siemens et autres, pour l'utilisation des gaz perdus au chauffage de l'air nécessaire à la combustion des gaz du combustible. La figure 4 représente une coupe du four à creusets et de son régénérateur. On remarquera autour du creuset le coke servant comme combustible.

Revêtements perfectionnés pour les fours à creusets — Dans le but de réduire le prix de réparation des laboratoires, Samuel Fox a fait breveter en 1860, une forme simple de revêtement intérieur, représentée par la figure 5, et destinée à préserver la partie principale du four. Le revêtement est composé de briques en ganister de forme spéciale, et

entre le revêtement et le corps du four, on introduisait de la poussière de coke ou autre mauvais conducteur de la chaleur. Ces revêtements pouvaient être remplacés sans qu'il soit nécessaire de toucher à la structure principale du four.

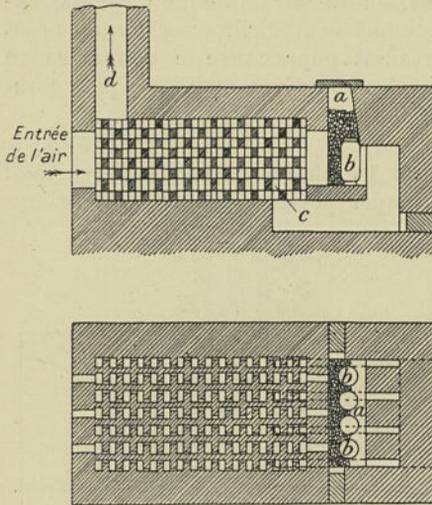
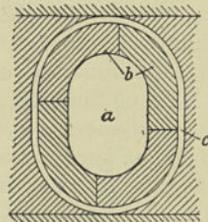


Fig. 4. — Four à creusets à récupération de Siemens. Premier dispositif.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, régénérateurs. *d*, cheminée.

Cubilot et procédé au creuset combinés. — En 1863, G. Davies a pris un brevet pour une méthode duplexe



Plan.

Fig. 5. — Revêtement intérieur du laboratoire d'un four à creusets.

a, laboratoire. — *b*, briques spéciales de revêtement en ganister. — *c*, espace rempli de poussière de coke ou autre mauvais conducteur de la chaleur.

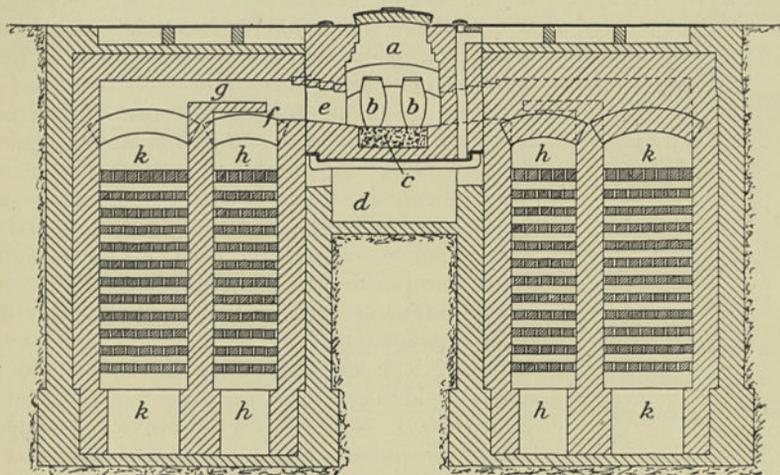
consistant à fondre d'abord le métal dans un cubilot, pour le finir ensuite dans un creuset. Il n'existe aucun document montrant que ce procédé soit encore en usage, mais l'emploi combiné du convertisseur Bessemer et du four Martin-Siemens, pour la fabrication rapide de l'acier, présente un certain rapport avec le brevet de Davies, qui avait surtout en but la production rapide de l'acier au creuset.

Four à creusets oscillant. — L'idée d'employer un four oscillant semble due à T. Rochussen qui fit provisoirement breveter un four construit dans ce but en 1864. Toutefois, son brevet n'a pas été complété, de sorte que ce sujet fut ensuite repris et revendiqué par d'autres. Le principe des fours oscillants « soufflés par l'air », fut préconisé par Henry Bessemer, quelques années auparavant.

Four à creusets de Siemens chauffé au gaz. — Dans la coupé en élévation du four à creusets représentée par la figure 6, on retrouve la plupart des caractéristiques des fours modernes chauffés au gaz, quoiqu'il fallût remonter à 1866, époque à laquelle C.-W. Siemens fit breveter le four que nous représentons.

Les creusets sont placés, sur deux ou plusieurs rangs, dans le laboratoire ou chambre de fusion dont la construction est indépendante des régénérateurs, qui sont placés sur les côtés. La maçonnerie du laboratoire

est maintenue froide par la voûte et les passages situés au-dessous de la chambre de fusion. Les carneaux à air sont placés au-dessus des carneaux à gaz et le mélange peut être activé, soit en diminuant les entrées



Coupe en élévation.

Fig. 6. — Four à creusets de Siemens chauffé au gaz.

a, laboratoire. — *b, b*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, voûte. — *e*, chambre de combustion. — *f*, carneau à gaz. — *g*, carneau à air. — *h, h*, régénérateurs à gaz. — *k, k*, régénérateurs à air.

de gaz provenant des régénérateurs, soit en les dirigeant vers le dessus. Les creusets sont placés du côté opposé aux carneaux à gaz ou entre ceux-ci, et reposent sur une sole faite avec de la poussière de coke.

Four à creusets à combustible liquide. — La figure 7 représente

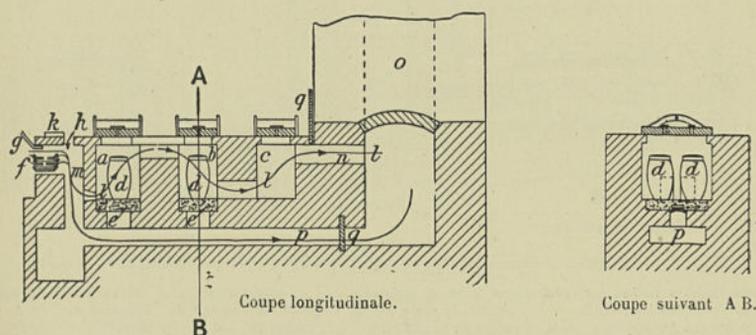
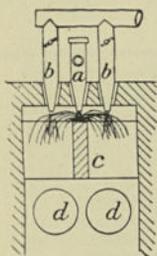


Fig. 7. — Four à creusets à combustible liquide de Nobel.

a, chambre de fusion. — *b*, chambre de chauffage. — *c*, chambre d'examen. — *d, d*, creusets. — *e, e*, soles en coke. — *f*, brûleurs à pétrole lampant. — *g*, conduite d'arrivée du pétrole. — *h*, entrée de l'air. — *k*, registre de réglage de l'arrivée d'air. — *l, l, l*, marche des gaz dans le four. — *m*, chambre de combustion. — *n*, sortie des flammes. — *o*, cheminée. — *p*, passage détourné des flammes. — *q, q*, registres.

une coupe longitudinale et une coupe transversale du four Nobel qui fut

breveté en 1884. Il figure parmi les premiers fours à creusets à fondre l'acier chauffés au pétrole, employés en Amérique. Il se compose de trois compartiments : celui qui se trouve le plus près de l'arrivée du pétrole sert à la fusion, le second au chauffage préalable des creusets garnis de leurs charges avant leur passage dans le premier compartiment, enfin le troisième sert à l'examen de la flamme. On dispose deux creusets dans chacun des compartiments de fusion et de chauffage. Le combustible vient d'un réservoir à pétrole et est amené aux brûleurs au moyen de tuyaux. L'air, admis entre les brûleurs, arrive par la partie supérieure, dont on peut régler l'ouverture au moyen d'une glissière. On obtient



Vue en plan du four montrant la position des jets.

Fig. 8. — Injecteur à huile de Nordenfelt pour le four à creusets Nobel.

a, injecteur d'huile. — *b*, *b*, injecteur d'air. — *c*, plaque brise-jet. — *d*, *d*, creusets.

très rapidement dans ce four la chaleur voulue, mais la maçonnerie en briques souffre en conséquence car on est obligé de la remplacer toutes les deux ou trois semaines.

En 1885, T. Nordenfeld a fait breveter un injecteur à huile pour l'usage du four Nobel. La figure 8 en montre le dispositif, qui permet l'emploi du naphte et autres liquides volatils. En face du jet central il y a une plaque contre laquelle l'huile est projetée et pulvérisée, en un jet analogue à celui d'une pomme d'arrosoir, de chaque côté de la plaque. L'air chaud, amené par les deux tuyaux placés de chaque côté du jet à huile, se mélange à l'huile pulvérisée en produisant un mélange gazeux extrêmement combustible.

Fours à creusets modernes chauffés aux huiles lourdes. — La figure 9, représente le four à creusets qui a remplacé le four Nobel aux

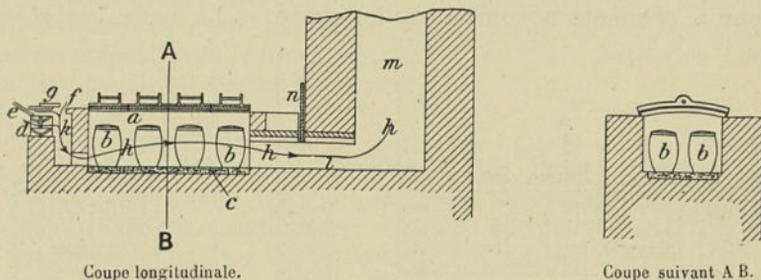


Fig. 9. — Four à creuset perfectionné type Nobel à combustible liquide.

a, chambre de fusion du laboratoire. — *b*, *b*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, brûleurs à huile. — *e*, tuyau d'arrivée de l'huile. — *f*, entrée de l'air. — *g*, registre de réglage de l'entrée d'air. — *h*, *h*, *h*, marche des gaz dans le four. — *k*, chambre de combustion. — *l*, sortie des gaz. — *m*, cheminée. — *n*, registre.

États-Unis. Il est d'une construction plus simple et peut contenir de 6 à 8 creusets dans sa chambre de fusion. La durée maximum du four est d'environ deux semaines, après quoi il faut remplacer les parois et les voûtes des chambres de fusion. Le fond du four sur lequel on place les creusets est fait avec du coke et des débris de creusets pulvérisés.

Comme perfectionnement du four représenté par la figure 9, lequel est

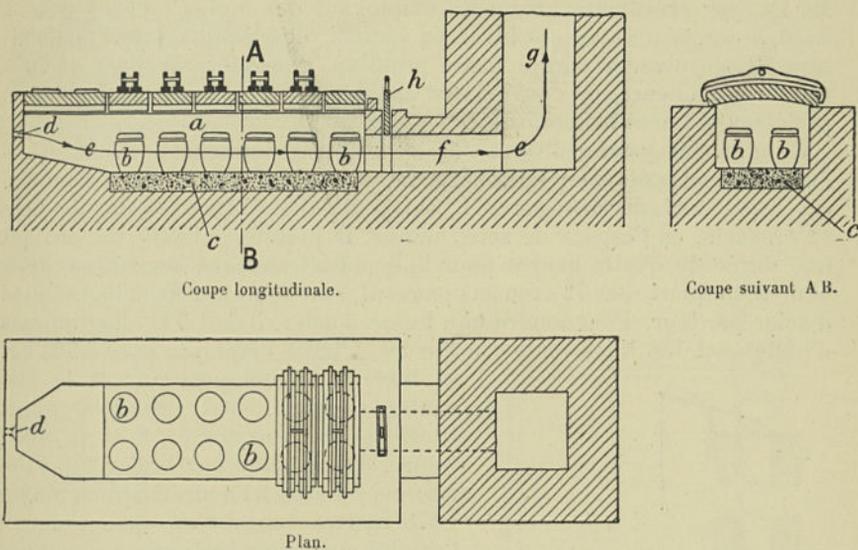


Fig. 10. — Four à creusets perfectionné à combustible liquide.

a, chambre de fusion. — *b*, *b*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, entrée du jet d'huile. — *e*, direction des gaz dans le four. — *f*, sortie des gaz. — *g*, cheminée. — *h*, registre.

encore employé dans la région de Milwaukee, Carl Smerling¹ a décrit un

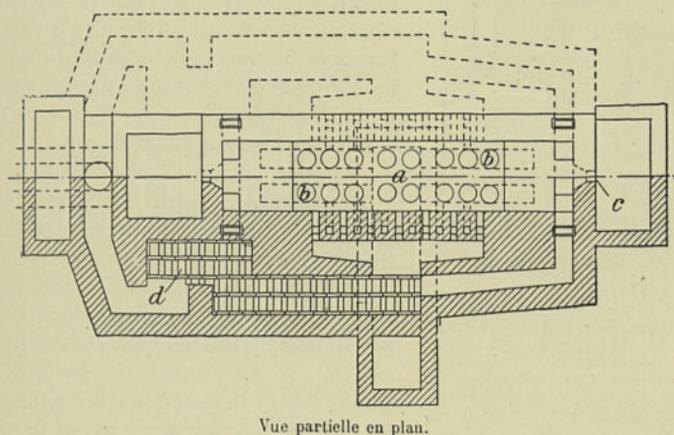


Fig. 11. — Four à creusets chauffé à l'huile avec régénérateurs.

a, chambre de fusion. — *b*, *b*, creusets. — *c*, entrée du jet d'huile. — *d*, régénérateurs.

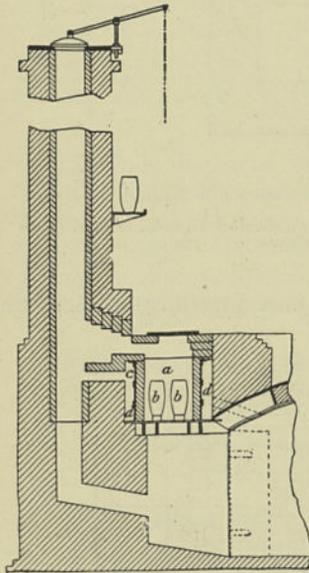
four dans lequel les brûleurs à huile sont remplacés par des pulvérisateurs (voir fig. 10). L'huile arrive sous une pression de 0,6 à 1,2 kg. par

¹ *The Foundry*, vol. XXXVI, p. 167.

centimètre carré, tandis que l'air est envoyé sous une pression de 1,2 à 2,4 kg. par centimètre carré. En employant des huiles lourdes pesant de 0,70 kg. à 0,84 kg. le litre, on obtient des résultats très satisfaisants. Les pulvérisateurs à basse pression, pouvant pulvériser de 70 à 140 litres à l'heure, ne conviennent pas pour ce four, car les gouttelettes projetées abiment les creusets.

Un nouveau système de four à huile¹ avec régénérateurs pouvant chauffer 16 creusets contenant une charge moyenne d'environ 400 kilogrammes, est représenté par la figure 11. On peut faire 6 chauffeuses de chacune 12 creusets, en l'espace de seize heures, la première chauffe nécessitant une durée de quatre heures pour la fusion et chacune des autres, deux heures un quart. Les 72 creusets peuvent donc fournir 2800 kilogrammes d'acier par jour. Pour fondre une tonne d'acier, il faut 730 kilogrammes d'huile, soit 136 kilogrammes à l'heure. L'huile employée pèse 0,725 kg.

le litre et sa composition est la suivante : carbone, 86 p. 100 ; hydrogène, 12,06 p. 100 ; oxygène, 1,34 p. 100 ; soufre, 0,6 p. 100. Pour brûler 136 kilogrammes d'huile à l'heure il faut employer 1375 mètres cubes d'air qui, grâce à l'emploi des régénérateurs, est envoyé à une température d'environ 1200° C.



Coupe longitudinale.

Fig. 12. — Four à creusets chauffé au coke avec revêtement intérieur mobile.

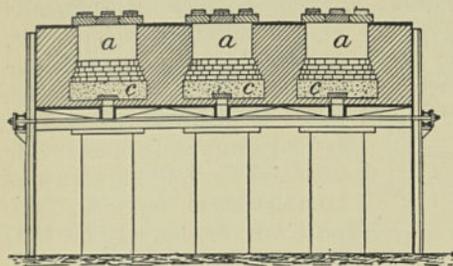
a, laboratoire. — b, b, creusets. — c, châssis en fer contenant le revêtement mobile. — d, d, passage de l'air autour du châssis.

Application du gaz à l'eau aux fours à creusets. — En 1890, Samuel Fox a fait breveter un dispositif permettant d'injecter dans l'air provenant des régénérateurs, un jet de gaz à l'eau destiné à activer la combustion du gaz et de l'air durant leur passage des générateurs dans les chambres de fusion et pour rendre la chaleur plus intense.

Économie dans l'entretien des fours. — Afin de réduire le prix du revêtement ordinaire des fours à creusets de Huntsman, W. Kirkham a fait breveter en 1896 un four à creusets dans lequel le revêtement était encastré dans un châssis en fer se posant sur les grilles du foyer. Entre la maçonnerie extérieure et le châssis en fer il y avait un espace annulaire permettant le libre passage de l'air destiné à refroidir le châssis. Grâce à ce dispositif, on pouvait introduire quand cela devenait nécessaire, un revêtement de rechange et l'on évitait ainsi la sérieuse perte de temps qui se représentait avec les anciens fours toutes les quatre ou cinq semaines, pour refaire le revête-

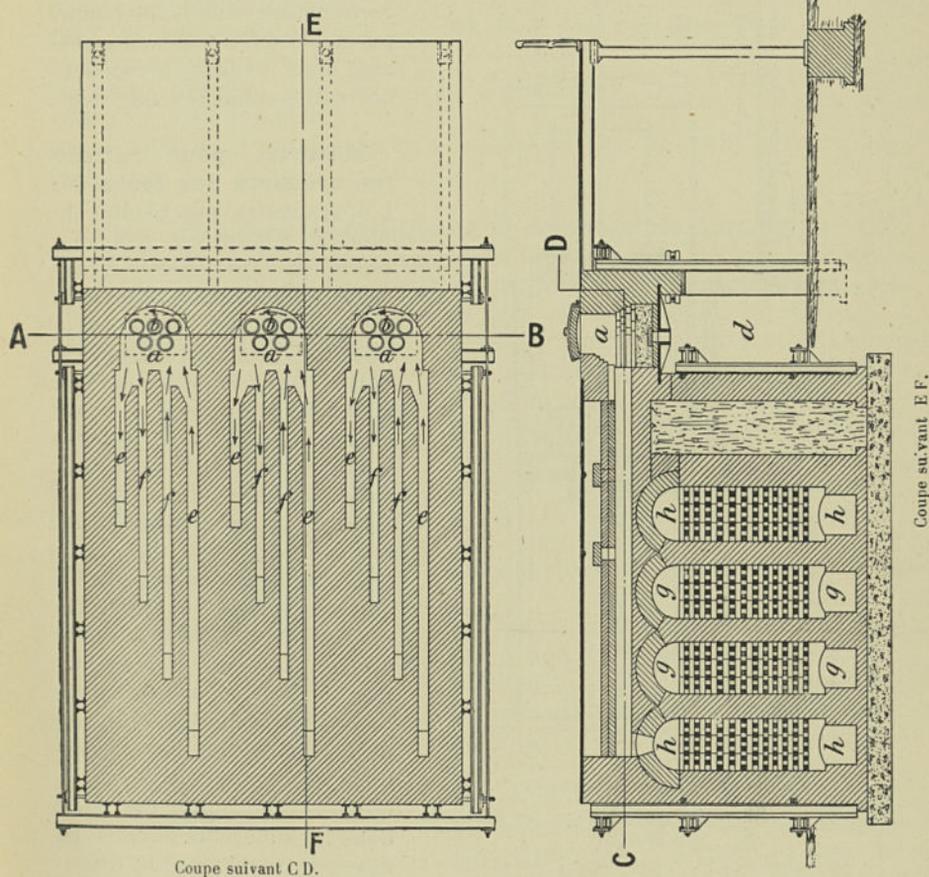
¹ *The Foundry*, vol. XXXVII, p. 61.

ment des parois en ganister et le briquetage du dessus du four. La figure 12 représente une coupe de ce four, avec le châssis spécial, contenant le revêtement, placé en ordre de marche.



Coupe suivant A B.

Four chauffé au gaz de Dawson, Robinson et Pope.
— Dawson, Robinson et Pope ont



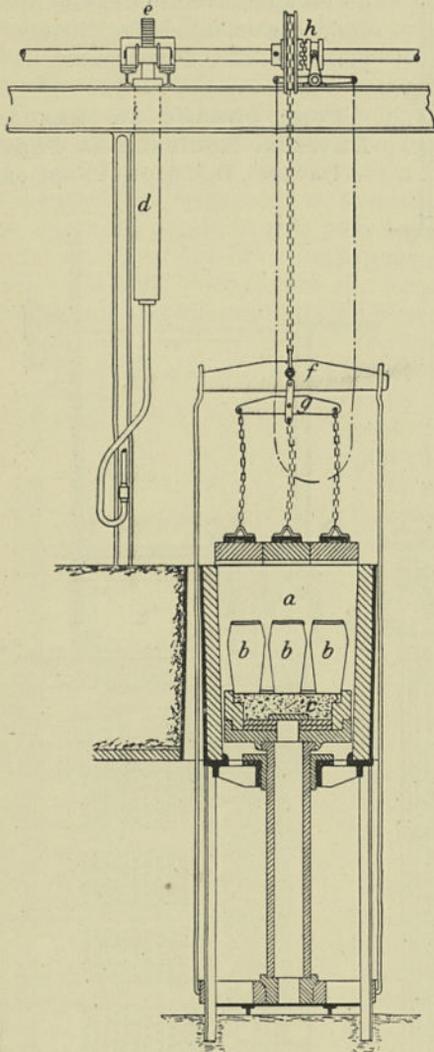
Coupe suivant C D.

Fig. 13. — Four à creusets chauffé au gaz de Dawson, Robinson et Pope.

a, a, laboratoires. — *b, b, b*, creusets. — *c, c, c*, sole en coke. — *d*, voûte. — *e, e*, carneaux d'air.
f, f, carneaux à gaz. — *g, g*, régénérateurs à gaz. — *h, h*, régénérateurs à air.

imaginé un four dans lequel chaque chambre de fusion reste sous la surveillance au moyen de valves ou de registres placés à proximité de ces

chambres (voir fig. 13). Deux paires de régénérateurs à air et à gaz fournissent le gaz et l'air chaud nécessaires à la fusion au moyen de carnaux



Coupe en élévation par le laboratoire.

Fig. 14. — Dispositif pour retirer les creusets des fours.

a, laboratoire. — *b, b, b*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, cylindre hydraulique. — *e*, engrenage faisant fonctionner la poulie munie de la chaîne de levage. — *f*, traverse pour le levage du fond mobile. — *g*, traverse pour le levage des couvercles. — *h*, embrayage.

et de conduits à gaz ou à air, indépendants pour chaque chambre de fusion. De cette façon, on peut mieux contrôler la température de chacune de celles-ci. Ce four, qui sera plus complètement décrit au Chapitre VIII, fut breveté en 1897 et a permis de réduire considérablement la quantité de combustible employée, comparativement à celle consommée dans les fours à creusets ordinaires chauffés au coke.

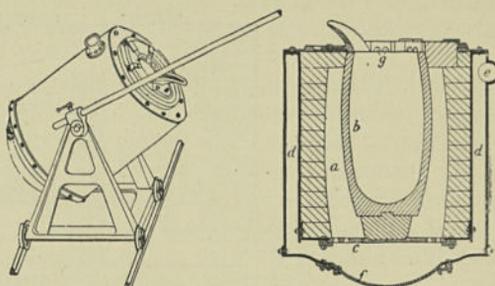
Matériel pour retirer les creusets des fours. —

L'opération la plus pénible du fondeur d'acier est probablement celle qui consiste à retirer du laboratoire, au moyen de tenailles, fonctionnant à la main, les creusets chauffés à blanc. L'ouvrier est obligé de se placer au-dessus du four et sur cette chaleur intense d'amener à lui le creuset. Pour éviter de faire cette opération à la main, J.-M. Gledhill a fait breveter en 1898 un four à fond mobile sur lequel on plaçait les creusets, et lorsque la charge était fondue ceux-ci étaient amenés mécaniquement au niveau du plancher, ce qui permettait à l'ouvrier de les manipuler plus facilement et d'activer par conséquent la distribution de l'acier dans les différents moules. La figure 14 représente le dispositif employé pour élever le fond mobile du four. L'arbre de manœuvre peut faire fonction-

tionner une série de laboratoires, mais chaque four peut opérer indépendamment au moyen d'un embrayage à griffe. Le couvercle du four est soulevé en même temps que le fond.

Perfectionnements dans les fours portatifs. — Afin de réduire la dépense en creusets, on a imaginé de nombreux dispositifs de fours portatifs, permettant de fondre rapidement la charge et pouvant se placer dans un endroit quelconque de la fonderie.

La figure 15 représente un type de four à bascule breveté en 1903 par Harvey et modifié en 1906. Il est monté sur un châssis muni de roues pouvant circuler sur rails. La charge peut être retirée du creuset sans qu'il soit nécessaire de sortir celui-ci du four.



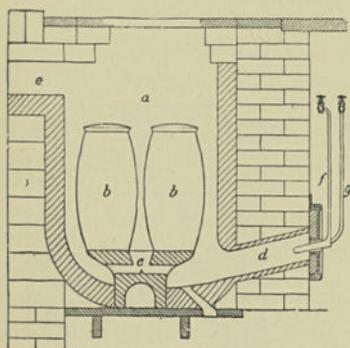
Four monté sur wagonnet.

Fig. 15. — Four à creusets portatif.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, grilles du foyer. — *d*, chambre à air annulaire. — *e*, entrée d'air. — *f*, fond à glissière pour enlever les cendres. — *g*, sortie des gaz.

Dessin d'un four perfectionné à combustible liquide. — La figure 16 représente un four breveté en 1904 par N.-K. Peace. Indépendamment de l'emploi d'un combustible liquide, la caractéristique de

ce four se trouve dans le dispositif employé pour concentrer la chaleur autour des creusets. Le support sur lequel sont placés les creusets est perforé, de sorte que la flamme peut à la fois le traverser et l'entourer. L'arrivée de l'air et du combustible se fait sur le côté de la partie inférieure du four et est dirigée dans une direction tangentielle aux parois du four.



Coupe en élévation.

Fig. 16. — Four à combustible liquide avec support à creusets perforé.

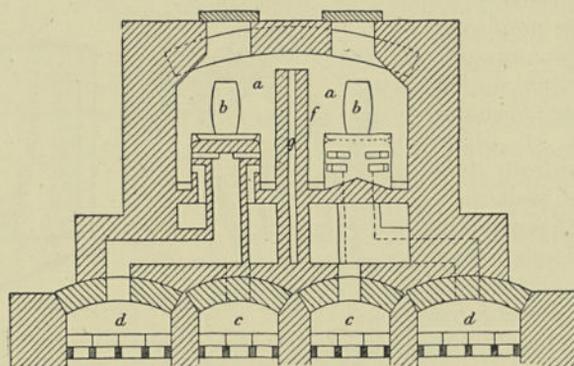
a, laboratoire. — *b*, creusets. — *c*, support perforé en substance réfractaire. — *d*, entrée. — *e*, sortie du gaz. — *f*, arrivée du combustible. — *g*, arrivée de l'air.

Four à creusets à régénération avec double laboratoire. — R.-H.

Radford a fait breveter en 1906 un perfectionnement du four à creusets ordinaire à régénération chauffé au gaz. La figure 17 représente une coupe en élévation de ce four. On remarquera que les creusets sont placés de chaque côté d'une paroi divisant le four en

deux parties. Lorsque le mélange de gaz et d'air provenant des régénérateurs a passé autour des creusets d'un laboratoire, il passe au-dessus de la paroi de séparation et vient autour des creusets du second laboratoire, pour continuer ensuite son chemin vers le régénérateur et la cheminée. Comme on renverse la marche du mélange gazeux toutes les vingt minutes, les creusets de chaque laboratoire reçoivent alternativement les

flammes par le dessous et par le dessus. Si cela est nécessaire on peut



Coupe longitudinale.

Fig. 17. — Four à creusets chauffé au gaz avec régénérateurs.

a, a, laboratoires. — *b, b*, creusets. — *c, c*, régénérateurs à gaz. — *d, d*, régénérateurs à air. — *f*, mur de séparation. — *g*, entrée d'air supplémentaire.

envoyer un supplément d'air et de gaz par la partie médiane de la paroi de séparation.

Fours à creusets à tirage forcé. — L'application, sous une forme ou

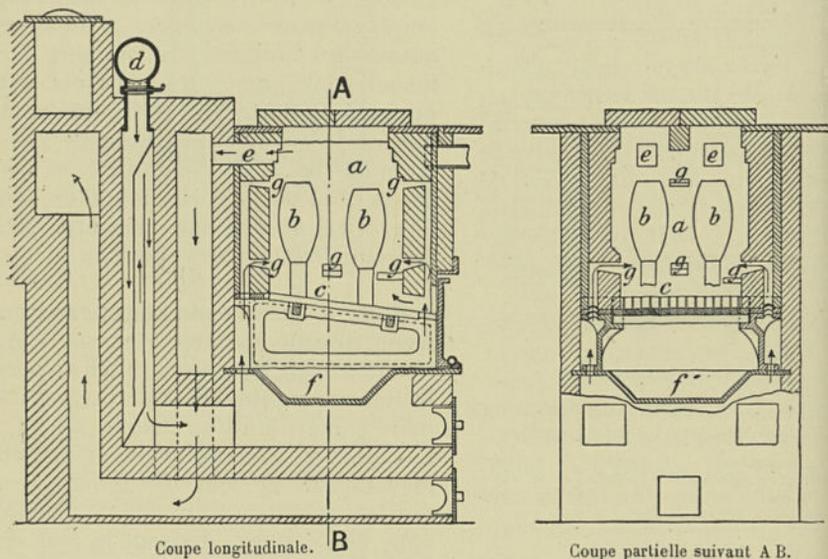


Fig. 18. — Four à creusets, chauffé au coke, à tirage forcé.

a, laboratoire. — *b, b*, creusets. — *c*, grille du foyer. — *d*, entrée d'air. — *e, e*, sortie du gaz. — *f*, cendrier. — *g, g*, carnaux à air.

sous une autre, du tirage forcé aux fours à creusets a été l'objet de nombreux brevets depuis 1853, époque à laquelle Johnson appliquait ce prin-

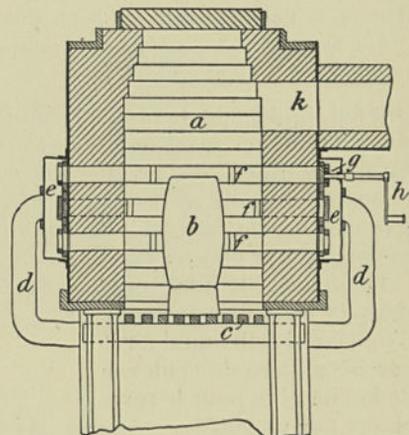
cipe dans son brevet. La direction du vent, sa température, sa pression et son volume, sont des facteurs très importants, pour arriver à la fusion de l'acier dans les creusets. Ces considérations ont retenu l'attention des inventeurs.

En 1908, William Muller a pris un brevet pour un four (fig. 18) dans lequel l'air destiné à la combustion du coke, était préalablement chauffé par son passage sur le côté du foyer, dans des carneaux, chauffés au moyen des gaz perdus, se rendant à la cheminée par des carneaux parallèles aux carneaux d'arrivée d'air. La pression de l'air était réglée selon la température désirée. L'air est envoyé dans la chambre de fusion à travers les grilles du foyer et par des carneaux qui le distribuent également dans tout le four. Au-dessous des grilles du foyer, il y a un cendrier plein d'eau dans lequel tombent les cendres chaudes qui produisent ainsi de la vapeur qui se mélange à l'air de la combustion pour activer la fusion. Ce four sera plus complètement décrit au Chapitre VII.

La figure 19, représente un four à creusets breveté en 1909 par James W. Chenhall. Le creuset est disposé sur un bloc en terre réfractaire, placé sur les grilles du foyer, au-dessous desquelles arrive l'air nécessaire à la combustion du coke entourant le creuset. Plusieurs rangées de tuyères amènent l'air chaud à différentes hauteurs autour du creuset. Chaque rangée de tuyères est fermée, sur le côté du four, par un tampon muni d'une manivelle de sorte que l'on peut régler l'arrivée de l'air dans les tuyères. L'air sous pression, arrive dans un manchon entourant le four au niveau des tuyères, de plus deux tuyaux relient ce manchon avec le cendrier afin d'envoyer de l'air, à travers les grilles, dans l'intérieur du four. Les grilles du foyer mises à part, le dispositif général des carneaux et du manchon à air, présente beaucoup d'analogie avec les cubilots de seconde fusion.

On donnera une description plus complète dans le Chapitre VII.

Fours oscillants chauffés aux huiles lourdes. — La figure 20, représente un four oscillant, composé d'une simple enveloppe garnie d'un revêtement en matériaux réfractaires, dans laquelle on a ménagé des passages pour amener l'air depuis l'extérieur jusque dans la chambre de fusion. L'air pénètre par l'un des tourillons et circule dans le revêtement suivant la direction indiquée par les flèches, se mélange aux gouttelettes d'huile



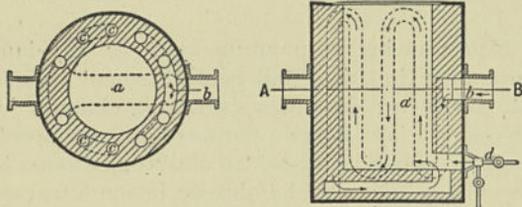
Coupe en élévation.

Fig. 19. — Four à creusets chauffé au coke à tirage forcé.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, grilles du foyer. — *d*, arrivée d'air. — *e*, manchon à air. — *f*, tuyau. — *g* et *h*, manivelle et tampon pour régler l'arrivée d'air. — *k*, sortie des gaz.

dans la chambre à combustion, pour pénétrer ensuite dans le four. Les passages de l'air dans le revêtement sont faits dans des conditions telles que l'air peut être chauffé

autant que l'on veut avant d'être mélangé avec l'huile vaporisée. Ce four a été breveté en Amérique en 1909, par William Carr.



Coupe suivant A B.

Coupe en élévation.

Fig. 20. — Four à creusets oscillant, chauffé à l'huile.

a, laboratoire. — *b*, entrée d'air. — *c*, passages de l'air.
d, jet d'huile.

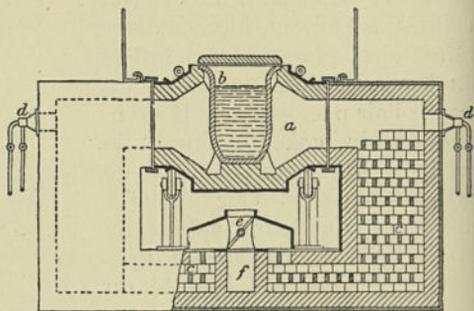
Four oscillant avec régénérateurs, chauffé à l'huile lourde.

— A la même époque, William Carr et C.-H. Speer,

ont fait également breveter le four représenté par la figure 21. Le four dans lequel on place le creuset, se compose d'une chambre, petite et étroite, garnie d'un revêtement en matériaux réfractaires et reliée à chaque extrémité avec des régénérateurs qui s'étendent de chaque côté, par derrière le four, et dans lesquels on fait chauffer l'air avant de le mélanger à la vapeur d'huile.

Le creuset, dont la contenance est d'environ 450 kilogrammes, est placé dans la chambre de fusion de façon telle, qu'il n'est pas nécessaire de l'enlever de la chambre pour le remplacer par un autre.

La chambre et le creuset peuvent pivoter sur leur axe au moyen d'une crémaillère, de sorte que l'on peut vider facilement le contenu du creuset. Le fonctionnement du four est tout à fait simple. Après avoir chargé le creuset et remis son couvercle en place, on enflamme l'huile d'un des brûleurs placés sur le côté, les flammes passent autour



Coupe longitudinale partielle.

Fig. 21. — Four à creusets oscillant chauffé à l'huile avec régénérateurs.

a, chambre de fusion du laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, régénérateurs à air. — *d*, jets d'huile. — *e*, valve à renversement. — *f*, carneau de la cheminée.

du creuset, se rendent dans le régénérateur et de là dans la cheminée. Au bout de vingt minutes, on reverse la marche du gaz, l'air nécessaire à la combustion arrive par une ouverture située sur le côté de la valve à renversement et pénètre dans le four après avoir traversé le régénérateur.

Fours à creusets Siemens, chauffés au gaz. — Actuellement, il existe deux sortes de types principaux de fours à creusets Siemens chauffés au gaz. La figure 22 représente le four connu sous le nom de « Type Ordinaire » et qui diffère du « Nouveau Type » en ce qu'il possède

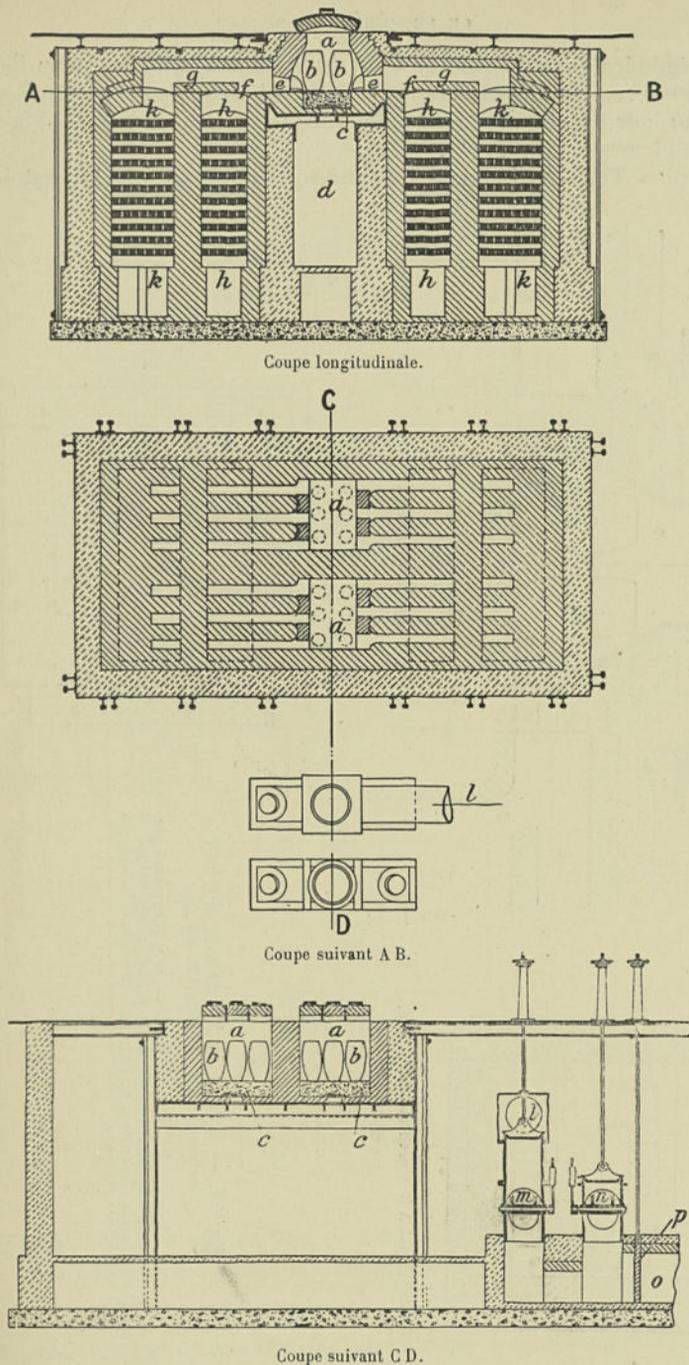


Fig. 22. — Four à creusets Siemens chauffé au gaz.

a, a, laboratoire. — *b, b*, creusets. — *c, c*, sole en coke. — *d*, voûte. — *e, e*, chambres de combustion. — *f, f*, carneaux à gaz. — *g, g*, carneaux à air. — *h, h*, régénérateurs à gaz. — *k, k*, régénérateurs à air. — *l*, entrée du gaz. — *m*, valve à gaz à renversement. — *n*, valve à air à renversement. — *o*, canal de la cheminée. — *p*, registre du canal de la cheminée.

deux régénérateurs de chaque côté de la chambre de fusion au lieu d'un seul, pour l'air seulement. Le gazogène est également construit séparément du four, tandis que dans le Siemens « Nouveau Type », il fait corps avec la structure principale.

Dans le « Type Ordinaire », on remarquera que chaque laboratoire peut

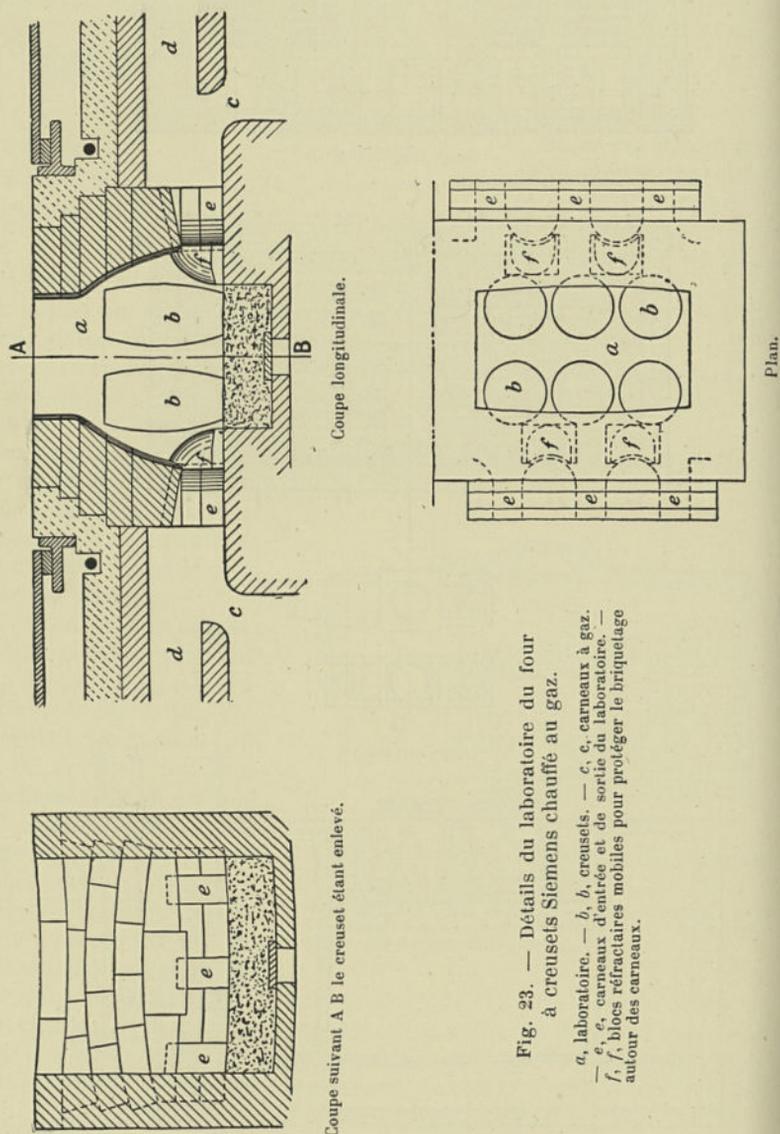
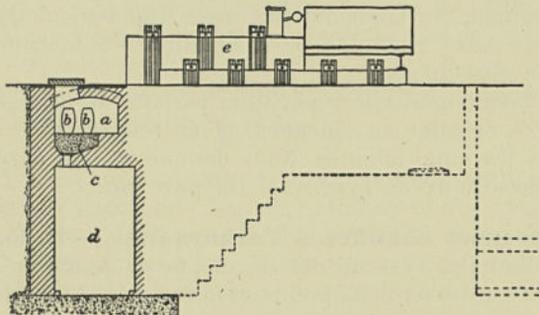


Fig. 23. — Détails du laboratoire du four à creusets Siemens chauffé au gaz.

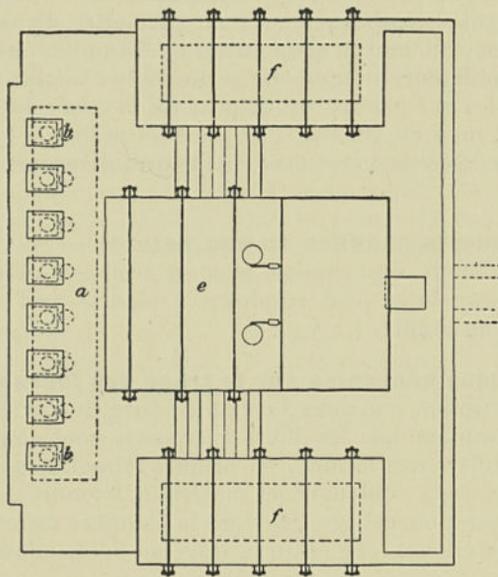
a, laboratoire. — *b*, *b*, creusets. — *c*, *c*, carneux à gaz.
 — *e*, *e*, carneux d'entrée et de sortie du laboratoire. —
f, *f*, blocs réfractaires mobiles pour protéger le briquetage
 autour des carneux.

contenir 6 creusets. La figure 23 représente une coupe en élévation et une vue en plan du laboratoire ou chambre de fusion, que l'on fait aussi petit que possible, en courbant les parois pour ramener de bas en haut

la chaleur sur les creusets. Pour protéger la maçonnerie des carnaux de chaque laboratoire, on place sur la paroi qui sépare chacun des carnaux, des blocs en matériaux très réfractaires. Quand ils sont détériorés, on peut les remplacer plus facilement que la maçonnerie en briques,



Coupe longitudinale partielle.



Plan.

Fig. 24. — Four à creusets Siemens « Nouveau Type », chauffé au gaz.

a, laboratoire. — *b*, *b*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, voûte, générateur à gaz.
f, *f*, régénérateurs à air.

car on serait obligé d'arracher les arches de la voûte pour refaire les parois. Les gaz sont obligés de circuler en chicanes autour des creusets, de façon à éviter qu'ils s'échappent trop rapidement. Ce four sera plus complètement décrit au Chapitre VIII.

Dans le four Siemens « Nouveau Type », représenté par la figure 24,

le laboratoire, peut contenir 16 creusets et les gaz y parcourent un trajet d'environ 8 mètres. Pour maintenir partout une température uniforme, il est nécessaire de renverser fréquemment la marche des gaz, car au cours d'anciennes expériences faites avec un four Siemens ayant une longue chambre de fusion, on avait remarqué que les charges des creusets placés dans le milieu, ne fondaient pas aussi rapidement que celles des creusets placés aux extrémités de la chambre où la flamme était, par conséquent, la plus chaude.

On obtient maintenant une répartition parfaite de la chaleur, en obligeant les gaz à circuler en chicanes, et en renversant le sens de leur marche toutes les vingt minutes. Nous donnerons une description complète de ce four « Nouveau Type » au Chapitre VIII.

Fours à creuset chauffés à l'anhracite. — Le four à creusets chauffé à l'anhracite, s'est surtout développé en Amérique. Il diffère du four Huntsman sur un ou deux points essentiels. (1) Etant donnée l'allure très lente de la combustion de l'anhracite, il faut employer une couche plus épaisse d'anhracite que de coke, ce qui nécessite, par conséquent, l'emploi de fours plus profonds; (2) le cendrier, situé au-dessous de la grille du foyer, est fermé hermétiquement pour permettre d'y envoyer de l'air, à basse pression, au moyen d'un tuyau de 75 millimètres de diamètre venant d'un ventilateur. Le tuyau de sortie de la chambre de fusion, dans lequel passent les gaz perdus, est disposé de la même façon que dans le four Huntsman, mais en général, ces gaz sont utilisés à la production de la vapeur, dans des chaudières convenablement disposées à proximité du four.

Fours à creusets chauffés au gaz naturel. — Aux États-Unis, où le gaz naturel abonde, on l'emploie avec succès au chauffage des fours à creusets, et pour cela on peut employer n'importe quel modèle de four chauffé au gaz de houille.

Considérations générales sur le tracé des fours à creusets. — D'après la description que nous venons de faire des différents types de fours, on remarquera que les fours à creusets sont constitués par des chambres de différentes formes, en briques réfractaires, dans lesquelles on place les creusets contenant les matériaux à fondre. La chaleur, destinée à cette opération, est générée dans la chambre même ou, provenant d'une source extérieure, elle entre et traverse la chambre.

Tracé idéal d'un four. — Le tracé idéal d'un four à creusets doit tenir compte de ce qui suit :

1. Rendement maximum de chaque creuset, dans le minimum de temps;
2. Consommation minimum de combustible par tonne d'acier fondu;
3. Nombre maximum de chauffes pour chaque creuset;
4. Maximum de résistance du four afin d'éviter les réparations trop fréquentes.

1. **Rendement en acier.** — Pour obtenir le rendement maximum de

chaque creuset dans le minimum de temps, le tracé du four doit être fait dans des conditions telles, qu'il sera possible de concentrer le maximum de chaleur sur le creuset, sans craindre de le détruire. Ce principe se trouve en application dans différents fours, savoir :

(a) Le type à simple creuset de grande capacité, dans lequel la masse totale de la chaleur entoure et se concentre sur le creuset ;

(b) Le type de laboratoire à deux creusets, dans lequel on chauffe deux creusets de capacité moyenne ;

(c) Le type de laboratoire à creusets multiples, dans lequel on chauffe plusieurs creusets de petite capacité.

2. Consommation du combustible. — La consommation du combustible par tonne d'acier fondu dépend, non seulement du tracé du four, mais aussi de la valeur calorifique du combustible et de sa combustion complète dans la partie appropriée du four. L'emploi du gazogène à houille, — de l'huile sous pression — du tirage forcé, pour les fours chauffés au coke, a permis de réaliser de sérieuses économies pour la fusion de l'acier au creuset. Le passage rapide des gaz chauds, dans le four et dans les carneaux, a permis de les employer au chauffage de l'air nécessaire à la combustion du combustible. Dans cette voie, l'emploi de régénérateurs a permis de réduire la dépense en combustible. Les dimensions, la forme, le nombre des chambres de fusion des fours, ont également joué un rôle important dans l'économie du combustible.

3. Nombre de chauffes de chaque creuset. — Le nombre de chauffes de chaque creuset dépend de la qualité, des dimensions et de l'usage de celui-ci. Le tracé du four, la nature du combustible employé ainsi que la façon dont les flammes sont dirigées sur le creuset, jouent un rôle important quant à la durée du creuset.

4. Résistance du four. — La durée d'un four dépend de plusieurs choses : (a) De sa construction, (b) de la résistance au feu des matériaux employés dans sa construction, (c) de l'intensité de la chaleur auquel il est soumis et de la durée de son application et enfin (d) de son usage intermittent.

CHAPITRE V

FABRICATION DES CREUSETS

Les creusets employés pour la fabrication de l'acier sont de deux sortes : les creusets en argile et les creusets en plombagine. Pour la fusion de la fonte, des scraps et autres matériaux du même genre, il est plus économique, en général, d'employer des creusets en plombagine plutôt que des creusets d'argile. L'absorption du carbone par les matériaux composant la charge du creuset peut être considérée comme étant l'inconvénient de l'emploi des creusets en plombagine. Pour la fabrication des aciers à outils d'excellente qualité, ce fait mérite d'être pris en considération, mais lorsqu'il s'agit de fondre des mélanges destinés à des moulages d'acier divers, les creusets en plombagine sont aussi bons que ceux en argile. La durée d'un creuset dépend surtout de la façon dont il est manipulé par le fondeur : entre les mains de certains, il dure 25 et même 50 fois plus longtemps qu'entre les mains d'autres. Pour fondre l'acier à outil, le nombre moyen de « chauffes » que peut subir un creuset d'argile de 27 à 36 kilogrammes de contenance est environ de trois, soit un jour de travail, tandis que pour fondre de la fonte, des scraps, etc., pour les moulages en acier, les creusets peuvent subir 4 à 5 « chauffes » entre les mains d'un ouvrier soigneux. D'autre part, le nombre moyen de chauffes que peut supporter, pour la fusion de l'acier, un creuset en plombagine de 27 à 36 kilogrammes de capacité, est d'environ 4 à 5, tandis qu'en fondant des scraps d'acier doux et des riblons pour les moulages en acier, il peut en supporter 12 à 20, chiffre qui peut s'élever de 20 à 25 si l'on introduit dans la charge une forte proportion de fonte. On a souvent remarqué que la durée des creusets tient parfois à peu de choses. Par exemple, pour plusieurs charges successives, le fondeur doit réduire le poids de chacune de façon que le niveau de la masse fondue soit différent pour chaque charge. Dans ces conditions, on évite de produire à la même place les réactions chimiques qui se produisent entre le métal et les scories entourant l'intérieur du creuset.

La fabrication du creuset n'est pas la partie la moins intéressante de l'industrie de l'acier au creuset. En 1894, M. Hadfield¹ (maintenant sir Robert Hadfield) écrivait que « Sheffield employait, chaque semaine, pour la fusion de l'acier, plus de 14 000 creusets d'argile ». Si l'on considère que depuis cette époque, cette industrie a pris un développement

¹ *Journal Iron and Steel Institute*. 1894, II.

considérable, il est hors de doute que ce chiffre est actuellement de beaucoup supérieur.

Creusets en argile.

Dimensions des creusets. — On fait actuellement des creusets de toutes dimensions, mais dans le district de Sheffield, les creusets généralement le plus employés mesurent de 0,30 m. à 0,50 m. de hauteur sur 0,22 m. de large dans le plus grand diamètre.

Matériaux employés. — Les argiles employées sont des argiles de Chine, de Stourbridge, de Burton et de Stanington, auxquelles on ajoute de petites quantités d'argile cuite, de poussière de coke, des escarbilles broyées ou des débris de vieux creusets. Les creusets destinés à la fusion de l'acier pour moulages, contiennent généralement une plus forte proportion de poussière de coke que ceux destinés à la fabrication de l'acier à outils, car l'addition de la poussière de coke rend les creusets plus poreux, ce qui leur permet de se contracter plus facilement et par conséquent de mieux résister aux variations de température qu'ils doivent supporter quand on les vide dans les moules. De plus, les creusets employés par la fonderie, sont plus épais dans le fond, afin de mieux résister aux variations de température, car autrement ils pourraient se briser ou se déformer lorsqu'on les expose à l'air froid.

Mélange des matériaux. — Après avoir convenablement proportionné les divers matériaux, on dispose le tout dans une cuve en métal mesurant 3 mètres de long, 2,40 m. de large et de 2,40 m. à 3 mètres de profondeur, placée sur le sol. Le mélange est alors malaxé, en y ajoutant de l'eau. L'argile étant facile à fouler, cette opération se fait avec les pieds et a pour objet de pétrir ensemble tous les matériaux et de les presser afin de chasser l'air de la masse et d'avoir un mélange parfaitement homogène. En diverses circonstances, on a essayé d'employer, mais sans résultat, des machines pour malaxer et pétrir la pâte. Lorsque l'argile a été foulée et malaxée pendant quatre ou cinq heures, on la découpe en morceaux que l'on pèse, chaque morceau devant être suffisant pour faire un creuset. Le morceau d'argile est alors roulé en boule sur une planchette en tapant la boule à la main pendant deux ou trois minutes de façon à chasser autant que possible l'eau restant dans la masse, puis on la met dans la forme qui doit servir à faire le creuset.

Moulage des creusets à la main. — Généralement, les creusets employés dans les fours chauffés au coke, sont faits à la main. Ces creusets ont le fond percé d'un trou. Le moulage se fait au moyen d'une forme et d'un mandrin, représentés en (a) et (b) figure 25. La forme est munie d'un fond mobile dont le centre est percé d'un trou pour le passage de la tige placée à la partie inférieure du mandrin, position qui indique que le moule et le mandrin sont concentriques. Après avoir huilé convenablement le moule, on introduit la boule d'argile, puis le mandrin que l'on pousse à la main en le tournant alternativement de gauche à droite jusqu'à

ce qu'il ait pénétré d'environ moitié dans le moule. Il est alors enfoncé au moyen d'un maillet jusqu'à ce que l'argile arrive à la partie supérieure du moule. On retire ensuite le mandrin, puis on porte le moule et le creuset ainsi fabriqué sur un poussoir, à l'aide duquel on retire le creuset et le fond mobile sur lequel il repose, voir figure 25 (c).

La partie supérieure du creuset est alors rabattue au tour, opération

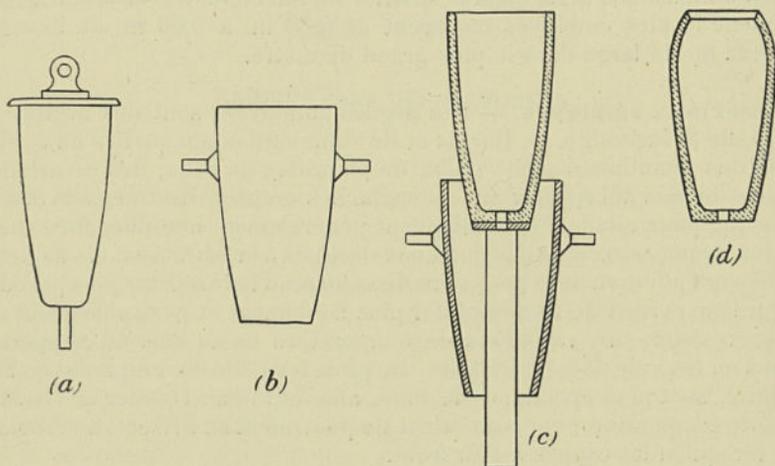


Fig. 25. — Moule et mandrin pour fabriquer les creusets à la main.

a, mandrin. — *b*, moule. — *c*, manière de sortir le creuset du moule. — *d*, creuset fini.

qui empêche de l'écorner mais qui a surtout pour but de permettre de manipuler le creuset sans craindre de renverser son contenu.

La figure 25 (d) représente, en coupe, un creuset d'argile complètement terminé.

Moulage des creusets à la machine. — On fabrique souvent les creusets à la machine et ceux-ci ont des fonds beaucoup plus solides que ceux faits à la main. Pour la fabrication de ces creusets, on emploie soit une presse hydraulique, soit une presse à vis. Cette dernière (fig. 26) construite depuis plus de trente ans par une maison de Sheffield, remplace de plus en plus, les moules et mandrins employés pour fabriquer les creusets à la main, quoique cette dernière et très vieille méthode soit encore très employée.

Séchage des creusets. — Les creusets sont séchés dès qu'ils sont moulés et cette opération qui doit se faire progressivement, demande énormément d'attention. Dans les petites usines, on fait souvent cette opération en plaçant les creusets dans la cave située sous la chambre de fusion et en face du cendrier, en ayant soin de les tourner de temps en temps pour présenter toutes les parties à l'action de la chaleur. Une meilleure méthode, consiste à sécher les creusets en les disposant dans un hangar construit autour de la cheminée du four, les creusets étant placés sur des

rayons disposés tout autour du hangar (à l'exception de la cheminée). Le hangar étant ainsi chauffé par la cheminée, il en résulte un séchage

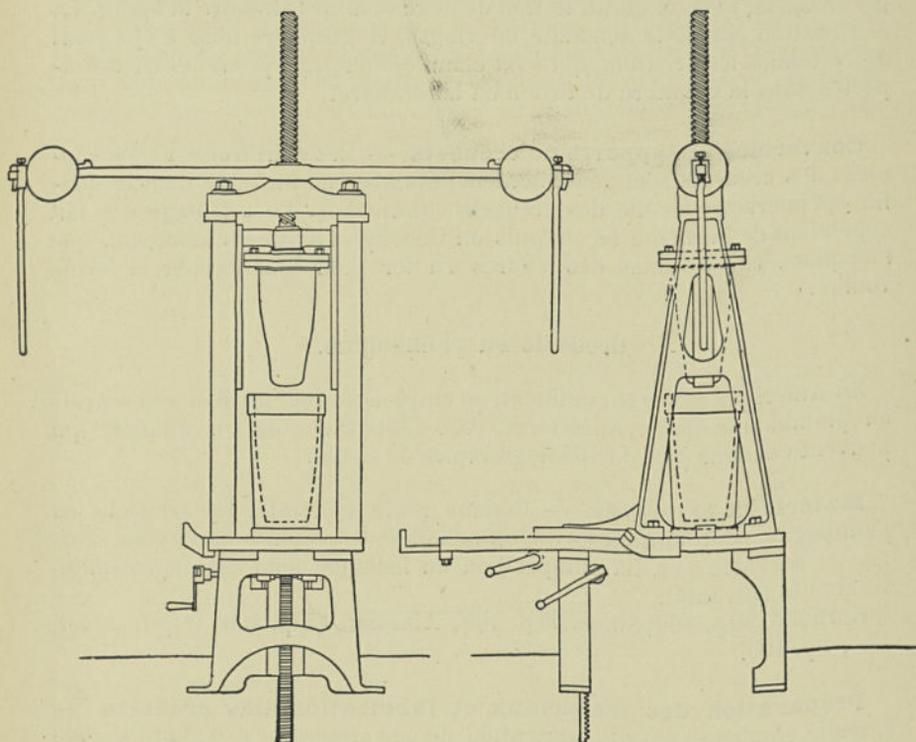
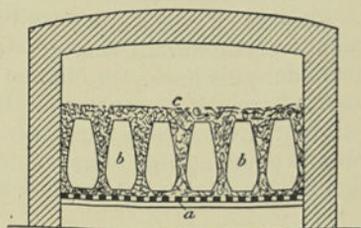


Fig. 26. — Machine pour fabriquer les creusets.
(Dessin de Crowley).

lent et progressif des creusets. Une autre méthode, très en faveur dans les usines qui emploient une quantité considérable de creusets, consiste à en faire le séchage dans un hangar spécialement construit à cet effet, chauffé par les gaz perdus, et pouvant contenir de 500 à 1 000 creusets.

Lorsque les creusets sont secs, on les enlève de dessus les rayons, pour les ranger sur d'autres rayons placés en face des fours, où ils sont conservés pendant trois ou quatre semaines.

Cuisson des creusets. — L'opération la plus importante consiste à recuire les creusets avant de les employer. La grille d'une étuve à recuire (fig. 27), pouvant contenir la quan-



Coupe longitudinale.

Fig. 27. — Étuve pour la cuisson des creusets.

a, grilles du foyer. — b, b, creusets. — c, coke.

tité de creusets nécessaire pour un jour de travail est d'abord recouverte d'une couche de coke chauffé au rouge, sur laquelle on dispose les creusets, puis on garnit le tout de coke comme le montre la figure. La combustion complète demande de vingt à vingt-quatre heures. Au bout de ce temps, les creusets, qui sont chauffés au rouge, peuvent être transportés dans la chambre de fusion ou laboratoire.

Couvercles et supports de creusets. — Les couvercles et les supports des creusets sont généralement faits avec un mélange dont la qualité est inférieure à celle des creusets eux-mêmes. Le « foulage » se fait cependant de la même façon, puis on découpe l'argile en morceaux que l'on place ensuite dans des cadres en fer pour leur donner la forme voulue.

Creusets en plombagine.

En Amérique et sur le continent, on emploie beaucoup plus les creusets en plombagine qu'en Angleterre. Aux États-Unis, on en emploie qui peuvent contenir plus de 45 kilogrammes de métal.

Matériaux employés. — Comme règle générale, les creusets en plombagine sont fabriqués avec un mélange de graphite de Ceylan, d'argile et de sable pur. La composition du mélange final est approximativement la suivante :

Carbone, 50 p. 100; Silice, 35 p. 100; Alumine, 11 p. 100; Oxyde de fer, etc., 4 p. 100.

Préparation des matériaux et fabrication des creusets. — L'argile employée pour la fabrication de ces creusets est d'abord séchée puis pulvérisée, on en fait ensuite une pâte avec de l'eau dans laquelle on incorpore le graphite et le sable, puis on mélange convenablement le tout. On abandonne ensuite cette pâte au repos, pendant quelques jours, dans un endroit humide avant de la travailler. Le travail de la pâte consiste à la couper en morceaux, à la pétrir, puis à la mouler sur un tour de potier à l'aide d'une tôle dont le profil représente la forme extérieure du creuset. La matière en excès est ensuite enlevée de dedans le creuset, lequel est ensuite séché durant vingt-quatre heures à la température atmosphérique normale, puis lissé. On élimine ensuite l'eau hygroscopique, en maintenant les creusets à une température suffisamment élevée que l'on maintient pendant environ trois semaines. Les creusets sont ensuite empilés, puis recuits pendant trois jours, dans un four spécial. Au bout de ce temps, le recuit est entièrement terminé et les creusets prêts à être employés.

Creusets en graphite de Styrie. — A Kapfenburg, centre principal de la fabrication de l'acier au creuset, dans les Alpes Autrichiennes, on fabrique les creusets avec du graphite de Styrie, mélangé avec de l'argile en diverses proportions. Le graphite employé à cet usage contient¹ :

¹ *School of Mines Quarterly*, vol. XXIX, p. 329.

Carbone, 77,8 p. 100 ; Silice, 13,04 p. 100 ; Alumine, 6,12 p. 100 ; Oxyde ferrique, 0,44 p. 100 ; Potasse 0,43 p. 100 ; Acide phosphorique, 0,01 p. 100 ; Eau, 1,95 p. 100.

Les argiles employées sont séchées, pulvérisées en poudre fine, puis malaxées en pâte dans des appareils spéciaux. Le moulage des creusets se fait dans des presses mécaniques. Le séchage se fait très progressivement dans un local, dans lequel se trouvent des appareils de chauffage spéciaux, qui envoient des courants d'air chaud autour des tablettes sur lesquelles sont disposés les creusets.

CHAPITRE VI

FOUR A CREUSETS CHAUFFÉ AU COKE. TYPE HUNTSMAN

Description du four. — Le four à creusets du type Huntsman représenté par les figures 28 et 29, se compose d'une série de laboratoires, espacés les uns des autres de 0,90 m. de centre à centre et pouvant recevoir chacun deux creusets. Le laboratoire, ou chambre de fusion, mesure 1 mètre de profondeur jusqu'au-dessus des grilles du foyer, 0,65 m. de long de l'avant à l'arrière et 0,45 m. de large, ce qui permet de disposer autour de chaque creuset une couche de coke suffisamment épaisse. La forme du laboratoire (généralement ovale) s'obtient en pilonnant du ganister humide autour d'une « forme », représentée par la figure 30, que l'on place sur les grilles du foyer. Tout autour de la partie supérieure du ganister, on dispose quelques rangs de briques réfractaires, tout en laissant une ouverture que l'on ferme au moyen d'un couvercle. L'ouverture du four, située au niveau du sol, mesure environ 0,35 m. sur 0,30 m., est fermée au moyen d'une brique réfractaire ayant 0,45 m. de long sur 0,40 m. de large et 0,10 m. d'épais-

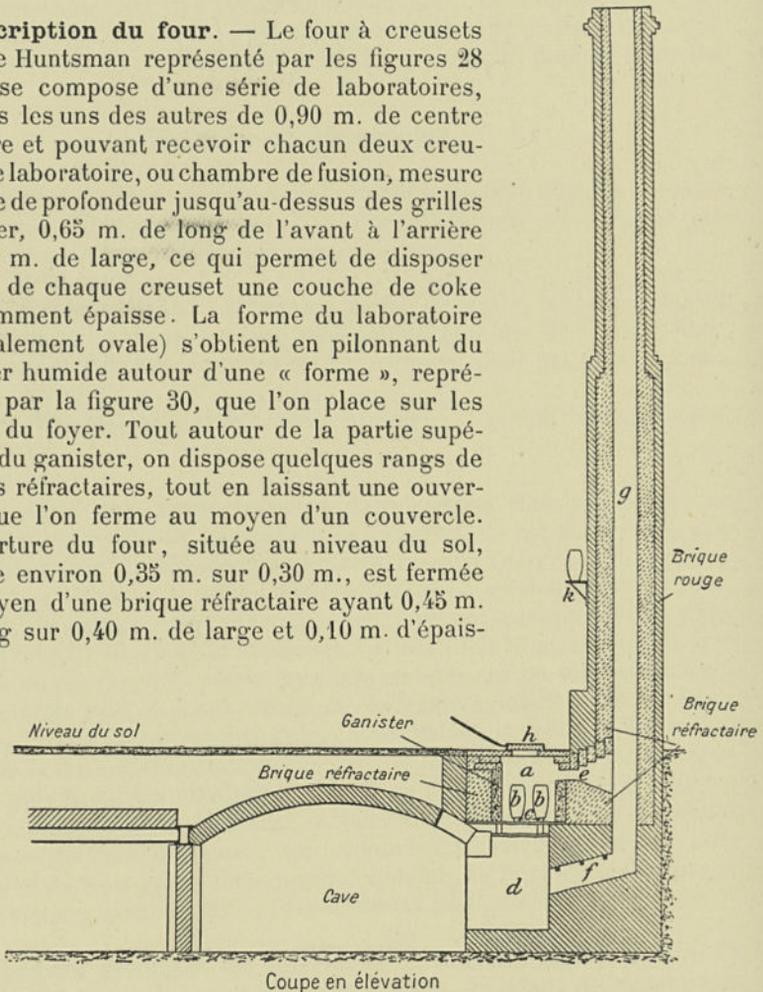


Fig. 28. — Four à creusets de Huntsman, chauffé au coke. Type moderne.

a, laboratoire. — *b, b*, creusets. — *c*, supports en terre réfractaire. — *d*, cendrier. — *e*, carneau de la cheminée. — *f*, carneau auxiliaire. — *g*, cheminée. — *h*, couvercle du laboratoire. — *k*, tablette pour le séchage des creusets.

seur, encastrée dans un châssis en fer. Ce châssis est muni d'une poignée qui permet de l'enlever facilement.

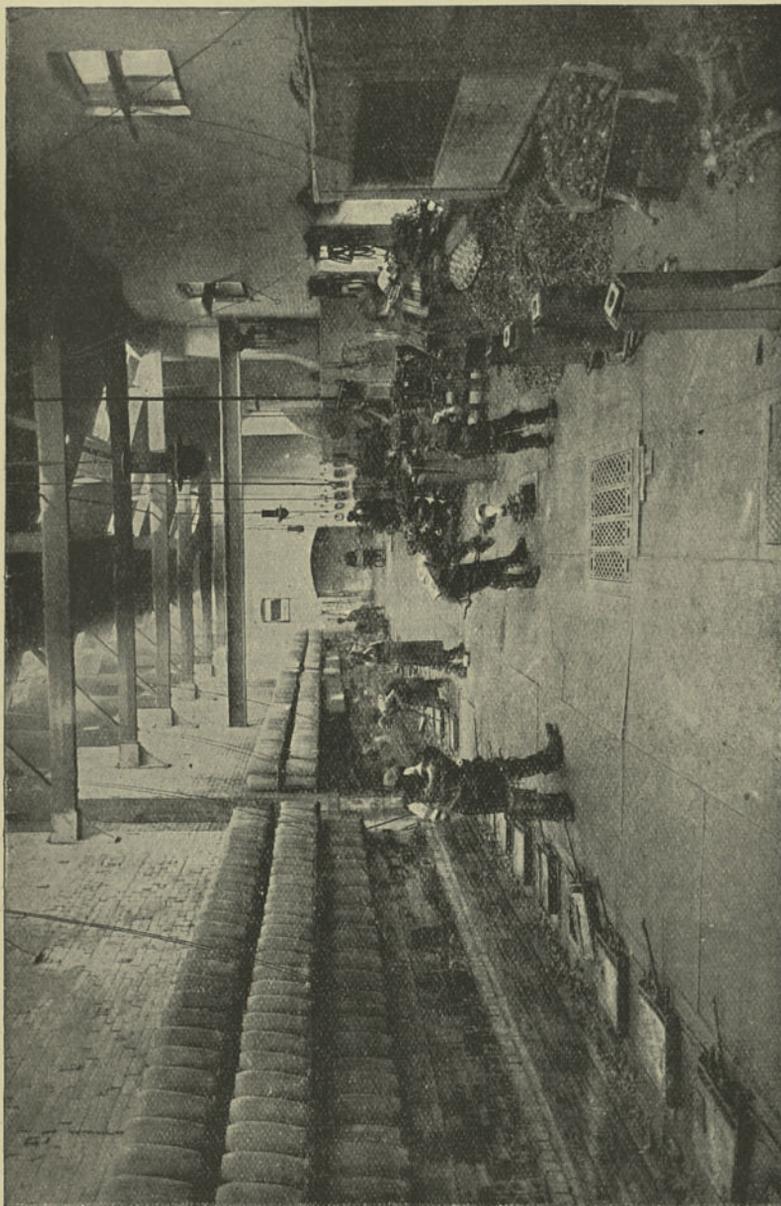


Fig. 29. — Fours à creusets (MM. Samuel Osborn et C^o Ltd, Sheffield).

Fonctionnement du four. — Lorsque le four vient d'être construit, on le laisse sécher naturellement pendant quelques jours avant de l'allumer.

Cet allumage se fait petit à petit en y faisant d'abord un petit feu de bois auquel on ajoute progressivement du coke. Cette opération délicate et parfois difficile, doit être faite avec beaucoup de soins, pour éviter la présence des fissures et par suite le mauvais tirage qui en résulterait.

Avec un four qui a déjà servi, on commence d'abord par enlever au moyen d'un ringard, la scorie provenant du travail de la veille et qui adhère aux parois du laboratoire. Les grilles du foyer, généralement au nombre

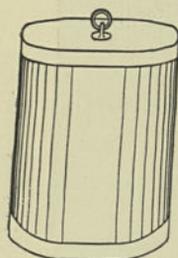


Fig. 30. — Forme pour le laboratoire.

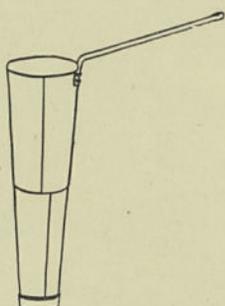


Fig. 31. — Chargeur pour le remplissage des creusets.

de cinq, sont alors mises en place en les espaçant à égale distance les unes des autres, on met en place les supports des creusets, puis on dispose sur les grilles une couche de coke chauffé au rouge.

On va chercher ensuite les creusets dans le four de recuit, on les place chacun sur leur support, puis on remplit complètement le laboratoire avec du coke jusqu'au niveau supérieur des creusets.

Lorsque le combustible est complètement brûlé, les creusets

sont chauffés à blanc, et en y projetant une petite quantité de sable, celui-ci fond et vient remplir l'ouverture située au fond de chaque creuset. Dès que le sable est projeté dans le creuset, le défourneur y introduit les matériaux au moyen d'un chargeur représenté par la figure 31, qui s'adapte à la partie supérieure du creuset. On met alors le couvercle, on remplit de nouveau complètement le laboratoire avec du coke, on ferme le couvercle et on laisse le combustible brûler complètement. Cette fusion au feu, est désignée sous le nom « d'aciérante », et a généralement besoin d'être recommencée trois fois de suite pour que la charge soit à point. Pour la seconde chauffe, deux feux, et pour la troisième chauffe, un seul feu suffisent généralement.

Pendant les périodes de chauffage au coke et de fusion, on garnit le four de recuit avec les creusets qui seront employés le lendemain et on l'allume. D'autre part, si l'on doit couler des lingots, on prépare les moules à lingots.

Le contrôle du four est placé sous la responsabilité du premier fondeur qui aidé du « défourneur » règle la marche de la fusion. Chaque laboratoire est relié à la cheminée par un conduit. Dans la cave il y a également un conduit d'arrivée d'air pour chaque laboratoire. En faisant fonctionner dans chacun d'eux un registre, que l'on fait généralement avec des briques, on peut régler la chaleur, au gré de l'opérateur. Si la fusion se fait plus rapidement dans un laboratoire que dans un autre, on place une brique dans le conduit qui relie ce laboratoire à la cheminée. Si la fusion se fait trop lentement, on enlève la brique qui obstrue le conduit d'arrivée d'air, pour en admettre davantage.

Lorsque l'acier est convenablement fondu ainsi que les « ajoutés »

nécessaires, ferro-alliages ou autres additions, le défourneur, les bras et les jambes recouverts de sacs mouillés, introduit dans le laboratoire les pinces à défourner (voir fig. 32) retire un creuset et le dépose sur le plancher.

Après avoir enlevé le couvercle et écrémé la scorie de dessus le métal à l'aide d'une baguette de fer à l'extrémité de laquelle se trouve fixé une boule de scorie, l'acier est prêt à être versé dans les moules, le creuset étant maintenu au moyen d'une pince simple (fig. 33, a) ou des pinces horizontales à double poignée (fig. 33, b et c). Dès que les creusets sont vidés, on les replace de suite dans les fours, et on les chauffe à blanc avant de les

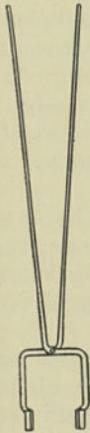


Fig. 32. — Pince à défourner.

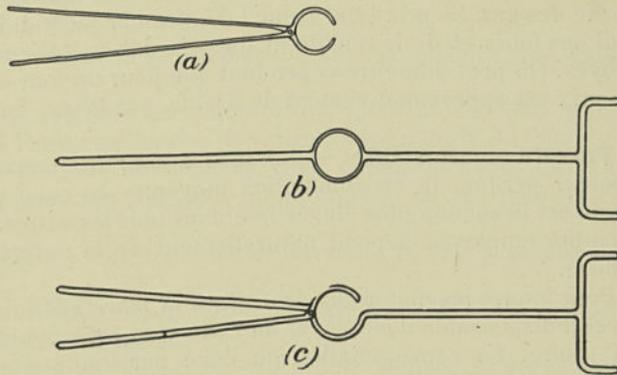


Fig. 33. — Pinces à creusets.

a, pince à creusets simple. — b et c, pinces à creusets à double poignée.

recharger. La première chauffe dure de quatre à cinq heures, la seconde environ trois heures et demie et la troisième demande moins de deux heures et demie, selon la nature de la substance fondue et le degré de pureté demandé.

Production et prix d'un four. — Pour produire 25 tonnes d'acier liquide par semaine, soit 1 200 tonnes par an (quarante-huit semaines de travail) il faut disposer au moins de 12 laboratoires travaillant continuellement du lundi matin au samedi à midi. Chaque laboratoire pouvant contenir deux creusets, ayant chacun une capacité moyenne de 34 à 35 kilogrammes.

Le prix d'un four de cette dimension est approximativement de 22 500 francs.

Amortissement annuel : savoir 10 p. 100	2 250 fr.
Intérêt : savoir 5 p. 100	1 125 —
Total	3 375 fr.
Prix par tonne de l'acier liquide	$\frac{3\ 375}{1\ 200} = 2,80$ fr.

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour les moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — A Sheffield et autres districts, il est d'usage de remplacer toutes les trois ou quatre semaines, le ganister des fours qui marchent jour et nuit du lundi matin au samedi midi. C'est une fausse économie que de vouloir continuer à employer un four dont le revêtement est usé, car il y a des pertes de combustible. Ceci se produit chaque fois que la chambre de fusion devient trop grande.

Toutes les fois que l'on refait le revêtement d'une chambre de fusion, il faut réparer ou remplacer les briques qui se trouvent au-dessus du four, et tous les ans il faut reconstruire les parois des fours et les carnaux de sortie des gaz. Le prix total annuel d'entretien dépend de la nature du travail des fours et de la qualité et du prix des matériaux réfractaires employés. On peut admettre cependant que pour un four de 12 laboratoires, ce prix est approximativement de 5,67 fr. par tonne d'acier fondu.

Prix du combustible. — Lorsque le four Huntsman n'utilise pas la chaleur perdue, la consommation moyenne de coke par tonne d'acier fondu est beaucoup plus élevée que dans tous les autres types de fours. La quantité employée dépend naturellement de la nature des matériaux à fondre.

Pour fondre les matériaux destinés à la fabrication des aciers à outils, il est indispensable d'employer un coke bien lavé contenant le minimum de soufre. La consommation du coke par tonne d'acier fondu est de $2\frac{1}{2}$ à $3\frac{1}{2}$ t. Pour fondre de la fonte et des scraps d'acier destinés à des moulages en acier de qualité ordinaire, la consommation moyenne du coke est de $1\frac{3}{4}$ t. par tonne d'acier. De sorte que si le coke coûte 29,61 fr. la tonne, le prix du combustible par tonne d'acier fondu sera approximativement de 51,80 fr.

Prix des creusets. — On utilise des creusets en argile et des creusets en plombagine. Dans le district de Sheffield, on emploie surtout des creusets en argile, car par suite de leur longue expérience, les ouvriers de Sheffield sont parvenus à fabriquer à bon compte, des creusets d'excellente qualité. Lorsque l'on fond des scraps d'acier doux avec une petite quantité de fonte pour faire des moulages d'acier, chaque creuset d'argile peut supporter une moyenne de 3 à 5 chauffes, tandis qu'un creuset en plombagine de bonne qualité peut en supporter une moyenne de 15.

Le prix des creusets en argile par tonne d'acier fondu est approximativement de 13,25 fr.

Le nombre des creusets en plombagine par tonne est de $\frac{1\ 000}{34 \times 15} = 2$ (env.) à 12 francs chaque, ce qui fait que le prix des creusets en plombagine par tonne d'acier est approximativement de 24 francs.

Prix de la main-d'œuvre. — Le système adopté pour le paiement des ouvriers employés aux fours à creusets n'est pas uniforme. Certaines

usines emploient le système des primes qui consiste à payer un salaire journalier avec une prime plus ou moins forte par tonne d'acier de bonne qualité fabriqué, — d'autres usines emploient le système du travail à la tâche, payé au fondeur ou à l'ouvrier responsable du four, qui commande et paie ses ouvriers. Enfin dans d'autres usines on paie à l'ouvrier un salaire défini par journée, avec ou sans boni sur toute économie effectuée sur la consommation du coke.

Pour un four à 12 laboratoires, il faut employer pour chaque tournée une équipe ainsi composée :

- 1 fondeur ;
- 2 défourneurs ;
- 2 convoyeurs de coke ;
- 1 manœuvre ;
- 1 gamin à la cave.

Les charges sont pesées par le fondeur qui est également responsable du four.

Les défourneurs surveillent les laboratoires, ajoutent du coke quand il en faut, et quand l'acier est fondu, ils retirent les creusets du four.

Les convoyeurs de coke amènent le coke depuis le dépôt jusqu'au four et aident à préparer les moules à lingots quand on fait de l'acier à outil.

Le manœuvre aide en toutes choses et surveille le four à recuire les creusets.

Le gamin de la cave est occupé à fabriquer les couvercles et les supports et avertit du coulage des creusets, etc.

Pour différents fours, parfois dans une même région, le service de l'équipe n'est pas partout le même, de sorte que la routine ci-dessus peut être modifiée, quoique cependant le nombre d'ouvriers occupés soit partout le même pour chaque sorte de four.

Le prix de la main-d'œuvre est approximativement le suivant :

	TOURNÉE DE JOUR	TOURNÉE DE NUIT
	francs.	francs.
1 fondeur	9,45	11,34
2 défourneurs	16,38	18,90
2 convoyeurs de coke	12,60	15,12
1 manœuvre	6,30	7,56
1 gamin	3,78	4,41
Total	<u>48,51</u>	<u>57,33</u>
Salaire hebdomadaire total		578,78
A ajouter à cette somme 100 p. 100 représentant les salaires du contremaître, du chimiste, du directeur, soit		578,78
Total		<u>1 157,56</u>
d'où :		
Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier		
fondu		$\frac{1\ 157,56}{25} = 46,22$ fr.

Prix des matières premières. — En supposant que les scraps et les fontes employés devront donner des moulages de bonne qualité pour l'usage général ordinaire, nous prendrons comme type la charge suivante :

	Par tonne.
27,210 kg. de scraps d'acier à 0,15 p. 100 de carbone à . . .	100 fr.
5,440 kg. de scraps de moulages d'acier à 0,25 p. 100 de carbone à	100 —
2,265 kg. de fonte hématite en morceaux à 4 p. 100 de carbone à	112,50 fr.

Le prix de l'acier fondu sera

Matières premières	101,72 fr.
Aluminium (0,450 kg)	0,73 —
Plus 2 p. 100 de perte à la fusion	2,10 —
Total	<u>104,55 fr.</u>

RÉCAPITULATION DES DÉPENSES

Prix du four : 22 500 francs.

Amortissements et intérêts	2,80 fr.
Entretien	5,67 —
Combustible	51,80 —
Creusets	24,00 —
Main-d'œuvre	46,22 —
Matières premières (y compris additions et pertes).	104,55 —
Prix total par tonne d'acier liquide	<u>235,04 fr.</u>

Four à creusets avec quatre creusets dans chaque laboratoire.

Description du four. — Dans les petites fonderies faisant des moulages en acier de qualité ordinaire pour les Mines, les Chemins de fer, la Marine et le Génie civil, il n'est pas rare d'employer des fours dont les laboratoires peuvent renfermer chacun quatre creusets. Ces creusets ont en général une contenance de 28 à 45 kilogrammes. La figure 34 représente le plan et une coupe en élévation du laboratoire de ce four. La disposition employée, diffère surtout de celle du type Huntsman, en ce sens que le laboratoire ou chambre de fusion représente en plan, un carré dont on a arrondi les angles de façon à laisser autour des quatre creusets un espace libre uniforme. En général, les laboratoires sont construits autour d'une cheminée centrale, le tirage de chacun d'eux pouvant être réglé au moyen d'un registre placé dans le canal de sortie du gaz. La cave, placée sous le four, et permettant d'avoir accès près des cendriers, est construite de la même façon que dans le four Huntsman ordinaire.

Fonctionnement du four. — Lorsque l'on travaille seulement de jour avec le four, il faut le chauffer chaque matin à une très haute température

avant d'y introduire les creusets. Ceux-ci sont placés à côté l'un de l'autre, puis très fortement chauffés avant d'y introduire les matières premières. Lorsque le tout est convenablement préparé, on met un couvercle en argile sur chaque creuset, on place du coke tout autour de chaque creuset et on remplit complètement de coke le laboratoire. On observe l'allure de la fusion en l'examinant de temps en temps et pour ce faire on retire quelquefois le creuset, quoique l'on puisse facilement se rendre compte de la marche de la fusion en introduisant une petite baguette de fer dans la masse. On peut très facilement juger de la température de la masse fondue en examinant un peu du métal retiré avec la baguette. La première fusion demande environ quatre heures pour que le métal soit prêt à être coulé. En général, on peut faire trois fusions par jour. Lorsque l'on a retiré les creusets de chaque laboratoire, on nettoie immédiatement les feux et on les prépare pour recevoir à nouveau les creusets garnis d'une nouvelle charge. Les deuxième et troisième chauffés se font plus rapidement, la durée moyenne de chacune étant d'environ trois heures.

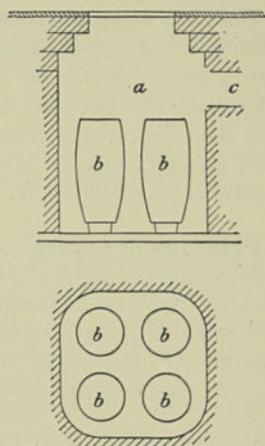


Fig. 34. — Laboratoire à creusets, chauffé au coke, pouvant contenir quatre creusets.

a, laboratoire. — b, creusets.
c, orifice de sortie du gaz.

Production et prix du four. — En employant des creusets dont la production moyenne de chacun est d'environ 34 kilogrammes, le rendement journalier (en ne travaillant que de jour seulement) pour chaque laboratoire est de $34 \times 4 \times 3 = 408$ kilogrammes, de sorte qu'avec 12 laboratoires on produira journellement environ $4 \frac{1}{2}$ t. d'acier liquide, soit 25 tonnes par semaine. Un tel four, dont les carneaux de sortie de gaz sont reliés à une cheminée centrale, coûte environ 30 000 francs. On a alors :

Amortissement (10 p. 100)	3 000 francs.
Intérêts (5 p. 100)	1 500 —
Total	4 500 —
Prix par tonne d'acier liquide	$= \frac{4\,500}{1\,200} = 3,75$ fr.

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour les moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — Toutes les quatre ou cinq semaines, il faut regarnir les laboratoires de ganister et refaire la maçonnerie en briques qui se trouve au-dessus du four. Chaque année, il faut refaire entièrement les parois et les voûtes, ainsi que la partie des carneaux à gaz la plus voisine

des laboratoires. La dépense moyenne mensuelle et annuelle est d'environ 6,30 fr. par tonne d'acier fondu.

Prix du combustible. — Par suite de l'assemblage compact des laboratoires, on emploie moins de combustible que dans le four Huntsman ordinaire, pour fondre les mêmes matières premières. La consommation moyenne de coke est d'environ $1 \frac{1}{4}$ t. par tonne d'acier fondu lorsque l'on fond des scraps d'acier et de la fonte. En admettant que le prix du coke soit de 29,61 fr. la tonne, le prix par tonne d'acier fondu sera approximativement de 36,98 fr.

Prix des creusets. — En employant, avec précaution, des creusets en plombagine de bonne qualité, chacun d'eux supporte 20 à 25 fusions de scraps d'acier et de fonte. En admettant que le chiffre moyen des chauffés soit seulement de 15, cela représente un rendement de 510 kilogrammes d'acier par creuset. Le nombre moyen des creusets employés par tonne d'acier sera donc de $\frac{1\ 000\ \text{kg.}}{510\ \text{kg.}} = 2$ (environ).

De sorte que le prix par tonne d'acier fondu sera approximativement de 24 francs en prenant le prix moyen de 12 francs par creuset.

Prix de la main-d'œuvre. — L'équipe employée se compose comme suit :

Un fondeur.	9,45 fr.
Trois défourneurs à 8,19 fr.	24,57 —
Huit manœuvres à 6,30 fr.	50,40 —
Total.	84,42 fr.
Salaires des contremaître, chimiste et directeur . . .	84,42 —
Dépense totale journalière pour une production de 4 1/2 t.	168,84 fr.

Prix de main-d'œuvre par tonne d'acier fondu = environ 37,82 fr.

Prix des matières premières. — Le prix des matières premières est, comme nous l'avons indiqué précédemment, d'environ 104,55 fr. par tonne d'acier fondu.

RÉCAPITULATION DES DÉPENSES

Prix du four : 30 000 francs.

Amortissements et intérêts.	3,75 fr.
Entretien.	6,30 —
Combustible	36,98 —
Creusets	24,00 —
Main-d'œuvre et direction	37,82 —
Matières premières (y compris additions et pertes).	104,55 —
Prix total par tonne d'acier liquide.	213,40 fr.

CHAPITRE VII

FOURS A CREUSETS, CHAUFFÉS AU COKE, A TIRAGE FORCÉ

Les fours Miller, Radio et Lindemann, que nous décrivons tout au long dans ce chapitre, appartiennent à la catégorie des fours à tirage forcé; leurs plans ont été établis pour obtenir une fusion plus rapide tout en ayant une consommation de combustible moindre que les fours ordinaires chauffés au coke. Pour ce faire, la chaleur perdue de la chambre de fusion ou laboratoire, est utilisée au chauffage de l'air que l'on envoie sous pression dans le four au travers du combustible qu'il contient, ce qui en quelque sorte représente une certaine analogie avec le régénérateur Siemens.

Four Miller.

Description du four. — La figure 33 représente des coupes longitudinales et transversales de ce four.

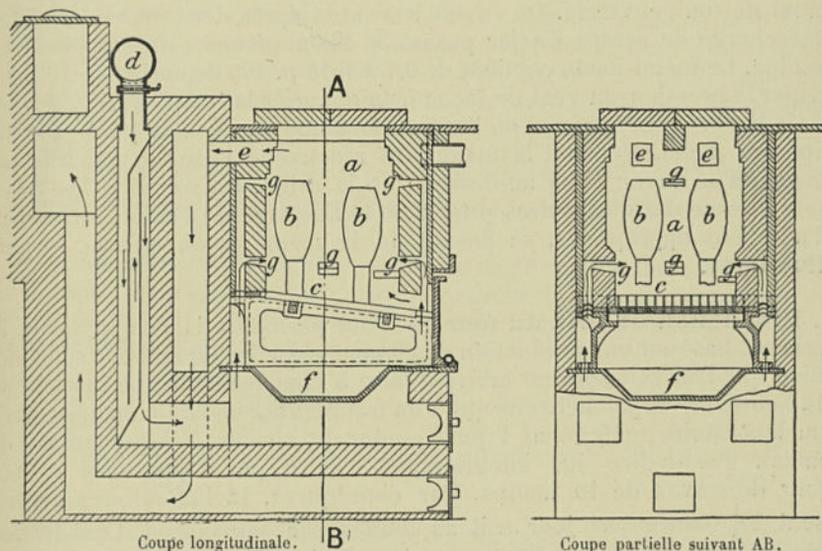


Fig. 33. — Four à creusets, chauffé au coke, à tirage forcé.

a, laboratoire. — *bb*, creusets. — *c*, grille du foyer. — *d*, entrées d'air. — *ee*, sorties du gaz. — *f*, cendrier. — *gg*, carnaux à air.

La façon dont sont construits les carnaux, constitue la partie caracté-

ristique du four. Entre la maçonnerie extérieure et intérieure, il y a une enveloppe constituée par un mélange d'argile réfractaire et de magnésite. Le fond est supporté par des consoles auxquelles sont fixés les supports sur lesquels reposent les grilles du foyer. Au-dessous des grilles du foyer se trouve le cendrier, qui repose sur des briques réfractaires.

Il contient de l'eau pour refroidir les cendres chaudes qui y tombent en formant de la vapeur qui s'élève et se mélange à l'air et facilite ainsi la combustion des gaz du four. La direction suivie par l'air chaud est indiquée par des flèches sur les gravures. On peut régler la quantité d'air avant son passage dans le canal d'entrée, sous la grille et dans les carneaux du laboratoire. Comme les carneaux de sortie s'échauffent par suite du passage des gaz chauds allant à la cheminée, il en résulte que l'on peut facilement chauffer l'air nécessaire à la combustion, ce qui fait que la dépense en combustible est bien moindre qu'avec les fours ordinaires marchant au coke.

Fonctionnement du four. — Si l'on utilise un four neuf, il faut d'abord laisser la maçonnerie sécher naturellement avant d'y faire du feu. Ce séchage étant entièrement fait, on chauffe le four avec du bois puis avec du coke jusqu'à ce que l'on ait atteint la température de fusion de l'acier. On place alors les creusets chargés, sur les blocs réfractaires posés sur les grilles du foyer. On remplit complètement le laboratoire de coke en ayant soin de le répartir convenablement autour des creusets. On ferme l'ouverture du four à l'aide du couvercle, chaque creuset étant également muni de son couvercle. On envoie le vent et après deux heures environ, une charge de scraps d'acier pesant 34 kilogrammes est complètement fondue. Le métal fondu contient de 0,1 à 0,15 p. 100 de carbone. On peut régler la pression du vent de façon à faire varier la température du four, mais le plus généralement on l'envoie sous une pression de 100 à 125 millimètres d'eau. Pendant la fusion, on renouvelle l'eau du cendrier au moyen d'un tuyau situé au-dessous de la grille. On surveille les creusets comme dans les autres procédés, le finissage de l'acier, au moyen d'additions appropriées, se faisant de la même façon qu'avec le four Hunstman.

Production et prix du four. — Pour permettre la comparaison, le prix est basé sur une production de 25 tonnes d'acier liquide par semaine. Bien que l'on soit souvent arrivé à faire 5 chauffes dans une journée de 12 heures, nous admettrons que l'on fait régulièrement 3 chauffes avec un laboratoire renfermant 4 pots contenant chacun 34 kilogrammes de métal, c'est-à-dire 400 kilogrammes d'acier par laboratoire et par jour de travail de 10 heures. Par conséquent, 12 laboratoires produisent $4\frac{1}{2}$ tonnes par jour soit 25 tonnes par semaine. La production annuelle sera donc de 1 200 tonnes pour 48 semaines de travail.

Le prix approximatif de chaque laboratoire à 4 creusets d'une l'installation d'une batterie de 12 laboratoires, est de 5 000 francs, tous frais compris. Le prix total est donc de 60 000 francs. En prenant les chiffres habituels pour l'amortissement et les intérêts nous avons :

Amortissement (10 p. 100)	6 000 fr.
Intérêts (5 p. 100)	3 000 —
Total	<u>9 000 fr.</u>
Prix par tonne d'acier liquide	$= \frac{9\,000}{1\,200} = 7,50$ fr.

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — Ce chapitre est plus important ici que pour le four Huntsman ordinaire, car le fait d'envoyer du vent sous pression dans les tuyères, nécessite des réparations plus fréquentes. Il faut faire de petites réparations toutes les trois semaines, et remplacer entièrement le revêtement toutes les six semaines. Le prix annuel d'entretien est approximativement de 8 250 francs.

$$\text{Frais de réparation par tonne d'acier fondu.} = \frac{8\,250}{1\,200} = 6,87 \text{ fr.}$$

Prix du combustible. — La consommation moyenne, par tonne de scraps d'acier doux fondus, est de 1 520 kilogrammes. Le prix du coke étant de 29,61 fr. la tonne, le prix du combustible par tonne d'acier fondu sera de 44,43 fr.

Prix des creusets. — La fusion rapide de la charge a une action correspondante sur les creusets. Le nombre de chauffes que l'on peut leur faire subir varie un peu, mais quand on emploie de bons creusets en plombagine, chaque creuset contenant 34 kilogrammes, peut supporter une moyenne de 10 chauffes et produire par conséquent 340 kilogrammes d'acier, le nombre de creusets nécessaires pour une tonne sera donc de $\frac{1\,000}{340} = 3$ environ. Le prix de chaque creuset étant de 12 francs, la dépense en creusets, par tonne d'acier fondu, sera de 36 francs.

Prix de la main-d'œuvre. — Il faut un défourneur et deux manœuvres pour deux laboratoires. Leur travail consiste à charger, décrasser et activer le travail. En admettant les prix de base suivants, les dépenses se décomposent comme suit :

6 défourneurs à 8,08 fr.	48,48 fr.
12 manœuvres à 6,30 fr.	75,60 —
Salaires des contremaitre, chimiste, directeur	124,08 —
Total	<u>248,16 fr.</u>

$$\text{Prix de la main-d'œuvre, par tonne d'acier fondu.} = \frac{248,16}{4\,1/2} = 55,14 \text{ fr.}$$

Prix des matières premières. — Ce prix dépend naturellement de la qualité des matériaux composant la charge, mais en supposant qu'ils soient les mêmes que ceux que l'on emploie pour la fabrication des moulages en acier avec les autres fours, le prix par tonne est de 104,53 fr.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

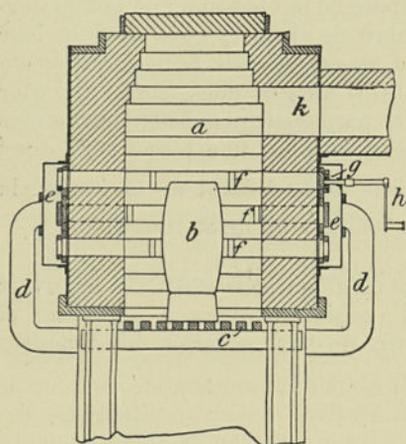
Prix du four : 60 000 francs.

Amortissement et intérêts	7,50 fr.
Frais d'entretien	6,87 —
Combustible	44,43 —
Creusets	36,00 —
Dépenses pour le tirage forcé	1,62 —
Main-d'œuvre	55,14 —
Matières premières (y compris additions et pertes)	104,55 —
Prix total par tonne d'acier liquide	256,11 fr.

Le four ci-dessus, est peut-être celui que l'on utilise le plus, pour fondre les additions ajoutées à l'acier fabriqué dans les grandes aciéries employant les procédés Bessemer, Martin-Siemens ou autres. On l'emploie actuellement, avec beaucoup de succès, pour fabriquer les aciers destinés à l'automobile. Il a été breveté par M. William Miller de la Mild Steel Castings C^o, Ltd.

Four Radio.

Description du four. — La figure 36, représente une coupe longitudinale de ce four. Il se compose d'une chambre cylindrique revêtue intérieurement de briques réfractaires ou de ganister, à travers lesquels débouchent une série de tuyères qui



Coupe en élévation.

Fig. 36. — Four à creusets chauffé au coke à tirage forcé.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *c*, grille. — *d*, arrivée d'air. — *e*, manchon à air. — *f*, tuyères. — *g* et *h*, tampon et manivelle pour régler l'entrée d'air. — *k*, sortie des gaz.

amènent l'air chaud sur le coke qui entoure le ou les creusets. Lorsque le four travaille par tirage naturel, l'air est aspiré dans le four par le tirage de la cheminée, mais on utilise un ventilateur quand on envoie l'air sous pression dans le four.

L'air est amené par un tuyau, depuis le ventilateur jusqu'au manchon à air qui entoure le four à la hauteur des tuyères, et pénètre dans le four à travers le revêtement. Un autre tuyau, va du manchon au cendrier fermé placé sous le four, de sorte que l'air soit obligé de traverser les grilles avant de pénétrer dans le four. La quantité d'air envoyé dans le four est réglée, pour chaque série de tuyères, au moyen d'un tampon manœuvré à l'aide d'une manivelle, tampon situé dans

le manchon à air, entourant le four, et dans lequel débouchent les tuyères.

Fonctionnement du four. — Le fonctionnement de ce four ne nécessite pas beaucoup d'habileté. Lorsque le revêtement est complètement chauffé avec du bois et du coke, on place le ou les creusets sur les blocs réfractaires disposés sur les grilles du foyer, on garnit de coke, on charge les creusets et on les ferme. Après avoir fermé le four au moyen de son couvercle, on souffle légèrement si le tirage naturel n'est pas suffisant, et la fusion commence. Pendant les deux heures et demie que demande la fusion, on ajoute du coke de temps en temps. Pendant la fusion, on examine les creusets pour voir comment elle s'opère. Quand la charge est prête, on retire les creusets du four avec des pinces spéciales de la manière ordinaire et on vide le contenu dans les moules.

Production et prix du four. — Avec un four contenant 3 creusets, ayant chacun une contenance de 38 à 39 kilogrammes, on peut fondre en une journée de 10 heures, 460 kilogrammes de scraps de fonte ou d'acier doux en faisant 4 chauffés par jour. Pour obtenir une production de 25 tonnes d'acier par semaine (1 200 tonnes par année de 48 semaines) il faut utiliser 10 fours contenant chacun 3 creusets, ou deux batteries de 5 fours ayant chacun une capacité totale de 15 creusets.

Le prix de ces deux batteries, y compris la cheminée et tous les autres accessoires, s'élève à 17 500 francs. On a donc :

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour des moulages en acier au carbone).

Amortissements (10 p. 100)	1 750 fr.
Intérêts (5 p. 100).	875 —
Total.	<u>2.625 —</u>
Prix par tonne d'acier liquide.	$\frac{2625}{1200} = 2,19$ fr.

Prix d'entretien. — Comme la fusion des matières premières se fait rapidement, il en résulte que l'on doit remplacer fréquemment le revêtement du four. Chaque semaine, il faut un nouveau revêtement et chaque année refaire entièrement le four. Le prix total d'entretien s'élève approximativement à 6,30 fr. par tonne d'acier fondu.

Prix du combustible. — Dans ce four, on emploie généralement le coke provenant des usines à gaz. Il faut toutefois éviter d'employer du coke trop riche en cendres, car cela encrasserait constamment les grilles et obligerait à réparer encore plus souvent le four.

En employant du coke de gaz, il en faut environ 2 tonnes pour chaque tonne d'acier fondu. En admettant que ce coke coûte 18,90 fr. la tonne, le prix du combustible employé par tonne d'acier fondu serait de 37,80 fr.

Prix des creusets. — Si l'on fond des scraps d'acier doux, les creusets en plombagine de bonne qualité peuvent supporter 10 chauffés chacun,

ce qui représente 385 kilogrammes d'acier par creuset. Il faudra donc par tonne d'acier $\frac{1000}{385} = 2,63$ creusets.

En supposant que le prix de chaque creuset soit de 17 francs, leur prix par tonne d'acier sera de $17 \times 2,63 = 44,71$ fr.

Prix de la main-d'œuvre. — Il faut 12 ouvriers pour 10 laboratoires de fusion, leur travail étant d'approvisionner et de charger le coke et les creusets, de retirer ceux-ci des laboratoires et de les vider.

En admettant les bases suivantes, le prix de main-d'œuvre se décompose comme suit :

4 défourneurs à 8,08 fr.	32,32 fr.
8 manœuvres à 6,30 fr.	50,40 —
Salaires des contremaître, chimiste, directeur.	82,72 —
Total.	<u>165,44 fr.</u>

Prix de main-d'œuvre par tonne d'acier fondu. $= \frac{165,44}{4\frac{1}{2}} = 36,76$ fr.

Prix des matières premières. — Pour permettre la comparaison, nous admettons que ce prix est de 104,55 fr. comme pour les autres fours.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix du four = 17500 francs.

Amortissement et intérêts.	2,19 fr.
Frais d'entretien.	6,30 —
Combustible	37,80 —
Creusets	44,71 —
Dépenses pour le tirage forcé	1,62 —
Main-d'œuvre	36,76 —
Matières premières (y compris additions et pertes)	<u>104,55 —</u>
Prix total par tonne d'acier liquide.	233,93 fr.

Le prix des scraps d'acier, varie considérablement dans les différents districts et suivant les époques. Certains industriels employant ce four, produisent des moulages en acier de bonne qualité avec des scraps d'acier qu'ils achètent de 75 à 87,50 fr. la tonne au lieu de 100 francs, chiffre de base que nous avons admis comme prix des matières premières. Il ne s'ensuit naturellement pas, que l'on ne peut pas produire, avec la même qualité d'acier, des moulages d'aussi bonne qualité avec les autres fours que nous avons décrits.

Ce four a été breveté en 1909 par M. James Chenall, M.Inst.C.E. Il convient très bien pour fondre les additions employées dans les aciéries, ainsi que pour fabriquer des quantités régulières de moulages en acier.

Four Lindemann.

Description du four. — Ce four se compose d'une caisse en fer à double paroi, garnie d'un revêtement en briques réfractaires et d'une

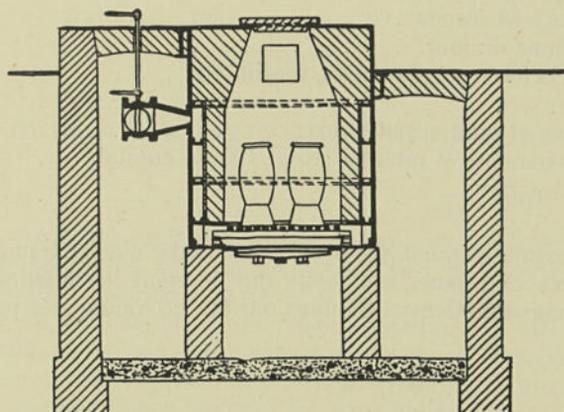


Fig. 37. — Four Lindemann.

grille sur laquelle on place les creusets. Voir la figure 37 qui représente une coupe en élévation de ce four.

La double paroi, est divisée en plusieurs compartiments, au moyen de cloisons en fer, chacun de ces compartiments étant ouvert d'un côté. Cette ouverture est disposée d'une façon telle, que l'ouverture d'un compartiment est du côté opposé de celle du compartiment placé au-dessus. A la partie supérieure de la double enveloppe se trouve placé le tuyau d'arrivée d'air sous pression, sur lequel se trouve une valve de réglage. L'air envoyé au laboratoire, va de la partie supérieure de la double enveloppe à la partie inférieure, en suivant une marche en zigzag par suite de la position des diverses ouvertures des compartiments, et arrive enfin sous la grille où il s'échauffe, avant de pénétrer dans le four, tout en ayant préalablement servi à en refroidir les parois.

Le combustible que l'on utilise est le coke. Les produits de la combustion, se rendent dans la cheminée, au moyen d'un orifice placé à la partie supérieure du four.

Fonctionnement du four. — La manœuvre de ce four se fait d'une façon absolument analogue à celle employée pour les deux fours précédemment décrits dans ce chapitre.

Production et prix du four. — Le capital immobilisé pour un four capable de produire de 100 à 120 tonnes d'acier en 250 jours de travail est approximativement de 11 875 francs.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT POUR 100 KILOGRAMMES D'ACIER

100 kilogrammes de matériaux.	8,61 fr.
1 creuset	12,00 —
200 kilogrammes de coke, soit 20 p. 100 des matériaux fondus à 31 francs	6,20 —
Réparations du four.	2,46 —
Prix de la force employée au ventilateur	0,63 —
Salaires.	2,46 —
Additions et autres matériaux.	1,26 —
Amortissements et intérêts (15 p. 100 du capital)	<u>1,89 —</u>
Total.	35,51 fr.

Soit approximativement 355 francs, par tonne d'acier liquide.

Les chiffres ci-dessus, sont ceux qui donnent les meilleurs résultats dans l'Allemagne du Centre. Ils nous ont été communiqués par M. Robert Lindemann.

CHAPITRE VIII

FOURS A CREUSETS CHAUFFÉS AU GAZ

Les fours à creusets chauffés au gaz, employés en Angleterre, en Amérique et sur le continent, appartiennent tous au type à régénération de Siemens ou sont une modification de celui-ci.

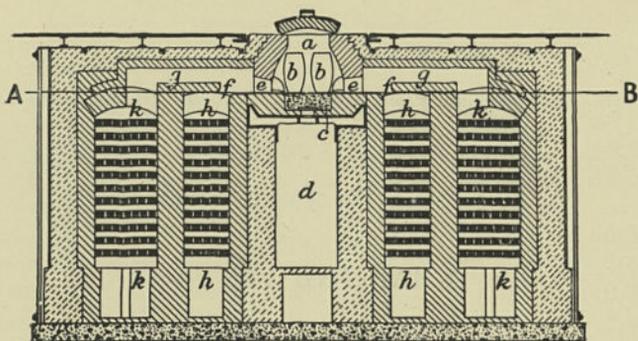
Le principe de l'utilisation de la chaleur perdue des laboratoires de fusion, au chauffage de l'air que l'on mélange au gaz de gazogène employé à la fusion, est employé depuis 1866 à ce genre de four. On sait que l'un des premiers régénérateurs Siemens fut appliqué au four à creusets. Le degré de perfectionnement, appliqué de nos jours à la construction des régénérateurs, est beaucoup plus grand qu'il ne l'était à l'origine, de sorte que les résultats obtenus sont de beaucoup améliorés.

Le four « type ordinaire » est encore employé en Angleterre, aux États-Unis et en Europe, mais le four Siemens « nouveau type » le remplace petit à petit.

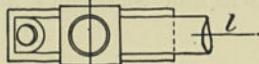
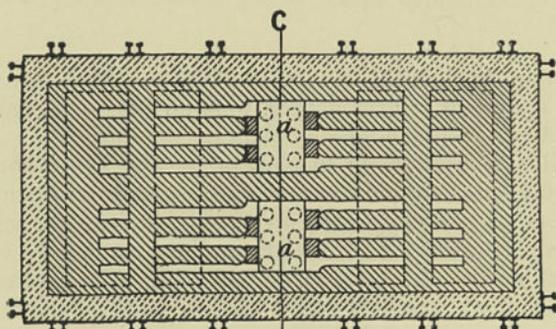
Four Siemens « Type ordinaire ».

Description du four. — La figure 38 représente l'ensemble de ce four, tandis que la figure 39 représente des vues en coupe du laboratoire de fusion. Ce four se compose de deux ou plusieurs laboratoires de fusion sur le côté desquels sont placés les deux régénérateurs à air et à gaz. Le four représenté par la figure 38, comprend deux laboratoires, pouvant contenir chacun six creusets.

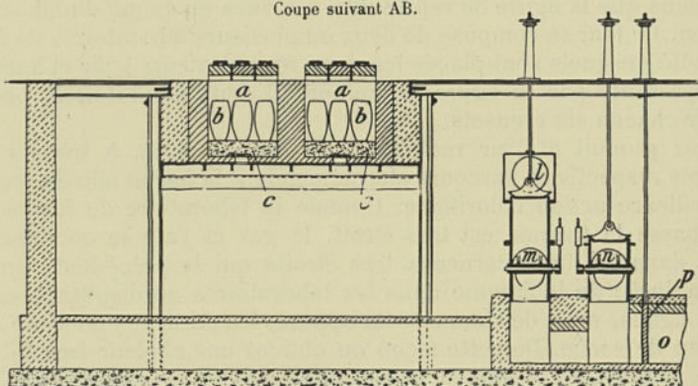
Le gaz produit et l'air remontent de chaque côté, à travers leurs chambres respectives, parcours alterné pendant la fusion afin de produire une meilleure action calorifique. Comme le laboratoire de fusion dans lequel passe la flamme est très étroit, le gaz et l'air se combinent et brûlent dans les trois carneaux très étroits qui le précèdent. On prolonge la durée de la flamme dans les laboratoires en disposant sur les mêmes lignes, mais de chaque côté opposé, les carneaux d'entrée et les carneaux de sortie. De cette façon on obtient une chaleur très intense, si forte même, que le gaz en venant buter contre les parois du laboratoire les endommagerait fortement si, dans la construction on ne faisait usage de briques de protection, faites avec des substances réfractaires très siliceuses et très résistantes. La forme du laboratoire de fusion favorise également la concentration de la chaleur et l'inclinaison des parois.



Coupe longitudinale.



Coupe suivant AB.



Coupe suivant C D.

Fig. 38. — Four à creusets Siemens chauffé au gaz.

aa, laboratoire. — *bb*, creusets. — *cc*, sole en coke. — *ee*, chambre de combustion. — *ff*, carneaux à gaz. — *gg*, carneaux à air. — *hh*, régénérateur à gaz. — *kk*, régénérateur à air. — *l*, arrivée du gaz. — *m*, valve à gaz à renversement. — *u*, valve à air à renversement. — *o*, cheminée. — *p*, registre de la cheminée.

latérales des deux côtés du laboratoire, permet de renvoyer la chaleur sur les creusets.

Les creusets sont placés sur une sole, constituant la partie inférieure

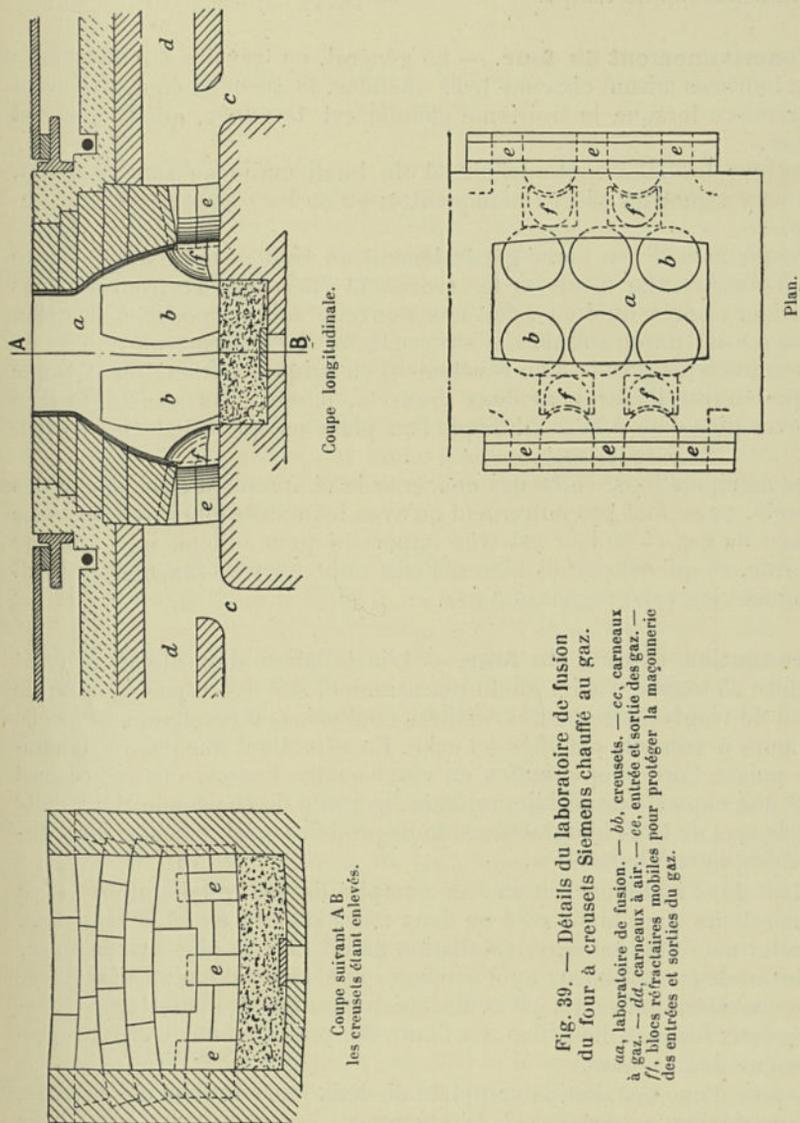


Fig. 39. — Détails du laboratoire de fusion du four à creusets Siemens chauffé au gaz.

aa, laboratoire de fusion. — *bb*, creusets. — *cc*, carneau à gaz. — *dd*, carneau à air. — *ee*, entrée et sortie des gaz. — *ff*, blocs réfractaires mobiles pour protéger la maçonnerie des entrées et sorties du gaz.

du laboratoire, faite avec du poussier de coke. Au-dessous de cette sole et au centre de celle-ci, se trouve une ouverture creusée dans le briquetage et dans l'armature en fer du dessus de la voûte. Cette ouverture est généralement fermée au moyen du couvercle d'un vieux creuset. Si un accident vient à se produire, que par exemple le contenu d'un creuset

vienne à se répandre sur la sole du laboratoire, grâce à cette ouverture, on peut percer la sole et recueillir le métal répandu. La sole en poussier de coke est alors réparée et l'on continue à travailler sans avoir perdu beaucoup de temps.

Fonctionnement du four. — En général, on travaille à ce four avec deux tournées faisant chacune trois chauffés, la seconde équipe relevant la première lorsque la troisième chauffe est terminée, quelle que soit l'heure.

Le four travaille continuellement du lundi matin au samedi matin, puis on y remet les pièces manquantes, ou on les répare si c'est nécessaire.

Chaque samedi, on perce généralement un trou dans la sole en coke du laboratoire afin d'enlever les scories et l'acier qui se trouvent dans l'intérieur; après quoi on refait une nouvelle sole en poussier de coke.

Chaque laboratoire renferme six creusets. Il est fermé au moyen de trois couvercles garnis d'un revêtement en briques réfractaires. Comme chaque couvercle sert pour deux creusets, il n'est pas nécessaire d'en soulever plus d'un à la fois lorsque l'on place ou qu'on enlève les creusets.

Les manipulations, en ce qui concerne le chargement et le vidage des creusets, ne se font pas autrement qu'avec les autres fours à creusets. Le réglage du gaz et de l'air est très important pour obtenir un chauffage uniforme, ce qui est parfois bien difficile à obtenir sans manœuvrer intelligemment les valves à air et à gaz.

Production et prix du four. — L'installation d'un atelier pouvant produire 25 tonnes d'acier fondu par semaine, soit 4,5 t. par journée de travail de vingt-quatre heures, est très coûteuse comparativement à celle des fours à creusets chauffés au coke. En admettant que chaque laboratoire puisse faire cinq chauffés en vingt-quatre heures, chaque creuset ayant une capacité de 34 kilogrammes, le poids d'acier fondu dans cette période sera de 1 224 kilogrammes. Pour produire 4,5 t. il faudra donc disposer de quatre laboratoires.

Il faut donc installer, soit un four complet de quatre laboratoires avec régénérateurs sur chaque côté ou deux fours séparés ayant chacun deux laboratoires. Cette dernière installation paraît être la plus avantageuse, car le fondeur obtiendra, au chauffage, des résultats plus uniformes. Cette considération seule, est suffisante, pour engager l'industriel à construire deux fours au lieu d'un. La figure 38, précédemment citée, représente l'un de ces fours.

Le prix d'une installation complète de deux fours à deux laboratoires, y compris les gazogènes et la cheminée, est approximativement de 87 500 francs. D'où :

Amortissements (10 p. 100)	8 750 fr.
Intérêts (5 p. 100)	4 375 —
Total	13 125 fr.

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier fondu

$$= \frac{13\ 125}{1\ 200} = 10,93 \text{ fr.}$$

Prix de revient (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — En ce qui concerne les réparations du four, celles-ci varient dans une certaine mesure avec la méthode de travail employée. Un chauffage irrégulier influe, non seulement sur le creuset et la production d'acier, mais aussi sur les parois et sur les carneaux du four. Les fours à gaz, du type que nous représentons, peuvent travailler pendant six mois sans subir de réparations autres que celles que l'on fait chaque semaine et qui consistent dans le remplacement de la sole en poussier de coke. Tous les quinze jours ou toutes les trois semaines, il faut enlever l'enveloppe intérieure du four, la reconstruire et la rechauffer, la dépense dépendant de l'importance du travail.

Le prix total d'entretien par tonne d'acier, y compris les réparations du four, du gazogène et des soles en poussier de coke, s'élève en moyenne à 8,49 fr. la tonne.

Prix du combustible. — Au lieu d'employer du coke de bonne qualité coûtant de 25,22 fr. à 37,82 fr. la tonne, on peut employer dans ces fours une houille de qualité inférieure, coûtant dans le district de Sheffield de 8,82 fr. à 12,60 fr. la tonne. La quantité moyenne de houille consommée, pour fondre l'acier ordinaire pour moulages, est d'environ 1,5 t. ce qui, à 12,60 fr. la tonne, donne une dépense de combustibles par tonne d'acier de 18,90 fr.

Prix des creusets. — Lorsque les fours à gaz furent introduits à Sheffield, MM. Samuel Osborn et C^o Ltd, qui furent les premiers à les utiliser, ont constaté qu'il était difficile de maintenir une température uniforme dans le four, de sorte qu'il y avait des creusets trop chauffés, tandis que d'autres ne l'étaient pas assez.

Cet inconvénient n'existe plus actuellement, car à l'aide des valves à renversement, placées de chaque côté du four, on peut obtenir dans tout l'intérieur de celui-ci une température uniforme. Quand on fond des substances destinées à la fabrication de l'acier à outils, le creuset d'argile peut supporter une moyenne de 3 à 4 chauffes et le creuset en plombagine de bonne qualité de 8 à 12. Si on fond des scraps d'acier, etc., pour faire des moulages en acier doux, chaque creuset d'argile peut supporter de 3 à 6 chauffes, tandis que les creusets en plombagine en supporteront 15 en moyenne. Lorsque l'on fabrique de l'acier pour moulages dans des creusets en plombagine d'une capacité de 34 kilogrammes, chaque creuset produira 510 kilogrammes d'acier ce qui fait que la dépense approximative en creusets de plombagine, par tonne d'acier fondu, sera de 24 francs, en admettant que le prix du creuset soit de 12 francs.

Prix de la main-d'œuvre. — Chaque équipe se compose comme suit :

	ÉQUIPE DE JOUR	ÉQUIPE DE NUIT
1 homme au gazogène.	6,30 fr.	8,19 fr.
1 fondeur.	9,45 —	11,34 —
2 défourneurs à 8,19 fr.	16,38 —	18,90 —
3 manœuvres à 6,30 fr.	18,90 —	22,68 —
Total.	51,03 fr.	61,11 fr.

En faisant 11 tournées par semaine, la dépense totale sera de 612,21 fr. En ajoutant à ce chiffre les salaires du contremaître, du chimiste et du directeur, soit 100 p. 100, nous obtenons 1 214,42 fr. D'où :

$$\text{Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier fondu} = \frac{1\ 224,42}{25} = 48,97 \text{ fr.}$$

Prix des matières premières. — Comme pour les autres cas que nous avons examinés, nous admettrons que le prix des matières premières est de 104,55 fr.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix du four = 87 500 fr.

Amortissements et intérêts.	10,93 fr.
Entretien.	8,19 —
Combustibles.	18,90 —
Creusets (en plombagine).	24,00 —
Main-d'œuvre.	48,97 —
Matières premières (y compris additions et pertes)	104,55 —
Prix total par tonne d'acier liquide	215,54 fr.

Four Siemens « Nouveau type ».

Description du four. — La construction de ce four est représentée par la figure 40. Les principaux points qui différencient le « nouveau type » de four à creusets Siemens de l'ancien, sont les suivants :

1. On emploie une seule paire de régénérateurs au lieu de deux. Le gaz du gazomètre va directement dans le laboratoire de fusion au lieu de parcourir le régénérateur, rencontre l'air chaud provenant du régénérateur à air et se mélange avec, avant d'entrer dans le laboratoire.

2. Par sa disposition, le gazogène fait corps avec la masse du four et n'en est pas séparé comme dans l'ancien type. Les gaz sont, par conséquent, envoyés au laboratoire de fusion à leur température initiale de sortie du gazogène.

On réalise ainsi une économie considérable de combustible, car les pertes dans le transport du gaz sont évitées ainsi que celles qui sont dues, a) au dépôt, entre le gazogène et le four, du goudron et de la suie entraînés par le gaz (dont la chaleur utile est utilisée dans le nouveau

type), *b*) les pertes de gaz provenant du renversement des valves et les pertes inévitables dues à leur fermeture imparfaite et enfin *c*) les pertes dues à la radiation du gazogène et des conduites.

3. Enfin, un autre point de différence qui retiendra l'attention des industriels, c'est le prix du four qui est de 30 p. 100 à 50 p. 100 moindre que le

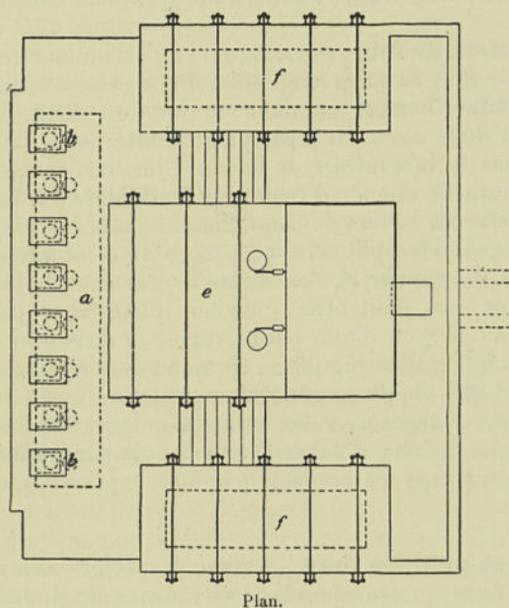
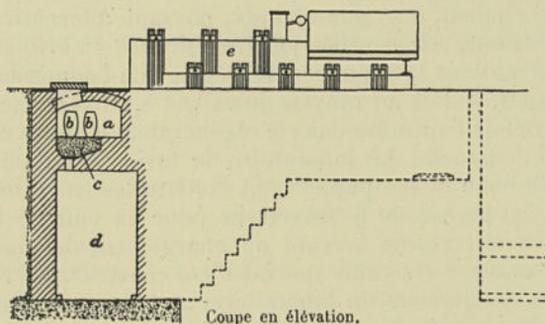


Fig. 40. — Four à creusets Siemens chauffé au gaz « Nouveau type ».
a, laboratoire de fusion. — *bb*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, voûte. — *e*, gazogène.
ff, régénérateurs à air.

four Siemens « type ordinaire ». Il occupe, en outre, moins de place ce qui a une importance considérable dans les endroits où les emplacements sont limités et de grande valeur.

Les dimensions du laboratoire de fusion du four pouvant contenir 12 creusets sont de 16' \times 4'. La flamme, formée d'un mélange de gaz et

d'air, entre par une extrémité, traverse le laboratoire dans toute sa longueur et se rend de là dans le régénérateur.

Les creusets, placés près de l'arrivée de la flamme, sont chauffés plus rapidement que ceux qui sont placés à l'autre extrémité et cela aussi longtemps que la direction des gaz reste la même, aussi renverse-t-on la marche des gaz toutes les vingt minutes de façon à assurer l'équilibre du chauffage. La chaleur des gaz chauds, passant alternativement dans chaque régénérateur, est absorbée par les chicanes en briques avant que ces gaz se rendent dans la cheminée. Le réglage de l'admission d'air dans les régénérateurs, se fait au moyen de valves à renversement, de sorte qu'une première fois l'air entre dans le régénérateur à droite et la seconde fois dans celui de gauche. Le laboratoire de fusion est muni d'une sole en poussier de coke et les parois sont construites en forme d'arches. Chaque arche est percée de 6 ouvertures pour un four de 12 creusets, chacune de ces ouvertures servant au chargement des creusets ou à leur enlèvement. Des couvercles spécialement construits servent à fermer ces ouvertures. Au-dessous du laboratoire, se trouve une cave ayant la forme habituelle, allant d'une extrémité à l'autre et dans laquelle on peut se rendre d'un côté ou de l'autre au moyen d'un escalier.

Fonctionnement du four. — Lorsqu'il s'agit d'un four neuf, le séchage de la maçonnerie doit se faire avec soin. Pour cela, on laisse la maçonnerie sécher naturellement pendant un jour ou deux, après quoi on fait un petit feu doux avec du bois, puis ensuite avec du coke dans le gazogène et dans le laboratoire de fusion. Plus le séchage se fera lentement, plus on aura de chance d'éviter les fendillements. Lorsque le four est complètement sec, on met de la houille dans le réservoir placé à proximité du gazogène et on remplit celui-ci. Lorsqu'il est complètement chargé, on envoie un jet de vapeur et l'on dirige le gaz dans le four. La vitesse d'écoulement des gaz, peut être contrôlée d'une façon parfaite, car on peut la régler au moyen d'une petite valve, la direction de la flamme étant changée à intervalles réguliers, en manœuvrant les valves à renversement à air et à gaz. On place généralement les creusets dans le laboratoire, avant de les charger avec les scraps d'acier ou de fonte, au moyen du remplisseur. La fusion est surveillée avec soin par le fondeur, qui examine de temps en temps les creusets pendant l'opération, qui dure environ trois heures.

Production et prix du four. — Avec les aciers aux creusets ordinaires, on peut faire quatre chauffes par tournée de douze heures, mais en Angleterre on se contente de 3 chauffes par tournée, soit 32 chauffes par semaine, le four travaillant continuellement du lundi au samedi matin. En employant des creusets contenant, en moyenne, 34 kilogrammes de métal, la production hebdomadaire totale pour un four de 12 creusets sera approximativement de 12,5 t.

Pour obtenir une production hebdomadaire de 25 tonnes, soit 1 200 tonnes par année de quarante-huit semaines de travail, il faudra 2 fours comme celui-ci dont le prix moyen sera d'environ 50 000 francs, prix qui dépend naturellement des conditions de situation où il est construit. Ce prix

comprend outre le four, les gazogènes, la cheminée et les fondations. On a :

Amortissements (10 p. 100)	5 000 fr.
Intérêts (5 p. 100)	2 500 —
Total.	7 500 fr.

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier fondu

$$= \frac{7500}{1200} = 6,25 \text{ fr.}$$

Prix de revient (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — Le fait que ce four, peut fonctionner de douze à dix-huit mois, sans qu'il soit besoin de l'examiner et de refaire les carneaux à gaz et à air des laboratoires de fusion, il s'ensuit que les frais d'entretien sont considérablement limités et par suite beaucoup moindres que ceux du four Siemens ordinaire. Le prix moyen est d'environ 5,67 fr. par tonne d'acier fondu. Il y a aussi, les frais de remplacement chaque semaine, de la sole en poussier de coke, de nettoyage du gazogène, etc., qui s'élèvent à environ 1,26 fr. par tonne d'acier, de sorte que le prix total d'entretien par tonne d'acier est de 6,93 fr.

Prix du combustible. — Il y a aussi, une économie considérable sur le prix du combustible, comparé à celui employé dans les fours ordinaires au coke. Quand le prix de la houille est de 12,60 fr. la tonne, la fusion d'une tonne d'acier dans le four Siemens « nouveau type » coûte environ 15,12 fr.

Prix des creusets. — Les creusets en plombagine de bonne qualité, peuvent supporter une moyenne de 15 chauffes, quand on fond des scraps d'acier doux et de fonte pour faire des moulages d'acier. En supposant que le prix de chacun soit de 12 francs, le prix des creusets par tonne d'acier sera approximativement de 24 francs. (Si l'on emploie des creusets d'argile, ceux-ci peuvent supporter pour la fusion des matériaux ci-dessus, une moyenne de 4 chauffes, ce qui correspond à 136 kilogrammes d'acier par creuset. En supposant que le prix de chaque creuset soit de 2,52 fr., le prix approximatif par tonne sera de 18,90 fr.)

Prix de la main-d'œuvre. — Celui-ci diffère peu de celui des fours ordinaires à creusets chauffés au gaz, et pas beaucoup de celui des fours chauffés au coke. Partout où sont installés 2 fours chauffés au gaz, ayant les dimensions que nous avons considérées, la main-d'œuvre nécessitée pour l'alimentation en houille des gazogènes est à peu près la même que celle de l'alimentation en coke des fours chauffés au coke. Pour ce travail il faudra au moins un homme par équipe. La main-d'œuvre nécessaire à la marche de 2 fours comprend l'équipe suivante :

Un fondeur ;
 Deux défourneurs ;
 Trois manœuvres (dont un au gazogène).

En faisant entrer en ligne de compte les salaires du contremaître, du chimiste et du directeur, le prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier fondu est approximativement de 46,32 fr.

Prix des matières premières. — Nous admettrons le prix de 104,55 fr. que nous avons déjà adopté dans nos précédents calculs.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix du four : 50 000 francs.	
Amortissements et intérêts	6,25 fr.
Entretien	6,93 —
Combustible	15,12 —
Creusets (en plombagine).	24,00 —
Main-d'œuvre	46,32 —
Matières premières (y compris additions et pertes)	104,55 —
Prix total par tonne d'acier liquide	204,17 fr.

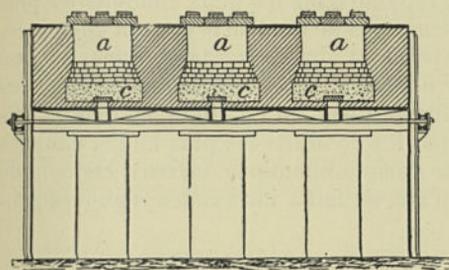
**Prix de revient comparatifs des fours Siemens « type ordinaire »
 et « nouveau type ».**

DÉTAILS	FOUR SIEMENS « type ordinaire ».	FOUR SIEMENS « nouveau type ».
Prix du four	87 500 francs.	50 000 francs.
Amortissements et intérêts	10,93 fr.	6,25 fr.
Entretien	8,19 —	6,93 —
Combustibles	18,90 —	15,12 —
Creusets (en plombagine).	24,00 —	24,00 —
Main-d'œuvre	48,97 —	46,32 —
Matières premières	104,55 —	104,55 —
Prix total par tonne d'acier fondu	215,54 fr.	204,17 fr.

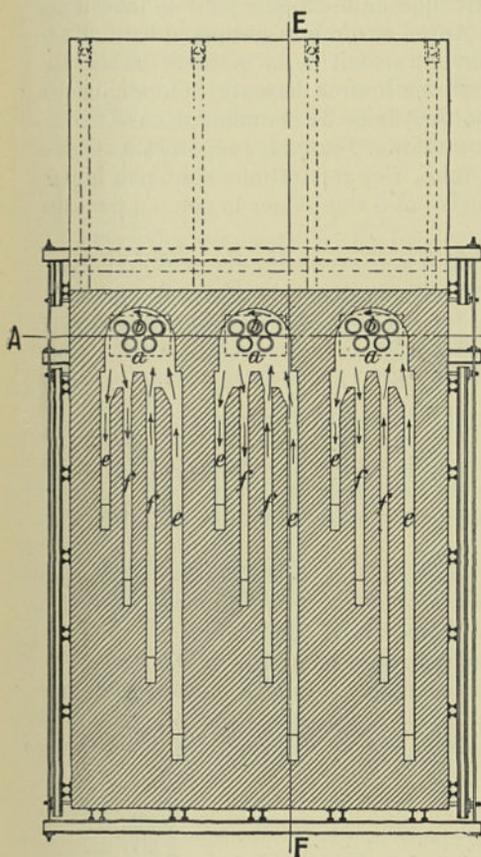
Four Dawson, Robinson et Pope.

Description du four. — Ce four a été construit en vue d'obtenir un meilleur rendement des gaz, dans chaque laboratoire de fusion, que dans le four Siemens ordinaire. La figure 41 montre la disposition du four, qui comprend 3 laboratoires de fusion séparés, construits d'un seul bloc, derrière lesquels sont placées deux paires de régénérateurs à air et à gaz. La partie supérieure des régénérateurs, est placée au-dessous du fond des laboratoires, les communications étant établies au moyen de deux con-

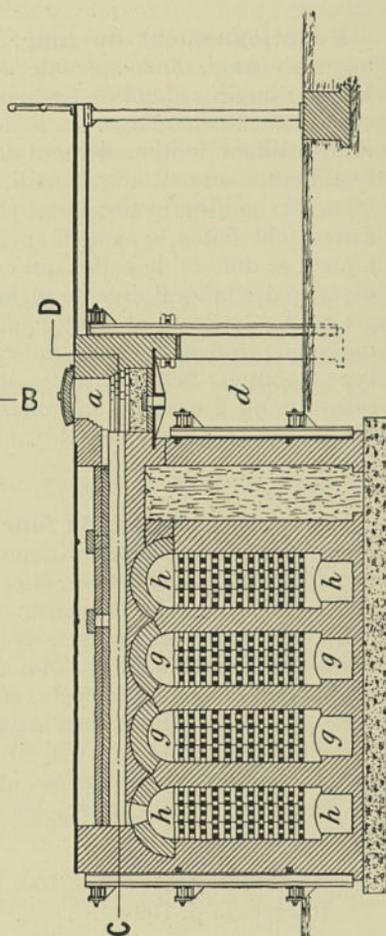
duites de gaz et de deux conduites d'air que l'on peut surveiller séparément.



Coupe suivant A B.



Coupe suivant C D.



Coupe suivant E F.

Fig. 41. — Four à creusets chauffé au gaz de Dawson, Robinson et Pope.

aa, laboratoires. — *blb*, creusets. — *ccc*, sole en coke. — *d*, voûte. — *ee*, conduites d'air.
ff, conduites de gaz. — *gg*, régénérateurs à gaz. — *hh*, régénérateur à air.

Dans la vue en plan, on remarquera que les conduits sont de longeurs

différentes. Le mélange de gaz et d'air passe à travers les deux régénérateurs extérieurs, parcourt les conduits de chacun des trois laboratoires et après avoir tourné autour du four, repasse dans les deux conduits les plus courts des deux régénérateurs intérieurs et se rend de là dans la cheminée. Le mélange marche dans ce sens pendant vingt à trente minutes, puis on renverse le sens de la marche, c'est-à-dire que le mélange traverse les deux régénérateurs intérieurs, circule dans les conduits les plus courts pour se rendre au sortir du four, par les conduits les plus longs, dans les régénérateurs extérieurs et ensuite dans la cheminée. Le renversement de la marche du mélange de gaz et d'air, se fait à intervalles réguliers pendant le fonctionnement du four.

Fonctionnement du four. — Le travail de ce four ne nécessite aucune connaissance spéciale autre que celle exigée pour le travail des fours ordinaires chauffés au coke. Après avoir fait comme d'habitude le séchage et le chauffage, le changement se fait de la manière habituelle. En travaillant continuellement depuis six heures du matin le lundi, jusqu'à neuf heures du matin le samedi, on peut faire 34 et même occasionnellement 36 chauffés, avec ce four, par semaine. Toutes les réparations nécessaires sont faites le samedi après-midi. Ces réparations sont peu importantes, en dehors de celles qui consistent à remplacer la sole en poussier de coke des laboratoires de fusion.

Chaque laboratoire peut contenir 5 à 6 creusets. Ils sont fermés au moyen de trois couvercles, faits avec un revêtement réfractaire suivant le type habituel. Selon la nécessité, on les enlève individuellement pour retirer 1 ou 2 creusets du four. On charge les creusets, après les avoir placés dans le four, en employant le chargeur généralement employé pour cet usage.

Production et prix du four. — Comme nous l'avons vu, on peut, en travaillant continuellement depuis six heures du matin le lundi, jusqu'au samedi matin à neuf heures, faire par semaine une moyenne de 34 chauffés si l'on fond de l'acier ordinaire.

En employant des creusets ayant une contenance de 34 kilogrammes, le rendement hebdomadaire total d'un four ayant 3 laboratoires de fusion renfermant chacun 5 creusets, sera d'environ 17 tonnes.

Le prix d'un tel four, sans le gazogène, sera d'environ 22 500 francs.

Pour obtenir 25 tonnes d'acier par semaine, il faudra employer un four ayant 5 laboratoires de fusion, et coûtant approximativement, y compris le gazogène, la cheminée, les valves, les carnaux et les fondations, 50 000 francs. D'où

Amortissements (10 p. 100)	5 000 fr.
Intérêts (5 p. 100)	2 500 —
Total	7 500 fr.

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier fondu

$$= \frac{7500}{1200} = 6,25 \text{ fr.}$$

Prix de revient (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — Le remplacement, chaque semaine, de la sole en poussier de coke, est à peu près toute la réparation à faire durant une période de marche de douze mois. Les réparations totales annuelles au four et au gazogène, y compris le remplacement hebdomadaire de la sole est approximativement de 6,93 fr. par tonne d'acier fondu.

Prix du combustible. — Pour faire des aciers à outils ou des aciers de qualité supérieure, la consommation de coke varie de 1 370 kilogrammes à 1 780 kilogrammes par tonne d'acier fondu, tandis que pour faire les mêmes aciers dans le four Huntsman, la consommation de coke atteint 2 540 kilogrammes. La consommation de coke pour la fabrication des aciers du type que nous considérons ici, varie de 1 016 kilogrammes à 1 270 kilogrammes et en supposant que le prix de la houille soit de 12,60 fr. la dépense en coke par tonne d'acier fondu, sera approximativement de 15,12 fr.

Prix des creusets. — En les manipulant avec soin, les creusets en plombagine de bonne qualité, peuvent supporter une moyenne de 15 chauffés si l'on y fond des scraps d'acier et de fonte pour faire des moulages en acier. Le prix du creuset étant de 12 francs, la dépense sera d'environ 24 francs par tonne d'acier fondu.

Prix de la main-d'œuvre. — Chaque équipe se compose du personnel suivant :

	ÉQUIPE DE JOUR	ÉQUIPE DE NUIT
1 homme au gazogène	6,30 fr.	8,19 fr.
1 fondeur	9,45 —	11,54 —
2 défourneurs à 8,19 fr. chaque	16,38 —	18,90 —
3 manœuvres à 6,30 fr. chaque	18,90 —	22,68 —
	<u>51,03 fr.</u>	<u>61,11 fr.</u>

Salaires hebdomadaire total : 612,21 fr.

En ajoutant 100 p. 100 représentant les salaires du contremaître, du chimiste et du directeur, ce salaire hebdomadaire total s'élève à 1 224,42 fr, d'où :

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier fondu : $\frac{1\ 224,42}{25} = 48,97$ fr.

Prix des matières premières. — Comme pour nos autres calculs, nous admettrons le prix de 104,55 fr. comme représentant le prix des matières premières, employées pour la production d'une tonne d'acier.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix du four : 50 000 francs.

Amortissements et intérêts	6,25 fr.
Entretien	6,93 —
Combustibles	15,12 —
Creusets	24,00 —
Main-d'œuvre	48,97 —
Matières premières	104,55 —
Dépenses totales par tonne d'acier.	<u>205,82 fr.</u>

CHAPITRE IX

FOURS A ACIER AU CREUSET. — PRATIQUE AMÉRICAINE

Les fours à acier au creuset, sont employés en Amérique, pour fondre les matériaux de toutes sortes destinés à faire ces petits moulages d'acier plus ou moins compliqués, qu'il serait difficile et coûteux de faire par tout autre procédé. Ils sont également employés pour la fabrication de l'acier destiné à l'artillerie tels que les canons et les projectiles, pour faire certains alliages d'acier employés dans la construction de l'automobile et pour faire les pièces, de certaines machines, soumises à l'usure. Dans tous les cas, on peut dire que les fours à creusets sont pour la plupart employés à la fabrication de toutes les classes d'acier à outils.

Fours chauffés au gaz.

De tous les fours chauffés au gaz employés en Amérique, celui décrit et représenté page 112 n'est pas le moins employé. Dans les grandes installations, on emploie régulièrement des fours qui peuvent contenir 30, 50 et 60 creusets. Nous donnons ci-dessous la description d'un type de four de 50 creusets.

Description du four. — Le laboratoire d'un four contenant 50 creusets est divisé en 8 compartiments. Le compartiment placé à chaque extrémité peut contenir 8 creusets, et les 6 autres compartiments peuvent contenir chacun 6 creusets. Quoique le four puisse contenir 52 creusets, on n'en emploie que 50 chaque fois ; l'espace libre étant occupé par les poches de coulée. Le laboratoire est continu, mais porte à la partie supérieure, des arches de séparation qui arrêtent le courant de gaz durant son passage dans le four. Cette conception est utile, car elle permet d'obliger les gaz à parcourir plus complètement le four, au lieu de se rendre directement dans le régénérateur et de là dans la cheminée. Chaque vingt minutes, on renverse le sens de la marche du gaz, de sorte que l'on peut chauffer complètement et uniformément le four. Chaque compartiment est fermé au moyen d'un châssis garni de briques en silice. Les compartiments placés à chaque extrémité sont munis chacun de quatre couvercles, un pour deux creusets. Les autres compartiments sont équipés de la même façon, le tout étant placé au niveau du sol. Au-dessus de la rangée des couvercles il y a un rail aérien, auquel se trouve suspendu à l'extrémité

d'une chaîne une barre de levage. Au moyen de cette barre un homme peut enlever et replacer les couvercles du four. Sur le côté du laboratoire, sont placés les moules à lingots, et un dispositif spécial permet de verser dans ceux-ci le contenu du creuset ou dans une poche, suivant les nécessités du service.

Fonctionnement du four. — Le four travaille continuellement du lundi matin au samedi après-midi. Le nombre moyen des chauffes est de 6 par vingt-quatre heures, soit 33 chauffes par semaine. Il serait possible d'augmenter ce rendement, mais le four en souffrirait tellement qu'on ne réaliserait aucune économie.

Les matériaux employés pour la charge sont pesés dans une salle placée à proximité du four, ils sont placés sur les plateaux de trucs légers que l'on roule jusque dans la salle du four. Tandis qu'un homme maintient le creuset avec une pince, un autre le remplit avec le contenu du plateau, au moyen d'un remplisseur s'adaptant sur les bords du creuset.

Ce changement se fait rapidement et avec soin, car les matériaux sont convenablement emballés. Les creusets contiennent environ 46 kilogrammes et sont fermés au moyen d'un couvercle en argile.

La fusion se fait de la façon habituelle, chaque chauffe durant de trois à quatre heures. Lorsque la fusion est terminée, on enlève un des couvercles du four démasquant seulement deux creusets à la fois. Le défourneur les retire au moyen d'une pince à creusets et verse le contenu dans les moules à lingots ou dans une poche. On examine immédiatement le creuset et on enlève les scories avant de le donner au « remplisseur ». Dans cette opération on ne perd pas de temps, chaque ouvrier connaissant son travail et l'exécutant avec précision.

Production et prix du four. — On estime que le prix du four est de 175 000 francs. Il peut produire 74 tonnes par semaine, soit 3 552 tonnes par année de 48 semaines de travail. Avec une aussi grande production, les frais d'amortissements et d'intérêts sont beaucoup plus faibles que ceux qui frappent les fours chauffés au gaz de plus petite production.

Prix de revient (par tonne d'acier liquide pour les moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — Howe¹ dit que « les fours à gaz américains, sont réparés environ tous les six mois, pour la somme d'environ 1 800 francs, dans le cas d'un four de 60 creusets ». En dehors des réparations hebdomadaires qui consistent à remplacer certaines pièces et à renouveler la sole en coke, les dépenses sont à peu près celles indiquées par Howe sur ce sujet. Un four pourra quelquefois marcher pendant neuf mois, mais ce fait est tout à fait exceptionnel, la durée normale de marche étant de six mois.

La production du four décrit par Howe, est d'environ 1 600 tonnes pour une campagne de six mois et les frais d'entretien s'élèvent à 1 823 francs.

¹ Howe, *Metallurgy of Steel*, p. 302.

Les frais d'entretien par tonne d'acier fondu sont donc approximativement de 12,50 fr.

Lorsque l'on arrête le four pour le reconstruire, le temps nécessaire pour la construction ne dépasse généralement pas plus de deux à trois jours, mais il faut de dix à douze jours pour le rechauffer. On utilise des briques en silice pour construire le laboratoire.

Les frais d'entretien ci-dessus, ne peuvent être comparés avec les frais d'entretien des fours à gaz, indiqués au Chapitre VIII, qui comprennent les frais de réparation des soles en coke, et les frais hebdomadaires d'entretien du four et de nettoyage du gazogène. Toutefois, le plus grand rendement en acier des fours américains en question, abaisse fortement les frais d'entretien par tonne de métal. En supposant que les frais hebdomadaires d'entretien s'élèvent à 1,89 fr. de la tonne, les dépenses totales d'entretien seront de 2,94 fr. par tonne d'acier fondu.

Prix du combustible. — Dans les grands fours, la dépense en combustible par tonne d'acier est plus petite, pour la même sorte de métal, que dans les fours plus petits. La consommation moyenne de coke aux gazogènes, par tonne d'acier fondu, pour un four contenant 50 creusets de 45 kilogrammes est d'environ de 540 kilogrammes et dans certains cas elle descend à 385 kilogrammes — chiffre très intéressant pour le travail du four à creusets.

En admettant que la houille soit à 12,60 fr. prix supérieur au prix moyen de la houille dans certaines régions des États-Unis, la dépense en combustible par tonne d'acier fondu sera approximativement de 6,93 fr.

Le poids de houille menue consommée, pour fondre à Pittsburg¹ 462 kilogrammes de métal, dans les fours à creusets chauffés au gaz est de 453 kilogrammes, soit approximativement une tonne de houille par tonne d'acier.

Prix des creusets. — Aux États-Unis, on emploie généralement des creusets en plombagine d'une contenance de 45 kilogrammes et coûtant 17,64 fr. pièce. Avant de les employer, on les badigeonne entièrement avec un enduit à base de silice, pour éviter l'absorption par l'acier du carbone du creuset. Chaque creuset peut supporter une moyenne de 7 chauffes, ce qui correspond à une production de 315 kilogrammes d'acier. Comme il faut approximativement 3,2 creusets par tonne d'acier, la dépense moyenne en creusets est de 56,53 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — Pour le service d'un four, l'équipe se compose du personnel suivant :

- Trois défourneurs ;
- Deux fondeurs ;
- Deux mouleurs ;
- Un ouvrier pour la manœuvre des couvercles ;
- Un ouvrier au gazogène ;
- Un alimenteur en houille.

¹ Howe, *Metallurgy of Steel*, p. 310.

Un certain nombre de ces ouvriers travaillent aux pièces comme par exemple les défourneurs qui ont 0,40 fr. par creuset retiré du four. D'autres sont payés à la journée. Ils sont payés par le fondeur, qui prélève par tonne fondue, un prix fixe indiqué par contrat.

Pour éviter toute erreur, il est prudent de considérer le prix moyen de la main-d'œuvre, y compris les salaires du directeur et du chimiste comme s'élevant à 50 francs par tonne d'acier fondu.

Prix des matières premières. — Pour faciliter la comparaison nous admettrons, comme dans les cas précédents, que le prix des matières premières employées pour faire les moulages ordinaires, s'élève à 104,55 fr. par tonne.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix du four : 175 000 francs.	
Amortissements et intérêts	7,50 fr.
Entretien	2,94 —
Combustible	6,93 —
Creusets	56,53 —
Main-d'œuvre	50,00 —
Matières premières (y compris additions et pertes) .	104,55 —
Prix approximatif (total par tonne d'acier fondu.	228,45 fr.

Fours chauffés aux huiles lourdes.

L'emploi comme combustible, du gaz naturel, pour la fusion de l'acier dans les fours à creusets, constitue un avantage marqué sur l'emploi du coke dans les fours chauffés au coke, en ce sens que les huiles lourdes et les gaz naturels ne peuvent introduire du soufre dans l'acier pendant la fusion.

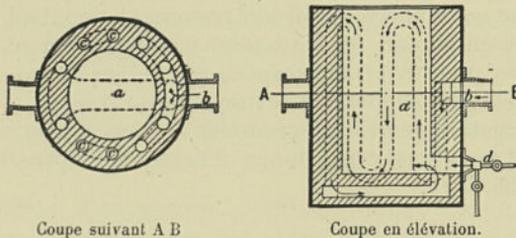


Fig. 42. — Four à creusets oscillant chauffé aux huiles lourdes.

a, laboratoire. — *b*, entrée de l'air. — *c*, passage de l'air.
d, jet d'huile.

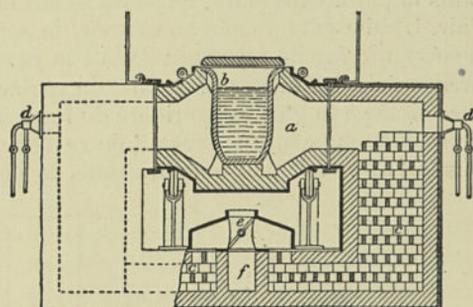
Description du four.

— Il existe plusieurs types de fours à creusets chauffés au pétrole et certains de ceux-ci, se composent d'un simple laboratoire, facilement transportable, et pouvant contenir un seul creuset. La figure 42 représente l'un de ces types. La figure 43, représente éga-

lement un four analogue, avec un creuset disposé d'une façon telle, que l'on puisse le vider en faisant basculer le four. Ces fours conviennent surtout aux métaux ayant un point de fusion plus bas que celui de l'acier, ou pour fondre les ferro-alliages employés pour modifier physiquement l'acier fabriqué en grande quantité dans d'autres fours.

Le premier système de four chauffé aux huiles lourdes, employé aux Etats-Unis, est représenté par la figure 44 et est connu sous le nom de four Nobel. Des trois laboratoires séparés et vus en coupe, les deux premiers servaient primitivement à la fusion proprement dite, tandis que le troisième était employé au chauffage préalable des creusets. Mais on a constaté que dans le second laboratoire, la fusion ne se faisait pas dans les conditions voulues, de sorte qu'on l'a affecté au séchage des creusets, le troisième laboratoire servant à l'observation des flammes et par suite à la surveillance de la marche du four. Le conduit placé au-dessous du four, servait au passage des flammes lorsque l'on procédait au vidage des creusets. Ce dispositif n'était pas très heureux, aussi fut-il abandonné dans les fours modernes chauffés aux huiles lourdes.

Le type de four à creusets chauffé aux huiles lourdes, et qui fait con-



Coupe partielle en élévation.

Fig. 43. — Four oscillant chauffé aux huiles lourdes avec régénérateurs.

a, laboratoire. — *b*, creuset. — *cc*, régénérateurs à air. — *dd*, jets d'huile. — *e*, valve à renversement. — *f*, cheminée.

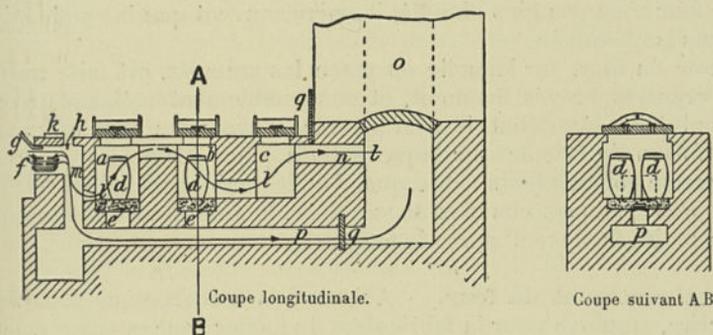


Fig. 44. — Four à creusets Nobel à combustible liquide.

a, laboratoire. — *b*, chambre de chauffage. — *c*, chambre d'observation. — *dd*, creusets. — *ee*, sole en coke. — *f*, bacs à huile. — *g*, tube d'arrivée de l'huile. — *h*, entrée d'air. — *k*, registre de réglage d'entrée d'air. — *lll*, direction suivie par le gaz dans le four. — *m*, chambre de combustion. — *n*, sortie du gaz. — *o*, cheminée. — *p*, passage détourné du gaz. — *qq*, registres.

currence aux fours chauffés au coke ou au gaz, pour la fabrication de l'acier destiné aux petits moulages, est représenté par la figure 45. Le laboratoire dans lequel on place les creusets est de forme rectangulaire et peut contenir à la fois de 6 à 8 creusets. La conception en est simple et lorsque le laboratoire est recouvert de son couvercle il ressemble, en quelque sorte, à une boîte ayant dans la partie inférieure, une ouverture pour l'entrée des flammes et une autre pour leur sortie dans la cheminée. En faisant ces ouvertures dans le fond, on oblige les flammes à lécher la

partie inférieure des creusets qui demande toujours le plus de chaleur.

La flamme se produit dans une petite chambre de combustion, percée dans la paroi extérieure, au sommet de laquelle on fait arriver l'huile et l'air. L'huile est amenée au moyen de petits tuyaux dans des bacs disposés en forme de rayons et fixés à la paroi sur le côté de laquelle on fait arriver l'air. Un dispositif permet de régler l'admission d'air dans l'ouverture située à la partie supérieure du four, ouverture qui peut être modifiée au moyen d'une brique servant de registre. A la mise en marche, la combustion ne se fait pas toujours dans la chambre de combustion, et tant

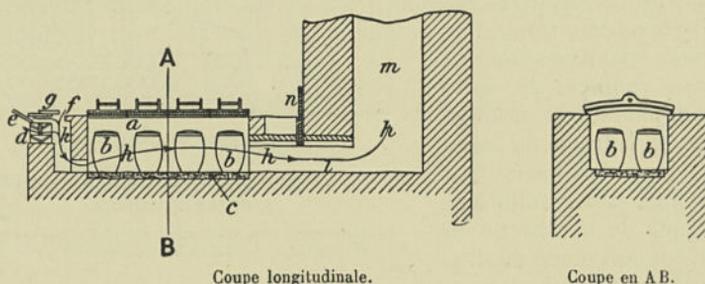


Fig. 45. — Four à creusets à combustible liquide, type Nobel perfectionné.

a, laboratoire. — *bb*, creusets. — *c*, sole en coke. — *d*, bacs à huile. — *e*, tube d'arrivée d'huile. — *f*, arrivée de l'air. — *g*, registre de réglage de l'air. — *hhh*, direction des gaz dans le four. — *k*, chambre de combustion. — *l*, sorties des gaz. — *m*, cheminée. — *n*, registre.

que le four n'est pas bien chauffé, il arrive souvent que la combustion se fait dans la cheminée.

La sole du four, sur laquelle on place les creusets, est faite avec des vieux creusets broyés finement, et convenablement mélangés avec du coke pulvérisé. Au début, il n'est pas rare d'avoir des ennuis provoqués par la fusion de la sole sur laquelle on a placé les creusets, de sorte qu'elle reste collée à leurs fonds, quand on les retire pour les vider. Cependant, après quelques chauffes successives, la sole devient plus dure et adhère moins facilement après le fond des creusets.

Fonctionnement du four. — Avec le four moderne que nous venons de décrire, employé pour la fabrication de l'acier pour moulages, on travaille habituellement de douze à quinze heures par jour, en laissant le four au repos durant la nuit. Cette façon de procéder est très nuisible à la conservation des matériaux réfractaires qui servent à la construction du laboratoire, par suite des dilatations et des retraites qu'ils doivent supporter. Par suite de cette méthode intermittente de travail du four, on a constaté qu'il était plus économique de faire le revêtement avec des briques réfractaires de préférence aux briques de silice, celles-ci éclatant plus facilement sous l'influence des irrégularités de températures auxquelles on les soumet.

Les creusets que l'on emploie chaque jour pour la première chauffe, sont placés la veille au soir dans le four, que l'on allume vers 3 heures du matin. Entre 6 heures 30' et 7 heures du matin les quatre creusets les plus rapprochés de la chambre de combustion sont prêts à être coulés.

Après avoir enlevé le couvercle du four, on examine le contenu des creusets, par l'ouverture pratiquée dans le couvercle.

Si l'on doit faire des additions, celles-ci sont ajoutées avant de retirer les creusets du four. Le « vidage » se fait de la façon habituelle : après avoir enlevé le couvercle du creuset, le métal est décrassé et on y ajoute un petit morceau d'aluminium qui remplit le même rôle que la période de repos qui avait pour but autrefois de « tuer le métal ». La quantité d'aluminium à ajouter est toujours très faible afin d'éviter les ennuis qui pourraient résulter de sa présence dans le métal fini.

Lorsque le contenu du métal a été versé dans les moules, les quatre creusets qui sont à l'arrière du four sont ramenés en avant et remplacés par quatre autres, tout préparés, et l'on continue ainsi la fusion jusqu'au moment où il faut arrêter le four pour le réparer c'est-à-dire toutes les deux semaines. En employant 4 creusets pour chaque chauffe l'on peut faire, en douze heures avec ce four, de 6 à 7 chauffes.

Rendement et prix du four. — Avec le vieux type de four employé à Milwaukee Crucible Steel Foundry¹, on peut fondre chaque jour 14 charges d'acier dans des creusets contenant chacun 38 kilogrammes de métal, en employant 770 litres d'huile soit 1 430 litres d'huile par tonne d'acier. Avec le four moderne, employé dans les mêmes usines, on peut fondre la charge de 24 creusets contenant chacun 38 kilogrammes de métal avec une consommation de 610 litres d'huile, soit 668 litres par tonne d'acier.

Dans la même localité, il existe une fonderie moderne au creuset, qui utilise dans le même type de four, des creusets contenant 80 kilogrammes de métal².

En supposant que l'on veuille produire 25 tonnes d'acier par semaine, il faudra installer 5 fours du type décrit et représenté par la figure 45, qui produiraient journellement 925 kilogrammes d'acier chacun, soit un peu plus de 25 tonnes par semaine de 6 jours de travail. Chaque four coûtant approximativement 3 750 francs, la dépense totale pour les 5 fours y compris la cheminée sera de 18 750 francs.

En admettant un amortissement habituel de 10 p. 100 et 5 p. 100 d'intérêt du capital engagé, nous avons :

Amortissement annuel (10 p. 100)	1 875,00 fr.
Intérêts (5 p. 100).	937,50 —
Total.	2 812,50 fr.

Comme on est obligé d'arrêter souvent les fours pour les réparer, ils ne travaillent guère plus de 45 semaines par année. La production annuelle ne sera donc que de 1 125 tonnes de sorte que les frais d'amortissements et d'intérêts annuels seront de

$$\frac{2812,50}{1125} = 2,50 \text{ fr.}$$

¹ *The Foundry*, vol. XXXVI, p. 130.

² *Giesserei-Zeitung*, vol. VII, pp. 103-108.

Prix de revient (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Prix d'entretien. — D'après Howe¹, le four Nobel peut fonctionner sans arrêt pendant environ dix-huit jours, la période la plus longue de marche constatée en Amérique ayant été de vingt-sept jours. D'après Carl Smerling² la durée de marche d'un four de ce type ne dépasse pas seize jours, après quoi il faut l'arrêter pour remplacer les parois et les arches.

Le prix des réparations, après vingt jours de marche, est d'environ de 200 francs, comme durant cette période on a fabriqué 18 tonnes d'acier, il s'en suit que le prix d'entretien par tonne d'acier est de 11,12 fr. environ.

Prix du combustible. — La valeur de celui-ci varie selon les prix du marché des huiles, mais la consommation par tonne d'acier est à peu près constante. En admettant une consommation de 1 180 litres par tonne à 0,06 fr. le litre, la dépense en combustible est d'environ 71 francs. Ce prix semble excessif, mais il est confirmé par Howe³ qui a montré qu'il faut employer 40 kilogrammes d'huile à 0,05 fr. le litre pour fondre 35 kilogrammes de métal dans un four à creusets chauffé à l'huile. Ceci équivaut à une dépense de 70 francs par tonne d'acier.

On a essayé d'utiliser les huiles lourdes de refus, coûtant 2,5 à 3 centimes le gallon, mais par suite de la pauvreté de la flamme produite et de l'encrassage des bacs, nécessitant pour leur nettoyage une main-d'œuvre supplémentaire, on perd de 20 à 30 p. 100 de combustible.

La dépense en combustible par tonne d'acier était alors de 68,75 fr.

Prix des creusets. — Les creusets sont l'objet de conditions très sévères car la rapidité de la fusion, comparée à celle des fours chauffés au gaz, accélère la destruction des creusets. Dans une des fonderies d'acier du Milwaukee, chaque creuset en plombagine peut supporter 4 à 5 chauffes, « mais pour arriver à ce résultat, ils (les creusets) doivent être badigeonnés entièrement avec un mélange d'argile et de vieux creusets pulvérisés »⁴.

Dans d'autres fonderies de la région les « creusets pouvaient supporter une moyenne de 7 à 8 charges⁵ ». Ces deux assertions n'ont rien d'extraordinaire, car les conditions de travail, la composition des charges, la qualité des creusets ont une influence marquée sur leur durée. On rencontre en Angleterre, des différences aussi grandes, sur la durée des creusets dans lesquels on fabrique l'acier pour moulages. En considérant comme étant égal à 6 le chiffre moyen de chauffes qu'un creuset peut supporter, la capacité du creuset étant de 38 kilogrammes, la production en acier d'un creuset sera donc de $38 \times 6 = 228$ kilogrammes. Le nombre des creusets

¹ Howe, *Metallurgy of Steel*, p. 302.

² *The Foundry*, vol. XXXVI, p. 130.

³ Howe, *Metallurgy of Steel*, p. 310.

⁴ *The Foundry*, vol. XXXVI, pp. 130-132.

⁵ *Giesserei-Zeitung*, vol. VII, p. 403.

qu'il faut employer pour produire une tonne d'acier étant de 4,4 en admettant que chaque creuset coûte 15 francs la dépense en creusets, par tonne d'acier, sera donc de 66 francs.

Prix de la main-d'œuvre. — Le nombre approximatif des hommes nécessaires est le suivant :

- 1 fondeur ;
- 3 défourneurs ;
- 8 manœuvres.

Le prix de la main-d'œuvre varie considérablement, aussi est-il difficile de donner les chiffres, même approximatifs, des salaires de chacun d'eux. En y comprenant les salaires pour la surveillance, le chimiste et le directeur, le prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier est approximativement de 52,96 fr.

Prix des matières premières. — Pour permettre la comparaison, nous prendrons pour prix des matières premières le chiffre de 104,55 fr. que nous avons admis dans les cas précédents.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix des fours : 18 750 francs.

Amortissement et intérêts	2,50 fr.
Entretien	11,12 —
Combustible	68,75 —
Creusets	66,00 —
Main-d'œuvre	52,96 —
Matières premières (y compris additions et pertes).	<u>104,55 —</u>
Prix total par tonne d'acier liquide	305,88 fr.

CHAPITRE X

PRIX DE L'ACIER AU CREUSET POUR LES ACIERS A OUTILS AU CARBONE ET LES ACIERS A OUTILS A COUPE RAPIDE

L'acier à outils au carbone et les aciers à outils à coupe rapide, peuvent être fabriqués dans n'importe lequel des fours décrits dans les chapitres précédents relatifs à la fabrication de l'acier au creuset. Il est peut-être d'usage, tout au moins en Angleterre, de fabriquer ces sortes d'acier dans les fours chauffés au coke, quoiqu'il y aurait moins de soufre absorbé par l'acier, si l'on utilisait les fours chauffés au gaz, fait qui doit être pris en considération lorsque l'on fabrique les aciers d'excellente qualité.

La plupart des usiniers qui emploient les fours chauffés au coke, les préfèrent à ceux chauffés au gaz, car on peut y faire plus facilement de petites quantités d'acier de différentes « trempes » ou de catégories différentes, car ces fours sont munis de laboratoires où le nombre des catégories que l'on peut produire d'une seule fois est beaucoup plus limité qu'avec les fours chauffés au gaz, puisque les uns renferment 5 ou 6 creusets dans un laboratoire, tandis que les autres peuvent contenir de 50 à 60 creusets.

Pour fondre les charges pour les aciers à outils, on emploie, d'une façon générale, des creusets de faible capacité car il faut plus de temps pour la fusion et le finissage que quand on fond des charges de scraps d'acier doux et de fonte.

Fonctionnement du four. — Pour fabriquer les aciers à outils, il n'est nullement nécessaire de modifier la marche suivie lorsque l'on fabrique de l'acier ordinaire. Cependant, il faut prendre beaucoup plus de soins pour le chargement du coke et pour la manipulation des creusets, afin d'éviter autant que possible les risques de perdre une charge.

Production et prix du four. — La capacité moyenne des creusets employés, pour la fabrication des aciers à outils au carbone et à coupe rapide, est d'environ 25 kilogrammes et comme dans le four ordinaire du type Huntsman, on ne peut mettre chaque fois que 2 creusets dans le laboratoire, on produit donc par chauffe 50 kilogrammes d'acier. Pour produire 25 tonnes d'acier par semaine, en travaillant sans arrêt depuis le lundi matin jusqu'au samedi matin, il faudra disposer de 16 laboratoires faisant 3 chauffes par tournée, soit 33 chauffes par semaine.

Le prix approximatif du four étant de 30 000 francs, on aura :

Amortissement (10 p. 100)	3 000 fr.
Intérêts du capital (5 p. 100)	1 500 —
Total	<u>4 500 fr.</u>

D'où :

Frais d'amortissement et d'intérêts par tonne d'acier fondu

$$= \frac{4\,500}{1\,200} = 3,75 \text{ fr.}$$

Prix de revient (par tonne d'acier liquide).

Prix d'entretien. — Le prix d'entretien annuel par tonne d'acier est approximativement de 5,98 fr. pour un four Huntsman de 16 laboratoires. Ce prix comprend les dépenses en main-d'œuvre et en matériaux réfractaires employés au revêtement, faites de temps en temps, aux laboratoires, et à la reconstruction des arches et des carnaux lorsque la réparation générale annuelle s'impose.

Prix du combustible. — Il est nécessaire d'employer du coke bien lavé, exempt de soufre autant que possible, pour éviter toute contamination de l'acier fondu. Le soufre s'introduisant dans le métal fondu, même quand le creuset est fermé, il est donc de toute nécessité d'employer un combustible pur.

Comme la durée moyenne de fusion et de finissage de chaque chauffe est plus longue que pour l'acier ordinaire, et que d'autre part la charge est plus faible, il s'en suit que la quantité de coke consommée par tonne est plus grande.

Selon la qualité de l'acier fabriqué, il faut de 2,5 à 3,5 t. de coke par tonne d'acier. Admettons que la quantité de coke nécessaire pour la production de l'acier à outils au carbone soit de 3 tonnes par tonne de métal, si le prix du coke employé est de 35,30 fr. la tonne, la dépense en combustible par tonne d'acier sera de 105,92 fr. Pour les aciers à outils à coupe rapide, il faut 3,5 t. par tonne d'acier, la dépense en combustible sera donc de 123,58 fr.

Prix des creusets. — Toutes les fois que l'on peut se procurer de bons creusets d'argile, il est d'usage de les utiliser pour la fusion des matériaux destinés à la fabrication des aciers à outils au carbone et des aciers à outils à coupe rapide. On peut aussi les faire fabriquer par des ouvriers expérimentés, car pour la fabrication de ces sortes d'aciers, la plupart des usines trouvent que ces creusets sont d'un emploi plus économique que ceux en plombagine. D'une façon générale, ces creusets ne peuvent supporter que 3 chauffes (les 3 chauffes donnant respectivement environ 32, 25 et 18 kilogrammes d'acier), mais ils ne coûtent que 1,26 fr. à 2,52 fr. chacun, si l'on dispose pour les fabriquer d'une installation moderne.

En admettant que le prix de chaque creuset soit de 1,26 fr., la dépense par tonne d'acier sera de 17 francs.

Prix de la main-d'œuvre. — Le nombre des ouvriers employés et les salaires payés sont les suivants :

	ÉQUIPE DE JOUR	ÉQUIPE DE NUIT
Un fondeur	9,45 fr.	11,36 fr.
Trois défourneurs à 8,19 fr.	24,57 —	28,37 —
Trois alimenteurs de coke à 6,30 fr.	18,90 —	22,70 —
Un manœuvre.	6,30 —	7,56 —
Un gamin dans la cave.	3,78 —	4,41 —
Total.	63,00 fr.	Total . 74,40 fr.

En travaillant 6 jours et 5 nuits, le salaire hebdomadaire sera de 750,00 fr.

En ajoutant 100 p. 100 à ce chiffre, pour représenter les salaires des contremaîtres, du chimiste et du directeur, la dépense totale de main-d'œuvre sera par semaine de 1 500,00 fr., d'où l'on a :

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide

$$= \frac{1\ 500,00}{25} = 60,00 \text{ fr.}$$

Prix des matières premières. — C'est sous ce paragraphe, que le prix de production varie plus, que dans tout autre chapitre du prix de revient. On emploie, pour la fabrication des aciers à coupe rapide, de si nombreuses sortes d'alliages d'acier, dont les prix sont si élevés, que le prix d'un alliage spécial d'acier, est parfois 4 à 8 fois plus élevé, que celui d'un acier ordinaire au carbone pour outils tranchants.

Les aciers à outils peuvent se diviser en deux classes distinctes :

- 1° Les aciers au carbone ;
- 2° Les alliages d'acier.

Les matières premières, employées pour chacune de ces classes, doivent être, autant que possible, exemptes de soufre et de phosphore. Pour la classe (1) on ne fait que de petites additions de ferro-alliages en même temps que l'on y ajoute la quantité suffisante d'aluminium pour purifier l'acier liquide. Pour les aciers à outils de la classe (2) les alliages coûteux constituent une partie de la charge, ce qui élève par conséquent le prix de l'acier obtenu.

Les charges que nous indiquons ci-dessous, ne doivent être considérées que comme des types pouvant subir de nombreuses variations, comme on le remarquera lors de l'étude des diverses charges et des analyses des aciers à outils au carbone et des aciers à coupe rapide données au Chapitre XI qui comprend l'étude des matériaux employés dans la fabrication des aciers au creuset.

1. *Acier à outils au carbone.*

Charge pour 45 kilogrammes d'acier liquide obtenu :

27 kilogrammes de fer suédois extra (coupé en barres) à 16,40 fr. les 50,80 kg	8,82 fr.
19 kilogrammes de scraps d'acier à outils au carbone à 12,62 fr. les 50,80 kg	4,72 —
Additions de ferro-silicium, d'aluminium et de carbone selon la trempe désirée	1,62 —
Prix pour 45 kilogrammes d'acier liquide . .	<u>15,16 fr.</u>

Prix approximatif des matières premières par tonne d'acier liquide
= 331,95 fr.

2 (a). *Acier à outils à coupe rapide.*

Charge pour 45 kilogrammes d'acier liquide obtenu :

37 kilogrammes de fer suédois extra (coupé en barres) à 16,40 fr. les 50,800 kg.	11,99 fr.
5,900 kg. de poudre de tungstène (à 96-98 p. 100 de tungstène) à 3,52 fr. les 0,453 kg.	45,77 —
2,270 kg. de ferro-chrome (à 60 p. 100 de chrome) à 23,96 fr. les 50,800 kg.	1,05 —
1,800 kg. de ferro-molybdène (à 80 p. 100 de Mo) à 6,30 fr. les 0,453 kg.	<u>25,22 —</u>
Prix pour 45 kilogrammes d'acier liquide . .	84,03 fr.

Prix approximatif des matières premières par tonne d'acier liquide
= 1 881,94 fr.

2 (b). *Acier à outils à coupe rapide.*

Charge pour 45 kilogrammes d'acier liquide obtenu :

34 kilogrammes de fer suédois extra (coupé en barres) à 16,40 fr. les 50,800 kg.	10,92 fr.
7,400 kg. de poudre de tungstène (à 96-98 p. 100 de tungstène) à 3,52 fr. les 0,453 kg.	65,05 —
0,453 kg. de ferro-vanadium (à 35-40 p. 100 de V) à 22,07 fr. les 0,453 kg. de V.	7,56 —
3,600 kg. de ferro-chrome (à 60 p. 100 de chrome) à 23,96 fr. les 50,800 kg.	<u>1,68 —</u>
Prix pour 45 kilogrammes d'acier liquide . .	85,21 fr.

Prix approximatif des matières premières par tonne d'acier liquide
= 1 909,05 fr.

2 (c) *Acier à outils à coupe rapide.*

Charge pour 45 kilogrammes d'acier liquide obtenu :

25 kilogrammes de fer Suédois extra (coupé en barres) à 16,40 fr. les 50,800 kg.	8,08 fr.
12 kilogrammes de poudre de tungstène (à 96-98 p. 100 de tungstène) à 3,52 fr. les 0,453 kg.	91,53 —
5,400 kg. de ferro-chrome (60 p. 100 de chrome) à 23,96 fr. les 50,800 kg.	2,52 —
4,300 kg. de ferro-molybdène (80 p. 100 de Mo) à 6,30 fr. les 0,453 kg.	59,89 —
0,453 kg. de ferro-vanadium à 35-40 p. 100 de V) à 22,07 fr. les 0,452 kg. de V	7,56 —
Prix pour 45 kilogrammes d'acier liquide.	169,58 fr.

Prix approximatif des matières premières par tonne d'acier liquide
= 3 799,19 fr.

RÉSUMÉ DES PRIX DE REVIENT

	ACIERS A OUTILS au carbone.		ACIERS A OUTILS à coupe rapide.	
	1 francs.	2 (a) francs.	2 (b) francs.	2 (c) francs.
Amortissements et inté- rêts	3,75	3,75	3,75	3,75
Entretien	5,98	5,98	5,98	5,98
Combustible	105,92	123,58	123,58	123,58
Creusets (en argile)	17,00	17,00	17,00	17,00
Main-d'œuvre	60,00	60,00	60,00	60,00
Matières premières	331,95	1 881,94	1 909,05	3 799,19
Prix par tonne d'acier liquide.	524,60	2 092,25	2 119,36	4 009,50

Comme nous l'avons déjà dit, ces charges peuvent être modifiées, mais les prix ci-dessus donneront néanmoins une idée du prix final d'une barre d'acier à outils, surtout si l'on se rappelle que l'on n'utilise qu'une partie seulement du lingot, et qu'il peut se produire des pertes durant les différents processus que traverse l'acier avant d'arriver au magasin.

CHAPITRE XI

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ AU CREUSET

Emplois de l'acier au creuset. — Avant de donner la composition des charges et les analyses de l'acier employées dans ce procédé, nous pensons qu'il est judicieux de donner un aperçu de l'étendue des emplois de l'acier à creuset. Il est difficile de donner une nomenclature exacte des usages de l'acier fabriqué exclusivement dans le four à creuset, car les aciers fabriqués par les autres procédés (Bessemer, Martin-Siemens et Electrique) sont également employés concurremment à l'acier au creuset. En principe, avant l'introduction des procédés Bessemer et Martin-Siemens, et même encore quelques années après, les gros lingots d'acier tels que ceux employés pour faire les arbres coudés pour machine, les pistons, les tiges de piston, les tiges d'articulations des machines, les essieux, aussi bien que les parties constituantes des locomotives, des machines à vapeur et de la construction étaient faites avec de l'acier au creuset. A cette époque, MM. F. Krupp, d'Essen, employèrent l'acier à creuset pour la fabrication des canons et autre matériel de guerre, le poids des lingots atteignant quelquefois 80 tonnes.

La liste suivante, donne la nomenclature d'un certain nombre d'articles, fabriqués à notre époque avec l'acier au creuset.

En *lingots* pour :

Outils tranchants de toutes sortes tels que ceux employés dans les établissements métallurgiques pour couper l'acier, le fer, le laiton et autres alliages ;

Outils tranchants pour les mines : ciseau, mèches, forets, etc. ;

Outils tranchants de toute espèce tels que ceux employés dans les maisons, outils à travailler le bois et autres matériaux ;

Matrices pour emboutir et poinçonner toutes sortes de métaux en feuille, et pour beaucoup d'industries trop nombreuses à examiner ;

Limes et aiguilles, marteaux, tondeuses à gazon ou faucheuses, moissonneuses et autres instruments agricoles ;

Guerre et artillerie, armes blanches, canons, projectiles, etc. ;

Arbres, pivots, tiges, essieu de toutes sortes de machines simples ou compliquées.

En *moulages* pour :

Pièces simples ou compliquées des machines employées dans toutes les industries par l'entreprise, les automobiles, les aéroplanes ;

Pour la construction de machines ou de pièces de machines employées par les chemins de fer, les mines, la marine, etc.

Matériaux employés dans les charges. — Les charges, pour la fabrication de l'acier au creuset, sont peut-être aussi nombreuses, en composition, que les usages auxquels ils sont destinés. Il est d'usage d'admettre que le creuset ne modifie rien, l'acier étant de qualité équivalente à celui des matériaux employés à le faire, le procédé étant uniquement un procédé de fusion. En réalité, cela n'est pas absolument exact, car dans ce procédé il y a élimination, par oxydation de certaines impuretés, comme dans les autres procédés de fabrication, mais cependant à un degré moindre.

La fabrication de l'acier au creuset demande beaucoup de soins et de connaissances, pour arriver à produire un métal, ayant la teneur en carbone voulue pour l'usage auquel on le destine. M. Seeborn¹ a donné, dans une étude sur l'acier au creuset, une liste classée des emplois des aciers au carbone, basée sur la teneur en carbone qui varie de 1,5 p. 100 (trempe des rasoirs) jusqu'à 0,75 p. 100 (trempe des matrices).

M. J.-M. Gledhill² a donné la nomenclature suivante des outils qu'il considère donner les meilleurs résultats, quand ils contiennent les teneurs suivantes en carbone :

1,3 p. 100 de carbone : —

Petits outils plats ou ronds : vrilles et haches, rasoirs et instruments de chirurgie.

1,15 p. 100 de carbone : —

Gros outils plats, ronds à mortaiser, mèches, vrilles, haches, alésoirs, outils industriels.

0,9 p. 100 de carbone : —

Scies circulaires, alésoirs, tarauds, filières, gros outils de tours, tarières.

0,8 p. 100 de carbone : —

Ciseaux à froid, faucilles, gros tarauds.

0,75 p. 100 de carbone : —

Filières, ciseaux à froid, marteaux, fléaux de balance, mèches de mineurs, outils de forgerons, emporte-pièce, lames de moissonneuses.

0,65 p. 100 de carbone : —

Convient pour mâchoires d'étau, matrices, tranches, marteaux, etc.

Charges employées et analyses. — Les meilleurs aciers à outils, sont généralement fabriqués avec de l'acier poule, spécialement choisi, provenant de la cémentation du fer en barres, d'excellente qualité. Durant de nombreuses années, il ne fut rien employé d'autre pour fabriquer toutes les sortes d'acier au creuset.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1884, II.

² *Engineering Review*, 1904, p. 405.

Cependant, en présence du développement et de la concurrence faite par les autres procédés, on ne tarda pas à reconnaître qu'il était devenu nécessaire d'employer, dans cette fabrication, des matières premières coûtant meilleur marché, par exemple des barres de fer puddlé, contenant suffisamment de carbone pour donner au métal fini les résultats cherchés. Puis, à une époque encore plus rapprochée, on a utilisé pour la fabrication des aciers à outils et autres, le métal provenant des fours Martin-Siemens et du convertisseur Bessemer. En 1884, Sir Henry Bessemer a montré¹ que la moitié au moins, de l'acier au creuset fabriqué à Sheffield, était tout simplement des scraps refondus de métal Bessemer et Martin-Siemens.

A Kapfenberg², centre principal de la fabrication de l'acier au creuset dans les Alpes autrichiennes, la base de la fabrication est la fonte au bois de l'Eisenerz et de Vordernberg, obtenue avec les minerais spathiques de l'Erzberg Styrian, variables en composition et produisant une fonte ayant la composition centésimale suivante :

	1	2
Carbone	3,5	4,20
Silicium	0,11	0,24
Manganèse	0,8	2,40
Phosphore	0,03	0,07
Soufre	—	0,02
Cuivre	—	0,005

L'acier puddlé, fabriqué avec cette fonte, est transformé en barres par le laminage, les barres sont trempées puis cassées et triées avant d'être fondues dans le creusets.

A. Ledebur, a montré qu'à la suite d'une série d'expériences de longue haleine, on a renoncé à ajouter à la charge des creusets, de l'acier doux provenant soit du Bessemer, soit du four Martin. Ceci, naturellement, se rapporte à la fabrication de l'acier à outils.

Selon la pratique américaine, dit Campbell³, il est d'usage d'ajouter du charbon de bois dans le creuset en même temps que le fer, l'absorption du carbone se faisant avec rapidité lorsque le métal est fluide.

Il est cependant hors de doute, que le procédé employé par la plupart des fabricants de Sheffield, qui utilisent de l'acier poule fabriqué avec le fer obtenu d'après le procédé Walloon ou sôle suédoise de Lancashire, au moyen des minerais de fer, pratiquement purs, de Dannemora et de Persberg, leur a permis de conquérir la réputation qu'ils ont acquise dans le monde. La composition de fer suédois⁴, avant cémentation, est la suivante :

C	Si	Mn	P	S
0,04	0,02	0,13	0,01	0,016 p. 100.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1884, II, p. 373.

² *Proceedings Institution of Civil Engineers*, vol. CXXII, p. 470.

³ Campbell, *The Manufacture and Properties of Iron and Steel*, p. 94.

⁴ *Journal of Iron and Steel Institute*, 1908.

Aciers à grande coupe et se trempant d'eux-mêmes. — M. Robert Mushet a remarqué, que si l'on ajoute du tungstène à l'acier au carbone ordinaire, il lui communique de remarquables propriétés de self-trempe.

Becker¹ a donné la composition de l'acier se trempant de lui-même et connu sous le nom de « R. Mushet's Special ». Cette composition est la suivante :

Carbone	2,0 p. 100.
Tungstène	5,0 —
Chrome	0,5 —
Manganèse.	2,5 —
Silicium	1,3 —

Le même auteur a également donné, tableau XLVII, la composition moyenne centésimale de 20 marques d'acier à self-trempe et de 20 marques de bons aciers à grande coupe.

TABLEAU XLVII

Analyse des aciers à outils à grande coupe.

CONSTITUANTS	SELF-TREMPE			GRANDE COUPE			RECOMMANDÉ par Taylor pour couper l'acier au tour.	
	Moyen.	Haut.	Bas.	Moyen.	Haut.	Bas.	1	2
Carbone	1,8	2,4	1,5	0,75	1,28	0,32	0,682	0,674
Tungstène	7,3	11,6	4,5	18,0	25,45	17,81	17,81	18,19
Molybdène	4,58	—	—	3,5	7,6	0,00	—	—
Chrome	1,6	3,4	0,07	4,0	7,2	0,23	5,95	5,47
Vanadium	—	—	—	0,3	0,32	0,00	0,32	0,29
Manganèse.	1,8	3,5	0,08	0,43	0,30	0,03	0,07	0,11
Silicium	0,56	1,04	0,16	0,22	1,34	0,43	0,049	0,043
Phosphore	0,032	0,08	0,016	0,018	0,029	0,013	—	—
Soufre.	0,015	0,05	0,004	0,01	0,016	0,008	—	—

H. Le Châtelier² a donné comme suit, la composition moyenne d'un acier à outils à coupe rapide.

Fer.	83,0 p. 100.
Tungstène.	12,0 —
Chrome.	3,0 —
Molybdène	1,0 —
Carbone	0,5 —
Silicium	0,2 —
Manganèse	0,2 —

Les teneurs en soufre et en phosphore ne sont pas indiquées, mais l'on sait que la quantité de ces deux éléments ne doit pas dépasser 0,02 p. 100

¹ Becker, *High Speed Steel*, p. 46.

² *Revue de Métallurgie*, 1904, p. 334.

quoique l'on ait trouvé à l'analyse, des aciers à coupe rapide dont la teneur en soufre et en phosphore était supérieure à 0,05 p. 100.

Nous donnons ci-dessous la composition analytique des aciers au tungstène fabriqués en Angleterre, en France et en Autriche.

TABLEAU XLVIII
Composition analytique des aciers au tungstène.

	Tu	C	Si	Mn	P	S
Schneider (France)	11,03	2,15	0,26	1,49	0,007	—
Mushet (S. Osborn and Co, Ltd., Sheffield)	9,99	1,24	0,33	1,04	0,04	—
Autres marques anglaises	6,73	2,06	0,05	2,66	—	—
Styrie	6,45	1,2	0,21	0,85	—	—

Les aciers chrome-molybdène, ayant la composition suivante, donnent des résultats très satisfaisants.

	1	2	3
Carbone	0,96	0,85	0,86 p. 100.
Molybdène	3,2	3,2	3,75 —
Chrome	3,0	2,95	3,75 —

Charges pour les aciers à grande coupe.

(1) Pour produire 45 kilogrammes d'acier à outils.

Fer-suédois extra (coupé en barres)	37,180 kg.
Poudre de tungstène (96 à 98 p. 100 de Tu)	5,890 —
Ferro-chrome (60 p. 100 Cr)	2,270 —
Ferro-molybdène (80 p. 100 Mo)	1,820 —

(2) Pour produire 45 kilogrammes d'acier à outils.

Fer suédois extra (coupé en barres)	34,000 kg.
Poudre de tungstène (96 à 98 p. 100 de Tu)	8,390 —
Ferro-vanadium (35 à 40 p. 100 de V)	0,450 —
Ferro-chrome (60 p. 100 Cr)	3,640 —

(3) Pour produire 45 kilogrammes d'acier à outils.

Fer suédois extra (coupé en barres)	24,900 kg.
Poudre de tungstène (96 à 98 p. 100 de Tu)	11,800 —
Ferro-chrome (60 p. 100 de Cr)	5,450 —
Ferro-molybdène (80 p. 100 de Mo)	4,300 —
Ferro-vanadium (35 à 40 p. 100 V)	0,450 —

Dans chaque cas, les additions de ferros se font dans la charge lorsqu'elle est à l'état liquide. D'après les analyses et les charges ci-dessus, il est clair que la composition des aciers à outils à coupe rapide peut varier considérablement.

Aciers à outils au carbone. — Le tableau XLIX donne la liste et l'analyse des nombreux outils fabriqués avec les aciers au carbone. Certains fabricants ont des analyses propres à la catégorie d'acier qu'ils fabriquent. Les compositions analytiques suivantes ne doivent être considérées que comme des types.

TABLEAU XLIX

Composition analytique des aciers à outils au carbone.

LISTE DES OUTILS	CARBONE	SILICIUM	MANGANÈSE	PHOSPHORE	SOUFRE
Outils de petit outillage, mèches, tranches, rasoirs.	1,3 à 1,4	0,01	0,20	0,008	0,01
Outils d'outillage moyen, mèches, tranches, couteaux, ciseaux.	1,0 à 1,15	0,015	0,25	0,012	0,014
Outils de gros outillage, scies circulaires, alésoirs, tarauds et matrices.	0,85 à 0,95	0,015	0,22	0,015	0,015
Ciseaux à froid, tranches à chaud ou à froid, tondeuses à gazon, petits outils de forge, emporte-pièce.	0,70 à 0,80	0,02	0,20	0,015	0,015
Crochets, marteaux, matrices, emboutisseurs et autres outils du même genre	0,55 à 0,65	0,02	0,24	0,02	0,02

Charges pour les aciers à outils au carbone. — Pour obtenir de l'acier à outils au carbone, on peut utiliser des mélanges variés et les trois compositions que nous donnons ci-dessous doivent être seulement considérées comme des types.

(1) Pour produire 45 kilogrammes d'acier.

Fer suédois extra en barres.	27,200 kg.
Scraps d'acier au carbone	18,000 —

Pour obtenir la trempe désirée on fond en même temps ou on ajoute au moment de la fusion un peu de carbone, de ferro-alliages et d'aluminium.

(2) Pour produire 45 kilogrammes d'acier¹.

Fer suédois extra en barres.	20,400 kg.	
Scraps d'acier au carbone	11,340 —	
Morceaux enlevés à l'emporte-pièce.	9,000 —	
Ferraille nettoyée	4,500 —	
Charbon de bois.	2,300 —	
Ferro-chrome. 75 gr.	} Ces métaux sont ajoutés à ceux ci-dessus quand ils sont à l'état de fusion.	
Ferro-manganèse 105,4 —		
Aluminium 14 —		

¹ *The Foundry*, vol. XXXVII, p. 42.

(3) Matériaux employés pour produire 900 kilogrammes d'acier liquide, convenant bien à la fabrication d'un acier à outils de qualité ordinaire¹.

Fonte.	617	kg.
Bouts, chutes, etc.	300	—
Moulages défectueux.	4.500	—
Ferro-alliages	5.400	—
Total	926,900	kg.

Charges pour les moulages en acier. — La composition de l'acier fabriqué par le procédé au creuset et destiné à des moulages en acier, admet encore de plus grandes variations, en composition, que pour les aciers à outils. Les mélanges ou charges, peuvent être entièrement faites d'acier très doux comme, par exemple, les morceaux enlevés à l'emporte-pièce sur les tôles des chaudières, ou de fonte. On peut encore faire des mélanges en diverses proportions et de diverses qualités selon la qualité que l'on veut donner aux moulages. Nous donnons ci-dessous quelques compositions de charges.

(1) Si l'on utilise les morceaux enlevés à l'emporte-pièce sur les tôles des chaudières, on en met 45 kilogrammes à la fois dans le creuset. L'analyse de ces morceaux est la suivante :

$C = 0,15$ p. 100; $Mn = 0,26$ p. 100; $P = 0,05$ p. 100; $S = 0,04$ p. 100.

Lorsque la charge est fondue, on fait les additions suivantes :

Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	0,453	kg.
Ferro-silicium (50 p. 100 Si)	0,453	—
Aluminium pur	14	grammes.

Ces alliages sont cassés en morceaux de la grosseur d'une noisette, et on les introduit dans le métal au moyen d'un tuyau de 5 centimètres de diamètre, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de retirer les creusets du four, car l'ouverture pratiquée dans le couvercle du four et dans le couvercle du creuset permet le passage du tube².

(2) Pour les moulages en acier ordinaire, qui après recuit doivent donner une ténacité de 4¹,650 par centimètre carré et un allongement de 10 p. 100.

Scraps d'acier mélangés	27,200	kg.
Scraps de moulages en acier	5,450	—
Fonte hématite	2,270	—
Aluminium (ajouté après fusion)	14	grammes.

¹ *The American Foundrymen's Association*, vol. XVIII, p. 217.

² *The Foundry*, vol. XXXVII, p. 42.

(3) Pour les moulages ordinaires en acier employés pour les travaux en général et soumis à un recuit prolongé à haute température ¹.

Morceaux provenant de l'emporte-pièce	15,900 kg.
Scraps de fonderie.	4,100 —
Fonte hématite	6,800 —
Ferro-alliages.	0,450 —

(4) Pour les moulages ordinaires en acier. Matériaux pour produire 900 kilogrammes d'acier liquide.

Débris d'acier quelconque (pauvre en phosphore). . .	617,00 kg.
Bouts, chutes, etc.	300,00 —
Moulages défectueux	4,50 —
Ferro-alliages	5,40 —
Total	<u>926,90 kg.</u>

¹ *The American Foundrymen's Association*, vol. XVIII, p. 217.

DEUXIÈME PARTIE
LE PROCÉDÉ BESSEMER

LE PROCÉDE BRESLER

CHAPITRE XII

LE PROCÉDÉ BESSEMER ACIDE

Historique. — L'histoire des luttes, des défaites et des succès, dans le développement du procédé Bessemer, présente toute la fascination d'un roman. Sir Henry Bessemer, dans une lettre autographe qui fut présentée à « l'American Institute of Mining Engineers » par son président d'alors, Sir James Kitson, donnait le résumé graphique, qui l'avait conduit à entreprendre les expériences qui devaient lui faire conquérir une renommée si bien méritée. Etant chargé de faire des essais sur des projectiles dans la forteresse de Vincennes, un officier fit une remarque accidentelle sur le matériel à canons qui attira l'attention de Bessemer. « Cette remarque accidentelle », écrivait Sir Henry, « fut l'étincelle qui devait allumer l'une des plus grandes révolutions industrielles que le siècle actuel devait enregistrer, car durant ma promenade solitaire dans mon cab qui me ramenait le soir de Vincennes à Paris, il me vint à l'esprit d'essayer ce qui améliorerait la qualité du fer employé dans la fabrication des canons.

Ce fut au meeting de Cheltenham de la « British Association » du 11 août 1856 que Sir Henry Bessemer fit connaître au monde son procédé. Des licences furent demandées en nombre énorme. L'idée de convertir la fonte en acier en quelques minutes, sans l'emploi de chaleur extérieure, était stupéfiante et excitait la curiosité des fabricants de fonte. Mais la connaissance imparfaite des réactions chimiques qui se passent durant le procédé, l'influence du volume et de la pression de l'air, aussi bien que la conception erronée que toutes les sortes de fontes pouvaient être utilisées dans ce procédé, contribuèrent à diminuer rapidement l'emballage relatif aux mérites de la découverte.

D'autres chercheurs, tant de l'Angleterre que de l'étranger, avaient entrepris des recherches dans la même voie. L'intérêt éveillé par le brevet de Joseph Gillott Martien, de Newark, New-Jersey, États-Unis d'Amérique, daté du 15 septembre 1855 et les essais de M. George Parry, aux Acieries de Ebbw Vale, en octobre ou novembre 1855, ont été longtemps oubliés. Le Dr Percy¹, se référant aux expériences de M. Parry, disait que « si un accident ne s'était malheureusement pas produit, Bessemer aurait été privé de son triomphe ».

Le 10 janvier 1857, William Kelly obtenait son premier brevet améri-

¹ Percy's « Metallurgy : Iron and Steel ». p. 812.

cain et revendiquait, dit M. R.-W. Hunt ¹ « la priorité de la découverte des principes du procédé, et l'Office de Brevets reconnaissait ses droits, en lui accordant ses brevets ». Bessemer avait cependant obtenu en Amérique les brevets de son procédé les 12 février et 25 août 1856 et tandis que la « Kelly Pneumatic Process Co », fondée en 1863 et dissoute en 1869, était autorisée à exploiter les brevets de Kelly, on fit pour la première fois de l'acier Bessemer, en Amérique, aux Acières de Wyandotte, sur la fin 1864, sous la direction de M. W.-F. Durfee, qui a toujours considéré que le principe fondamental de cette grande découverte, était dû au génie d'Henry Bessemer.

Le pionnier du procédé Bessemer aux États-Unis, et celui auxquels les aciéristes attribuent l'honneur d'avoir le plus contribué à son développement et à son succès, fut M. Alexander M. Holley. Ce fut lui qui négocia avec Bessemer, l'exploitation par la « Winslow, Griswold and Holley Co » des brevets américains, et qui installa à Troy, New-York, en février 1865, le premier convertisseur de 2,5 t. inaugurant ainsi la fabrication de l'acier Bessemer, qui dans l'année 1911 s'élevait à 7 947 849 tonnes ². M. Robert W. Hunt ³, dans son discours présidentiel en 1906 à l' « American Institution of Mining Engineers » disait relativement à la pratique américaine des Bessemer « que les noms de Holley, John Fritz, George Fritz, William R. Jones, Daniel L. Jones et Robert Forsyth sont ceux des savants qui contribuèrent à mettre l'Amérique à la tête de la production de l'acier Bessemer.

Revenant à l'époque de l'introduction du procédé en Angleterre, les années, probablement les plus fécondes en événements, dans l'histoire de ce procédé, furent les deux premières durant lesquelles Bessemer, fut obligé de reconnaître qu'il avait accordé trop facilement des licences, pour un procédé dont il ne fut pas le premier à montrer l'immense importance. Tandis qu'il luttait pour perfectionner son procédé, d'autres travaillaient sur le même sujet. James-Riley cite ⁴ une expérience grossière, faite en 1857, aux « Coats Iron Works », en Ecosse, par M. Thomas Jackson et ensuite les expériences faites aux usines de William Dixon, Ltd, qui toutes ne donnèrent aucune satisfaction. En Angleterre, le succès commercial de ce procédé doit être largement attribué à Robert Mushet et en Suède à F. Goransson. Le professeur Akermann ⁵, se référant aux anciennes expériences faites par Goransson, avec le procédé Bessemer, aux usines métallurgiques de Edske, en 1857, écrit que « jusqu'au milieu de 1858, comme sir Henry Bessemer lui-même, il n'était arrivé qu'exceptionnellement à produire un bon produit, qui, selon l'avis de l'inventeur, présentait un poids maximum grâce à un maximum de pression de vent. En partant de cette idée et par l'emploi de tuyères à plus grande surface et d'un fort supplément de vent, Goransson fut en mesure, au commencement de juin 1858, de diminuer la durée du procédé, et par conséquent d'augmenter la chaleur du soufflage et de

¹ *Trans. American Institute of Mining Engineers*, vol. V, p. 201.

² *Mineral Industry*, 1911, p. 429.

³ *Trans. American Institute of Mining Engineers*, vol. XXXVII, p. LIX.

⁴ *Journal Iron and Steel Institute*, 1885, II, p. 394.

⁵ *Trans. American Institute of Mining Engineers*, vol. XXII, p. 266.

produire un métal meilleur. C'est de cette époque que fut assurée la réussite du procédé Bessemer ». Le professeur Akermann a également montré comment Goransson fit envoyer à Sheffield, 15 tonnes de lingots obtenus par sa méthode perfectionnée, alors que Bessemer luttait encore pour arriver à produire du bon acier. Il semble que les perfectionnements réalisés par Goransson, impressionnèrent Bessemer, car deux ans après les essais de Edske, il n'employait dans son convertisseur à Sheffield que des fontes suédoises seulement.

On a reconnu en Angleterre, que le brevet pris par Robert Mushet le 22 septembre 1856, avait une influence considérable car il supprime dans le procédé Bessemer, certaines difficultés, que parmi beaucoup d'autres, Bessemer avait essayé de vaincre. La présence nuisible du soufre dans les minerais et ses relations avec les autres éléments du fer incomplètement connues à cette époque, fut neutralisée par des additions de manganèse et c'est de cette époque que date l'influence du manganèse dans les fontes Bessemer. Si le procédé Bessemer permet l'utilisation de nombreuses variétés de fontes, dont la plupart sont pauvres en manganèse il n'en faut pas moins maintenir la balance des éléments donnant de la chaleur — silicium, manganèse et carbone — pour produire du bon acier, dans lequel la présence de manganèse est nécessaire pour réussir.

En dehors de certains perfectionnements dans la partie mécanique du procédé, rien de marquant n'y fut apporté jusqu'au moment de l'introduction du revêtement basique du convertisseur, par Thomas et Gilchrist, dont nous nous occuperons au Chapitre XIII.

Le « Procédé Bessemer Acide », de même que les autres procédés de grande production d'acier, a bénéficié de l'emploi du mélangeur, introduit pour la première fois par le capitaine Jones, aux aciéries Edgar Thompson, aux Etats-Unis en 1890 et simultanément en Allemagne. La plupart des irrégularités de qualité de l'acier produit, étaient dues aux variations du métal pris directement au haut fourneau. L'emploi d'un procédé intermédiaire de deuxième fusion, au moyen d'un cubilot, est encore communément employé dans un certain nombre d'usines, mais dans celles qui possèdent un mélangeur, cette seconde fusion n'a plus le même intérêt. La pratique d'utiliser directement le métal, à sa sortie du haut fourneau, fut préconisée pour la première fois par Goransson en 1857.

Le procédé Bessemer. — Pour mieux faire ressortir les caractéristiques du procédé Bessemer, il faut le comparer aux autres procédés. Toute la fabrication de l'acier est basée sur l'élimination, par oxydation, de certains métalloïdes contenus dans la fonte employée. Les procédés diffèrent surtout les uns des autres par les méthodes employées pour effectuer cette élimination. Dans le procédé au creuset, l'oxydation se fait très lentement et très faiblement, car on ne laisse pénétrer dans le creuset qu'une faible quantité d'air pour favoriser cette oxydation. De plus, l'action des matériaux composant la charge du creuset et des oxydes de fer contenus dans le métal fondu, est trop faible pour former de la scorie. On obtient une rapidité d'oxydation plus grande du métal fondu, sur la sole du four Martin-Siemens, car les différents oxydes minéraux, ainsi que l'oxygène de l'air mélangé aux gaz chauds qui traversent le four, favorisent

L'oxydation rapide des impuretés contenues dans les matières premières durant le procédé de transformation en acier.

Dans le procédé Bessemer, on obtient encore une oxydation beaucoup plus rapide des métalloïdes contenus dans le métal fondu, non pas parce que la chaleur employée provient d'une source extérieure, comme cela est nécessaire dans les autres procédés de fabrication de l'acier, mais par suite de la génération énorme et extrêmement rapide de chaleur interne, due aux actions et réactions chimiques produites par l'oxydation des principaux éléments, donnant de la chaleur, contenus dans la fonte en fusion, sous l'influence du volume d'air, traversant le métal sous une forte pression, sans le secours d'aucune chaleur extérieure quelconque. On avait déjà remarqué que les principaux éléments donnant de la chaleur étaient le silicium, le manganèse et le carbone, mais que certains autres éléments tels que le soufre et le phosphore dont la présence est préjudiciable, étaient oxydés par l'oxygène de la même façon que le silicium, le manganèse et le carbone. Comme il n'était pas possible d'essayer de séparer, par le procédé acide, le soufre et le phosphore, ce procédé était donc limité à la seule transformation des fontes exemptes de ces éléments en quantités nuisibles. L'intérêt commercial du procédé acide exigeait l'emploi de fontes ne contenant pas plus de 0,06 p. 100 de phosphore au maximum et 0,06 p. 100 de soufre, mais l'acier obtenu ne convenait que pour certains usages où la ductilité n'avait pas une trop grande importance. Jusqu'à l'introduction du revêtement basique dans le convertisseur Bessemer, la plupart des dépôts de minerais ne convenaient pas au procédé Bessemer.

L'oxydation du silicium dans la première phase du procédé fournit plus de chaleur que tous les autres éléments, élève par conséquent la température du bain et rend possible la rapide transformation du carbone dans une autre phase en CO^2 et CO . Le manganèse de la fonte est également oxydé, durant la première période, ainsi qu'une partie du fer et qu'une très faible quantité de carbone.

La marche de l'oxydation peut être brièvement résumée comme suit :

1° Transformation d'une grande quantité de silicium en silicate de fer avec, en même temps, oxydation du manganèse, formant tous les deux des scories ;

2° Le carbone qui a déjà été très légèrement oxydé dès le commencement du soufflage, se transforme maintenant en CO^2 et CO en quantité graduellement croissante et la violente ébullition qui se produit à ce moment est connue sous le nom de « bouillonnement » ;

3° La période finale est presque entièrement limitée à l'élimination du carbone, la chaleur étant plus intense, le carbone est entièrement brûlé en CO .

Ces trois périodes sont très bien définies et caractérisées par la coloration et la forme des flammes qui se dégagent du bec de la cornue :

1° La sortie de fumées brunes accompagnées d'étincelles, combustion des gaz avec une flamme courte d'abord, puis ensuite avec une flamme plus longue, d'une coloration jaune brillante, constituent les faits caractéristiques de la première phase de transformation ;

2° Le « bouillonnement », phase pendant laquelle il se produit des mouvements tumultueux soulevant parfois dans l'appareil de grosses masses

de scories est caractérisé par la présence d'une flamme plus intense et plus lumineuse, de longueur variable ;

3° La « période de décarburation » qui est longue ou courte, suivant la quantité de carbone laissée par la période de « bouillonnement », se distingue parfaitement des deux autres. Elle est caractérisée par une longue flamme d'un blanc clair, teintée de bleu, s'enroulant sous forme de flocons au sortir de la cornue, et ayant de longues languettes de feu, en forme de flèches, de plusieurs pieds de long. Lorsque le carbone est presque disparu, il se produit une « baisse » prononcée de la flamme qui est décolorée par des fumées d'oxyde de fer, ce qui indique le moment d'abaisser la cornue.

Marche et durée du procédé. — La rapidité d'oxydation des impuretés contenues dans le métal par ce procédé dépend d'au moins trois choses : 1° de la composition chimique de la fonte employée ; 2° de la température du métal au commencement du soufflage et 3° de la rapidité de production, c'est-à-dire de l'intervalle qui s'écoule entre deux soufflages. En Angleterre, on a l'habitude d'employer des fontes qui contiennent de 2 à 3 p. 100 de silicium avec 0,5 à 1,25 p. 100 de manganèse, tandis qu'en Amérique, on emploie plus généralement des fontes qui contiennent de 1,0 à 1,75 p. 100 de silicium et 0,7 à 1,0 p. 100 de manganèse.

Si les fontes sont pratiquement exemptes de phosphore et de soufre, elles donnent toutes des résultats satisfaisants, mais le soufflage sera prolongé selon l'excès de silicium et de manganèse, afin de produire la chaleur nécessaire à la transformation du métal. Les exemples suivants montreront comment des charges, riches ou pauvres en silicium, influencent le taux de production.

Charge de fonte, pauvre en manganèse et en silicium. — Dans le cas de fontes très pauvres en silicium, comme celles que l'on emploie dans certaines usines en Amérique, et qui sont également pauvres en manganèse, il n'est possible d'arriver à produire la chaleur nécessaire que si les soufflages se suivent les uns les autres, avec une succession très rapide. Howe¹, dans ses notes sur le procédé Bessemer, cite un soufflage américain type pour lequel il donne, aux différentes périodes du soufflage, la composition du métal et des scories. En examinant le tableau L on remarquera qu'il faut neuf minutes dix secondes pour transformer 10 tonnes de fonte en acier, ce qui représente une vitesse de transformation de plus de 1 tonne à la minute.

La chaleur absorbée et dégagée par les réactions chimiques durant l'élimination du carbone, du silicium et du manganèse ne peut être calculée qu'approximativement seulement. Des différences d'opinion existent, relativement au nombre et à l'arrangement des diverses combinaisons de carbures, que l'on sait exister dans le métal à haute température et dont la décomposition provoque une absorption de chaleur. Les pertes par rayonnement, et les pertes de chaleur, par les gaz et les scories, qui s'échappent du convertisseur sont considérables, mais en faisant la balance de la

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1890, II, p. 95.

chaleur, après déduction de toutes ces pertes, elle est encore suffisante pour élever la température du bain pendant la transformation d'une charge de métal, de plusieurs centaines de degrés centigrades. La figure 46 représente les courbes obtenues au moyen des détails donnés dans le tableau L, courbes qui représentent graphiquement la rapidité d'élimination du carbone, du silicium et du manganèse.

TABLEAU L

Composition centésimale du métal et des scories pendant le soufflage.

	CHARGE INITIALE			DURÉE DU SOUFFLAGE						ANALYSE du spiegel ajouté.
	Métal fondu.	Scraps d'acier (compo- sition sup- posée).	Moyenne.	2 min.	3 min.	6 min.	8 min.	9 min.	Après l'addition de spiegel 9 min. 20 sec.	
				0 sec.	20 sec.	3 sec.	8 sec.	10 sec.		
Carbone	3,40	0,36	2,98	2,94	2,71	1,72	0,53	0,04	0,45	4,64
Silicium	0,98	0,08	0,94	0,63	0,33	0,03	0,03	0,02	0,038	0,35
Manganèse	0,10	0,97	0,43	0,09	0,04	0,03	0,01	0,01	1,15	14,90
Phosphore	0,104	0,10	—	0,104	0,106	0,106	0,107	0,108	0,109	0,139
Soufre	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,059	—
Scorie.										
SiO ²	—	—	—	42,4	50,26	62,54	63,56	—	62,20	—
Al ² O ³	—	—	—	5,63	5,13	4,06	3,01	—	2,76	—
Oxyde ferreux	—	—	—	40,29	34,24	21,26	21,39	—	17,44	—
— ferrique	—	—	—	4,31	0,96	1,93	2,63	—	2,90	—
MnO	—	—	—	6,54	7,90	8,79	8,88	—	13,72	—
CaO	—	—	—	1,22	0,91	0,88	0,90	—	0,87	—
MgO	—	—	—	0,36	0,34	0,34	0,36	—	0,29	—
P	—	—	—	0,008	0,008	0,010	0,014	—	0,10	—
S	—	—	—	0,009	0,009	0,014	0,008	—	0,11	—
Aspect de la flamme.	—	—	—	Flamme du Si.	Brillante.	Flamme du C (modérée).	Flamme du C (pleine).	Chute de la flamme.	Soufflage de 10 sec. après la chute.	—
Cube (en pieds) d'air employé.	—	—	—	34,502	30,628	53,481	45,365	26,430	1,868	—
Cube (en pieds) d'air par minute.	—	—	—	17,251	22,971	19,691	21,810	25,685	11,208	—

Pour maintenir le rendement en acier, lorsque l'on emploie des fontes contenant si peu de silicium et de manganèse, il est nécessaire d'avoir des fontes très chaudes au sortir du haut fourneau, du cubilot et du mélangeur et que l'on puisse les vider très rapidement dans le convertisseur, immédiatement après que la charge qui vient d'être soufflée, a été versée dans la poche de coulée. Si cela ne se passe pas ainsi, la température du revêtement du convertisseur, s'abaisse très rapidement.

Charge de fonte riche en silicium et pauvre en manganèse. — Dans le tableau LI, nous donnons les analyses du métal, à différentes périodes du soufflage, dans un convertisseur Bessemer de 8 tonnes, d'après les recherches faites par M. C.-F. King¹ aux aciéries de Bethlehem

¹ *Trans. American Inst. of Mining Engineers*, vol. IX, p. 259.

Iron C°. Les analyses du métal employé et de l'acier obtenu, étaient les suivantes :

Métal employé : C 3,56 p. 100 ; Si 2,398 p. 100 ; Mn 0,491 p. 100.

Acier obtenu : C 0,034 p. 100 ; Si 0,043 p. 100 ; Mn 0,105 p. 100.

L'élimination du C, Si, Mn après 18 minutes s'élevait à :

C 3,526 p. 100 ; Si 2,355 p. 100 ; Mn 0,391 p. 100.

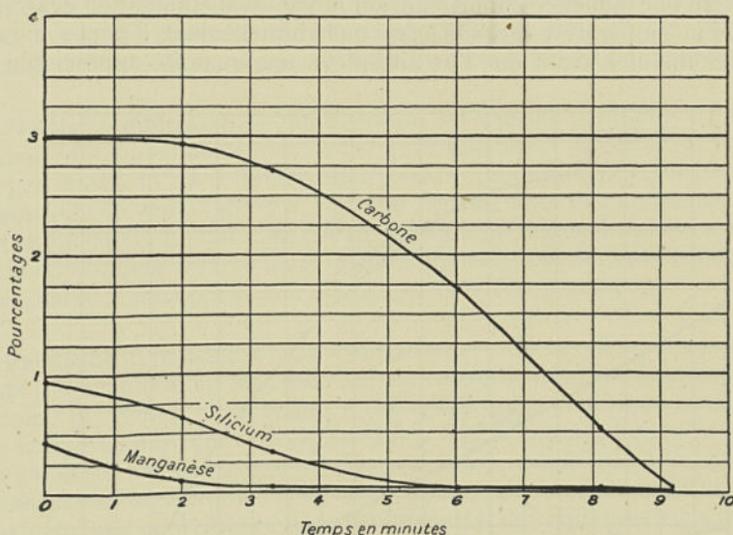


Fig. 46. — Vitesse d'oxydation du carbone, du silicium et du manganèse durant la période de soufflage indiqué par le tableau L.

TABLEAU LI

Analyses centésimales du métal pendant le soufflage.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Métal chargé.	8 min. après le départ.	15 min. après le départ.	17 min. après le départ.	18 min. après le départ.	Analyse du spiegel ajouté.	Produit final.	Analyses des scraps employés	Spiegel réduit à 10,6 p. 100 de charge.
Poids spécifique	6,866 6,818	7,487	6,447 6,200	7,369 7,114	6,706 6,792	7,49	6,691 6,459	7,544	— —
Carbone total p. 100	3,543 3,560	3,199 3,231	1,230 1,270	0,207 0,207	0,034 0,034	4,338 4,396	0,367 0,374	0,264 0,264	0,460 0,460
Graphite p. 100	3,160 3,170	0,415 0,438	0,236 0,272	0,0297 0,0273	0,0095 0,0094	0,824 0,827	0,0187 0,0188	0,0149 0,0146	0,087 0,087
Carbone combiné p. 100	0,383 0,390	2,784 2,783	0,995 0,999	0,1775 0,1797	0,025 0,025	3,569 3,514	0,349 0,356	0,2491 0,2497	0,378 0,372
Silicium p. 100	2,384 2,398	1,07 1,10	0,108 0,107	0,058 0,056	0,037 0,043	0,67 0,68	0,060 0,061	0,103 0,117	0,071 0,072
Manganèse p. 100	0,496 0,491	0,151 0,150	0,133 0,134	0,129 0,130	0,097 0,0105	16,129 16,1569	1,175 1,166	1,229 1,212	1,710 1,713
Phosphore p. 100	0,089	—	0,092	0,076	—	—	0,0897	—	—

Si on fait la comparaison avec la charge pauvre en silicium du tableau L, dont la transformation était complète en neuf minutes, dix secondes, on remarquera que la teneur en silicium est de 2,398 p. 100 contre 0,94 p. 100 pour la charge terminée en neuf minutes, dix secondes. La vitesse d'oxydation de la charge donnée dans le tableau LI est représentée graphiquement fig. 47. On n'a pas indiqué la température du métal au commencement de l'opération, pour ni l'une ni l'autre des charges étudiées, quoique celle-ci ait une influence importante, sur la vitesse d'élimination des impuretés. Si la température est plus basse qu'habituellement, il peut s'écouler quelques minutes avant que l'on ait enlevé une quantité appréciable de

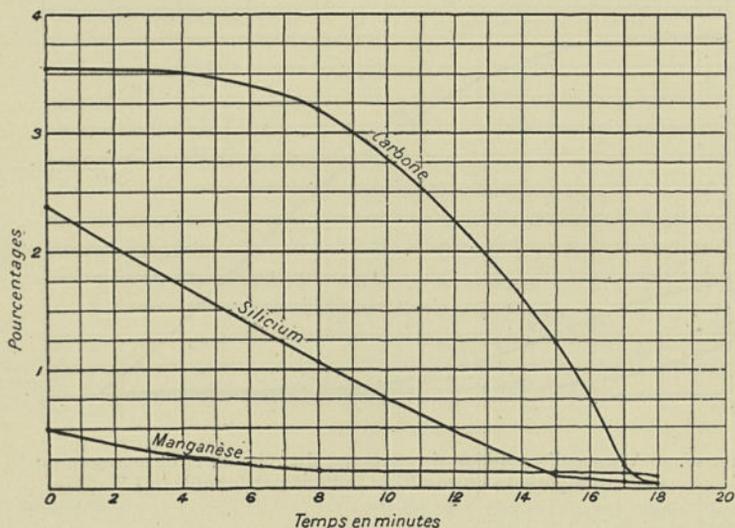


Fig. 47. — Vitesse d'oxydation du carbone, du silicium et du manganèse durant la période de soufflage donnée par le tableau LI.

silicium, et un peu de carbone, en même temps que le fer se trouve oxydé. En d'autres termes, lorsque la température est élevée, le silicium est rapidement oxydé. On a en outre constaté, que lorsque la température du métal est très élevée, le carbone est attaqué avant le silicium de sorte que l'on obtient un acier siliceux après le soufflage.

Certaines expériences auxquelles nous fûmes intéressés, ont mis ce fait en évidence. Pour diverses raisons, on avait jugé nécessaire de fondre la fonte Bessemer sur la sole d'un four Martin-Siemens plutôt que dans le cubilot habituel, et l'on obtenait comme résultat, une diminution de la teneur en carbone et en silicium. En diluant le métal avec des scraps d'acier, pauvre en carbone, on obtenait pour le convertisseur un métal dont la composition variait de 2 à 2,5 p. 100 de carbone, de 1,2 à 1,5 p. 100 de silicium et de 0,5 à 0,75 p. 100 de manganèse. Si la température n'est pas trop élevée, on peut procéder à des soufflages très rapides, mais si la température est excessive, les soufflages sont erratiques et produisent, comme résultat, la combustion du carbone avant celle du silicium, de sorte que

l'acier obtenu dans certains cas n'est pas satisfaisant. Ces essais ont été exécutés avec un petit convertisseur de 2 tonnes.

Dans les convertisseurs ordinaires soufflés par le fond, la température du métal du bain est régularisée par des additions de scraps d'acier ou par de la vapeur. En Angleterre et sur le continent, on pratique généralement les additions de scraps, mais en Amérique, on pratique aussi l'emploi de la vapeur. Celle-ci est introduite dans la canalisation d'amenée du vent à chaque convertisseur, sous une pression de 3,40 kg. par centimètre carré au moyen d'un petit tube de 5 centimètres de diamètre.

Pratique suédoise. — En Suède, il est d'usage d'employer pour leur transformation en acier, des fontes qui contiennent de 0,9 à 1 p. 100 de Si et pas moins de 1,5 p. 100 de Mn et même préférablement des pourcentages plus élevés — de 2 à 4 p. 100 de Mn. Si la teneur en manganèse est faible, et si le métal n'est pas très chaud, on risque de faire un soufflage froid. On obtient de très bons résultats quand le métal est bien chaud, la marche du soufflage étant la même que dans les autres pays.

Pratique anglaise et du continent. — On emploie, généralement, plus fréquemment en Angleterre et sur le continent, pour le procédé Bessemer, des fontes plus riches en silicium qu'en Amérique et en Suède. La teneur en silicium varie de 2 à 2,5 p. 100 et même plus, mais la durée du soufflage est plus longue et dure quelquefois de vingt à trente minutes. Dans un soufflage ordinaire, on remarque les mêmes faits caractéristiques que ceux mis en évidence dans le tableau LI, qui, sous plusieurs rapports, représente la pratique anglaise. La teneur en manganèse est peut-être inférieure à la teneur moyenne, généralement employée en Angleterre.

Additions à la charge. — En Angleterre et dans la plupart des autres pays, la pratique est d'ajouter à la charge, du ferro-manganèse en quantité voulue, pour obtenir l'acier désiré.

En Suède, la pratique fut pendant plusieurs années, d'arrêter le soufflage lorsque l'on arrivait à une période d'oxydation, laissant dans l'acier les quantités voulues de carbone et de silicium. L'emploi du spectroscope pour examiner la flamme et contrôler par conséquent la marche de l'opération était d'un usage courant. Cette pratique n'est pas entrée en faveur en Angleterre. La surveillance joue un si grand rôle dans cette opération, qu'un produit irrégulier résulte généralement de ce que le soufflage n'a pas été arrêté avant que la combustion du carbone soit complète. La « chute » de la flamme est un guide presque infaillible pour régulariser la teneur en carbone, et si on doit faire une ajoute additionnelle de carbone, on peut la faire à ce moment avec plus de certitude d'obtenir des résultats corrects, qu'en se fiant à la coloration et la forme des flammes.

CHAPITRE XIII

LE PROCÉDÉ BESSEMER BASIQUE

Historique. — Le procédé Bessemer basique, ne diffère du procédé Bessemer acide, ni par la disposition mécanique de l'installation, ni par le principe fondamental de la transformation du fer en acier par oxydation des métalloïdes du fer, au moyen de la chaleur produite dans celui-ci, mais par des différences métallurgiques et chimiques dans les actions et réactions formées par l'oxydation de l'élément principal : le phosphore. Les difficultés rencontrées, pour trouver pour le convertisseur, un revêtement réfractaire convenable, et pour le phosphore du fer un flux approprié, furent les principaux obstacles du développement de ce procédé. Le fait qu'un grand nombre des principaux dépôts de minerais de l'Europe, ne pouvaient être utilisés pour la fabrication de la fonte destinée à la cornue à revêtement acide, a engagé les métallurgistes les plus ardents à trouver un procédé permettant l'utilisation de ces immenses réserves de minerais.

Plusieurs chercheurs se sont engagés dans cette voie, mais la découverte de M. Sidney G. Thomas et ses expériences, ainsi que celles de M. Percy G. Gilchrist poursuivies durant trois années consécutives, avant de porter à la connaissance de « l'Iron and Steel Institute » en 1879, le résultat de leurs recherches, leur attribue la gloire d'avoir découvert un revêtement basique convenable, permettant l'utilisation commerciale dans le convertisseur Bessemer pour leur transformation en acier, des fontes riches en phosphore.

Ils n'avaient pas encore démontré la valeur de leur procédé, que les fabricants d'acier des diverses régions de l'Allemagne, accouraient à Middlesbrough, pour constater eux-mêmes l'évidence des résultats et s'assurer le droit d'employer le procédé breveté.

M. J. Massenez¹, écrivant l'histoire du procédé basique en Allemagne, cite que le 4 avril 1879, MM. E. Meier et R. Pink, venus à Middlesbrough pour assister à une démonstration du procédé et pour s'assurer les licences de procédé en Allemagne, constatèrent qu'ils avaient déjà été devancés par M. G. Pastor. A la suite d'un arrangement, les licences furent garanties pour l'Allemagne et le Luxembourg, par les représentants des usines Rheinische et Hörde, les licences pour l'Autriche et la Hongrie étant

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXIX, pp. 4465-4477.

garanties par cette dernière société. Ce fut le 22 septembre 1879 que les premières charges furent simultanément soufflées aux usines Rheinische et Hörde, cette dernière utilisant un convertisseur de 3 tonnes. Le même jour, on fit en Allemagne le premier rail en acier basique, qui donna entière satisfaction. Depuis lors, la prospérité industrielle de l'Allemagne est en grande partie liée au développement du procédé basique.

Revêtements basiques. — La plus grande difficulté rencontrée par ceux qui employèrent ce nouveau procédé, était de trouver des matériaux appropriés, pour obtenir des revêtements durables. Dans les expériences faites par Thomas et Gilchrist à Blaenavon¹ avec un convertisseur dont la cornue contenait environ 200 kilogrammes de métal, le revêtement qui pouvait supporter 50 soufflages et même plus, était composé de (a) calcaire et de 10 p. 100 de silicate de soude et (b) de calcaire et 10 p. 100 d'argile. Mais lorsque plus tard, on voulut faire des briques basiques pour l'emploi pratique dans les aciéries, des expériences furent entreprises avec des compositions si diverses et des méthodes de fabrication si nombreuses, qu'il nous est impossible de les énumérer. Toutefois, les briques fabriquées principalement avec de la chaux, un peu de magnésie et environ 2,5 à 3 p. 100 de silice, furent employées avec beaucoup de succès en Autriche et en Allemagne, ainsi que par un certain nombre d'industriels anglais pour le revêtement et les fonds du convertisseur². On a fait aussi des briques en chaux caustique, obtenue avec des calcaires purs, mais il a été employé plus généralement, une combinaison de chaux et de magnésie, sous forme de dolomie calcinée. Les briques de magnésite, ainsi que celles de fer chromé ont également trouvé leur place dans le développement des revêtements basiques des convertisseurs. Les procédés de fabrication des matériaux employés pour la confection des différentes sortes de revêtements, comprenant la calcination, le broyage, le malaxage et le séchage ont retenu l'attention et les connaissances de nombreux expérimentateurs.

Flux basiques. — Si l'histoire du revêtement basique est pleine d'intérêt, les recherches entreprises en vue d'obtenir des flux convenables pour arriver à produire rapidement l'élimination des impuretés du métal, avec un minimum de perte de métal et de revêtement ne doivent pas moins retenir l'attention. Thomas et Gilchrist³, ont remarqué dans leurs premières expériences, que « la présence d'une quantité considérable de chaux dans une scorie pas trop siliceuse est des plus favorable et constitue le point essentiel pour l'élimination du phosphore ». — Ils constatèrent également, que la chaux est fusible en certaine proportion, et qu'il est avantageux d'employer une proportion en poids d'un tiers de « Blue Billy »⁴ et de deux tiers de chaux. Ces deux faits constituent la base de

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1879, I, p. 123.

² *Ibid.*, 1881, II, p. 403.

³ *Ibid.*, 1870, I, p. 123.

⁴ Le « Blue Billy » contient une moyenne de 96 p. 100 de Fe^2O^3 (Phillips, *Elements of Metallurgy*, p. 309).

leurs recherches et pousse de l'avant, les nombreuses applications de la chaux et des oxydes de fer, introduits en diverses proportions, dans le métal, à différentes périodes, durant la transformation en acier des fontes phosphoreuses.

Un autre fait important, également observé par Thomas et Gilchrist, et qui demeure essentiel au procédé, est celui connu sous le nom de « sursoufflage ». Dans le procédé Bessemer acide, lorsque le carbone est brûlé, le métal serait attaqué et l'acier par conséquent détruit si l'on prolongeait le soufflage. Contrairement à ce fait, ils ont constaté que la moyenne partie du phosphore n'était pas éliminée tant qu'il restait du carbone à oxyder, d'où la nécessité de prolonger le soufflage durant quelques minutes, opération connue sous le nom de « sursoufflage ».

Développement du procédé basique. — A l'histoire du développement du procédé Bessemer basique, il faut associer les noms de la plupart des métallurgistes connus et des ingénieurs-conseils en matières d'aciéries de l'Angleterre et des autres pays tels que Snelus, E.-W. Richards, Martin, Percy, Stead, Wedding et beaucoup d'autres qui ont, plus récemment, étudié la question.

Lorsque les fabricants d'acier du continent, eurent acquis les licences d'exploitation du procédé basique, il se perfectionna entre leurs mains. Les difficultés rencontrées pour l'obtention du revêtement et du flux, furent bien petites, si on les compare à l'avantage que l'on retire de ce procédé qui permet d'utiliser les fontes d'origine au lieu des fontes étrangères. Les aciéries allemandes, autrichiennes et françaises travaillèrent rapidement suivant le nouveau procédé tandis qu'en Angleterre, où il fut découvert, il n'y fit que de tardifs progrès. Il faut en chercher la raison dans ce fait que les minerais phosphoreux de la Grande-Bretagne, notamment ceux de Cleveland, ne permettaient pas la production des fontes basiques. La présence d'un pourcentage élevé de silicium, et d'une teneur relativement faible de phosphore, produit une usure rapide du revêtement du convertisseur, de sorte qu'il faut ajouter une plus grande quantité de chaux afin d'obtenir une scorie suffisamment basique. Il en résulte alors une perte considérable de fer.

La destruction rapide des revêtements, fut réduite dans une forte proportion, quand on mélangea aux minerais anglais, des minerais manganésifères, mélange qui donnait des fontes riches en manganèse et pauvres en silicium. Cependant, cette façon d'opérer, avait l'inconvénient d'augmenter considérablement le prix de revient de la fonte, de sorte que l'Angleterre se trouvait dans une position défavorable pour lutter contre la concurrence étrangère.

Plusieurs modifications au procédé Bessemer basique, ont été faites en vue de perfectionner la fabrication de l'acier. Ces améliorations portèrent surtout sur les quantités de chaux et d'oxydes de fer employées, pour produire des scories fortement basiques, dans le but de réduire le prix de revient et de rendre le procédé plus facilement applicable à la fabrication des diverses sortes de fontes basiques. Ces perfectionnements ne sont pas seulement propres à l'Angleterre, mais encore aux autres pays où ce procédé était en application.

Mélangeur à fonte. — L'emploi du mélangeur à fonte, permettant d'obtenir facilement des produits plus uniformes et plus réguliers, constitue une autre phase du développement de ce procédé. Au début de l'utilisation du convertisseur basique, on avait remarqué qu'en introduisant directement dans le convertisseur, la fonte sortant du haut fourneau, on laissait souvent dans la poche une calotte de métal qui le refroidissait durant le transport. Comme, de plus, les charges froides sont gênantes puisque la valeur calorifique du phosphore de la fonte n'est pas utilisée au début du soufflage, à moins d'avoir une faible teneur de silicium dans le métal et une grande quantité de chaux dans la cornue, il s'en suit que l'on rencontre des ennuis de tout genre, si le métal n'est pas très chaud quand on le charge dans le convertisseur.

Contre l'inconvénient des températures irrégulières des hauts fourneaux on utilisait généralement des cubilots, pour refondre la fonte ainsi que des fours Martin-Siemens, notamment dans les aciéries de Bohême où le coke était surtout coûteux. Le cubilot est encore employé dans beaucoup de grandes aciéries, c'est ainsi qu'à Kladno¹, on utilise 6 fours Martin-Siemens pour refondre la fonte destinée à l'alimentation des quatre convertisseurs basiques de 13 tonnes, mais le mélangeur est devenu un accessoire indispensable, non seulement du procédé Bessemer basique, mais aussi de tous les types de fours employés dans les nombreux procédés qui utilisent le métal à l'état liquide.

Le mélangeur est un immense cubilot, disposé autrement que le cubilot ordinaire et utilisé dans certaines usines aussi bien comme four d'affinage que comme collecteur de métal. Son emploi simultané, en Allemagne et en Amérique, vers 1890, a surtout profité au procédé Bessemer basique plutôt qu'à tout autre procédé, car il lui faut un métal très chaud et de composition presque uniforme.

Le soufflage. — Quand le convertisseur est bien chaud (il est absolument nécessaire que le convertisseur soit uniformément chaud) on y introduit de la chaux cuite et chaude, mélangée quelquefois avec du coke ou de la houille. Le vent est ensuite envoyé doucement pendant quelques minutes pour chauffer à blanc l'intérieur du convertisseur, puis on introduit la charge. Dès l'application du vent les trois premiers éléments de la fonte qui sont respectivement oxydés sont le silicium, le manganèse et le carbone, vient ensuite le phosphore qui est rapidement réduit.

Wüst et Laval² ont montré qu'il y a environ 25 p. 100 du phosphore du métal qui se trouve éliminé pendant l'oxydation du silicium, du manganèse et du carbone, le restant l'étant seulement pendant la période de « sursoufflage ».

Dans le tableau LII nous donnons la composition analytique de la charge à différents moments du soufflage, ce qui permettra de remarquer la constatation ci-dessus.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1909, III, p. 263.

² *Stahl und Eisen*, 2 janvier 1909, pp. 424-433.

TABLEAU LII

Composition analytique de la charge pendant le soufflage.

DURÉE DU SOUFFLAGE en minutes.		C	Si	Mn	P	S
0 à $4\frac{1}{2}$	Fonte. 1	3,354 3,081	0,481 0,036	0,85 0,80	2,009 1,998	0,177 0,098
$4\frac{1}{2}$ à $3\frac{1}{4}$	2	2,624	0,006	0,42	1,910	0,120
$3\frac{1}{4}$ à $5\frac{1}{4}$	3	1,934	0,007	0,41	1,886	0,128
$5\frac{1}{4}$ à $6\frac{3}{4}$	4	1,321	0,009	0,45	1,786	0,128
$6\frac{3}{4}$ à $8\frac{1}{4}$	5	0,733	0,010	0,55	1,735	0,128
$8\frac{1}{4}$ à 10	6	0,094	0,005	0,52	1,436	0,112
10 à $11\frac{3}{4}$	7	0,034	0,009	0,55	0,526	0,067
$11\frac{3}{4}$ à $13\frac{1}{4}$	8	0,015	0,009	0,34	0,117	0,084
$13\frac{1}{4}$ à 15	9	0,016 0,26	0,013 0,033	0,23 0,88	0,066 0,097	0,077 0,059
	Acier.					

Ce tableau permet également de montrer la rapidité des réactions qui se produisent. Celle-ci dépend naturellement, de la composition de la fonte, de la température du bain et du caractère de la scorie existante. On notera que le silicium est ramené à l'état de traces en deux ou trois minutes et que le carbone est presque totalement éliminé durant la première période qui dure de huit à dix minutes. La déphosphoration se produit alors rapidement, lorsque pratiquement il n'y a plus de carbone. Si la température du métal au début du soufflage est élevée, le carbone brûle alors plus rapidement, de sorte que la durée du soufflage est diminuée. L'affinité du carbone pour l'oxygène augmente plus, lorsque la température s'élève, que n'augmente l'affinité du fer et du manganèse pour l'oxygène. Dans le procédé basique, les meilleurs résultats sont obtenus, lorsque la température du métal est élevée au commencement du soufflage et lorsque le métal n'est pas trop chaud durant le « sursoufflage ». La pratique de certaines usines d'ajouter, dans le convertisseur, des scraps au métal fondu, n'est pas faite pour permettre un bon départ, à moins que la fonte provenant du mélangeur soit très chaude. Durant le sursoufflage, les conditions sont renversées, car une température plus basse facilite une oxydation plus rapide du phosphore, vu que l'affinité de cet élément pour l'oxygène augmente moins, si la température déjà très élevée du métal s'élève encore. De plus, dans de telles conditions, le fer est attaqué et oxydé ainsi que le manganèse restant dans le métal.

Donc, si au départ la température n'est pas suffisante, l'oxydation du carbone se produit lentement tandis que celle du manganèse se fait rapidement tandis qu'il se produit, en même temps, des pertes de fer. Si le sursoufflage se fait à une température trop élevée, il en résulte une oxydation

lente du phosphore qui, si l'on n'a pas laissé suffisamment de manganèse pour protéger le fer contre l'oxydation, provoque des pertes considérables.

Pour refroidir le vent, afin de maintenir une température convenable, différents moyens ont été proposés. Parmi les plus communs, citons ceux qui consistent à ajouter de la chaux et des scraps, mais ils n'ont pas toujours donné les résultats que l'on espérait obtenir, car la chaux est un mauvais conducteur de la chaleur et les fortes additions de scraps tendent à produire un métal paresseux.

Modifications du procédé basique.

Modification de Scheibler. — Le professeur G. Scheibler ¹ a obtenu de bons résultats, dans plusieurs usines allemandes, en faisant les additions de chaux à deux périodes différentes du soufflage, savoir : les deux tiers au départ, avant l'introduction du métal et l'autre tiers durant le sursoufflage. La quantité de chaux employée était d'environ d'un tiers moins forte que celle généralement employée.

Dans les différentes usines où cette modification fut apportée, on a obtenu des résultats différents. A Gutehoffnungshütte, par exemple, les premières charges finies étaient si chaudes, qu'il était nécessaire d'ajouter une grande quantité de scraps pour refroidir l'acier; tandis qu'aux « Aciéries Rhénanes » la seconde addition de chaux produisait un refroidissement brusque et ne pouvait être appliquée qu'aux fontes demandant un « soufflage chaud ». Pour les fontes basiques pauvres en silicium et en phosphore, on préférerait ajouter la quantité totale de chaux au commencement du soufflage, car autrement il aurait été difficile de couler le métal fini.

Modification de Flohr. — Une autre modification, apportée par J. Flohr, avait surtout pour but d'obtenir un meilleur réglage de la chaleur dans le « sursoufflage ». Avant d'introduire le métal, on ajoutait de la chaux dans la cornue jusqu'à un volume d'environ 13 p. 100 du poids de la charge et juste au moment où approchait la seconde période du soufflage, c'est-à-dire lorsque le carbone est presque totalement enlevé, on introduisait dans le convertisseur des briquettes formées de battitures broyées et tamisées, mélangées à de la chaux éteinte. Cette addition avait, pour effet, de produire dans le métal une réduction rapide du phosphore et diminuait par conséquent la durée du sursoufflage, ainsi que les pertes de fer. De plus, la teneur en acide phosphorique de la scorie était plus élevée, par suite de la présence de l'oxyde ferreux, qui augmente la capacité d'absorption par la scorie de l'acide phosphorique.

La composition ² des briquettes est la suivante :

Fer métal	1,06	p. 100.
Oxyde ferrique	31,40	—
Oxyde ferreux	44,70	—
Chaux	9,89	—
Eau	4,16	—
Acide carbonique	0,68	—

¹ *Proceedings Institution of Civil Engineers*, vol. CXX, p 437.

² *Engineering*, vol. LXXXV, p. 63.

Modification de Richards. — Une autre modification du procédé basique, qui fut reconnue comme particulièrement économique, lorsque l'on emploie les fontes phosphoreuses anglaises riches en silicium, fut celle appliquée par M. A.-W. Richards aux Aciéries de MM. Bolckow, Vaughan and C^o Ltd, et employée depuis, avec plein succès, dans d'autres aciéries d'Angleterre.

« Pour utiliser le procédé », dit M. Richards ¹, on introduit de l'oxyde de fer dans le convertisseur basique, de préférence un minerai de fer pas trop basique, avec ou sans une petite quantité de chaux, puis on verse sur le tout de la fonte grise de Cleveland liquide, toujours pauvre en soufre et dont la teneur en silicium varie de 1,5 à 3 p. 100. L'opération diffère de celle du procédé basique ordinaire, sur un seul point seulement, et qui consiste à arrêter le soufflage dès que le silicium est oxydé et quand apparaît la flamme du carbone, et d'abaisser la cornue pour enlever la scorie. Par ce procédé, l'excès de silicium de la fonte, dont la présence était autrefois plutôt gênante, est enlevé avec la première scorie sans perte sérieuse de métal. L'analyse de cette première scorie indique qu'elle contient 3 p. 100 de fer, 35 à 45 p. 100 de silice et pas de phosphore.

Le plus grand avantage de cette modification du procédé, se trouve dans l'utilisation des fontes grises de Cleveland, obtenues avec les minerais de la région, sans qu'il soit nécessaire d'y ajouter comme autrefois des minerais de manganèse importés.

Le métal basique ordinairement employé dans cette région contient :

Si	0,5 à 1,0 p. 100.
Mn	1,5 à 2,0 —
P	1,8 à 3,0 —
S	0,06 à 0,08 —

La fonte grise de Cleveland contient :

Si	1,5 à 3,0 p. 100.
Mn	0,5 à 0,75 —
P	1,45 à 1,55 —
S	0,04 à 0,06 —

M. Richards a trouvé que la perte moyenne, depuis la fonte à l'état liquide, jusqu'aux lingots d'acier, durant une période de travail de dix-huit mois par ce procédé, était de 12,5 p. 100. Il a également trouvé que quoique la durée nécessitée par l'arrêt du soufflage et du décrassage soit pour chaque opération d'environ quatre minutes, la durée complète de l'opération est malgré cela, plus courte que dans le procédé ordinaire, car la période du « sursoufflage » est très courte et parce que la chaleur agit plus rapidement. Le rendement en acier s'élève à 87,5 p. 100 du métal chargé, contre 84 p. 100 pour l'autre procédé.

Le nom de Richards restera associé au procédé basique, depuis son début. Il était aux usines de MM. Bolckow, Vaughan and C^o Ltd lorsque fut essayée et réalisée la valeur pratique du procédé Bessemer basique.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, I, p. 105,

Modifications diverses. — Dans le procédé basique comme d'ailleurs dans le procédé acide, on a fait de nombreux essais soit pour réduire le prix de revient, soit pour obtenir un meilleur produit. Parmi ces essais, citons ceux consistant à chauffer le vent, à sécher l'air, à introduire dans le vent des matériaux solides destinés à chauffer et à oxyder le bain, mais la plupart de ceux-ci n'ont pas donné les résultats espérés.

En chauffant le vent, on espérait que la durée du soufflage ne serait pas plus longue que dans le procédé acide, mais l'expérience actuelle a au contraire montré, que les meilleurs résultats étaient obtenus en refroidissant l'air ¹.

Le séchage de l'air donne de bons résultats, mais l'appareil nécessité pour cette opération, doit être considéré comme un obstacle à son application générale.

Parmi les agents générateurs de chaleur, employés concurremment avec le vent pour accélérer la chaleur au début du soufflage, nous devons mentionner la poussière d'antracite, de coke, de charbon de bois, le goudron de houille, l'acide carbonique, etc. Wedding ², dit que les substances telles que le calcaire pulvérisé, la dolomie, la magnésie, le spath-fluor brut ou calciné, le carbonate de soude et tous les sels alcalins possibles, ainsi que des composés du manganèse, ont été employés sans succès pour remplacer les additions basiques et pour donner de la fluidité à la scorie.

L'élément, dont nous n'avons pas encore parlé jusqu'ici malgré son importance, c'est le soufre. Sa présence dans la charge est nuisible car son élimination est difficile. Les fortes teneurs en manganèse, favorisent son élimination. La pratique montre ³ que la présence de manganèse, permet d'éliminer dans le procédé basique, 50 p. 100 du soufre contenu dans le métal.

Chaleur dégagée et absorbée durant le procédé. — Le procédé Bessemer, dépend essentiellement de la chaleur fournie au métal liquide et de l'oxydation des métalloïdes qu'il contient. De nombreux auteurs ont étudié entièrement la thermo-chimie du procédé, et nous ne pouvons que renvoyer le lecteur à l'excellent ouvrage de Harbord sur ce sujet. La mesure de la chaleur, dégagée par les gaz durant l'opération, a été approximativement déterminée au moyen des pyromètres optiques.

Wüst et Laval, qui ont fait de nombreuses et remarquables recherches au point de vue calorifique du procédé Bessemer, ont employé le pyromètre optique de Wanner, soigneusement calibré au moyen d'un pyromètre de Le Chatelier, pour déterminer les températures de la flammes enregistrées dans le tableau LIII.

Le tableau suivant, donne les résultats moyens de sept lectures différente des températures pendant le soufflage.

¹ Wedding. « *Basic Process* », p. 111.

² *Ibid.*, p. 115.

³ *Ibid.*, p. 215.

⁴ Harbord, « *Metallurgy of Steel* », pp. 101-109.

TABLEAU LIII

Température moyenne de la flamme en degrés centigrades.

Durée du soufflage en minutes . . .		$1\frac{1}{2}$	2	$3\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{4}$	$5\frac{1}{2}$	$6\frac{3}{4}$	$8\frac{1}{4}$	$8\frac{1}{2}$
Température en degrés centigrades.		1 041	1 093	1 155	1 251	1 263	1 260	1 287	1 291
Durée du soufflage en minutes . . .	10	$11\frac{3}{4}$	$12\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{4}$	$13\frac{3}{4}$	$14\frac{1}{2}$	15	16	$16\frac{1}{2}$
Température en degrés centigrades.	1 319	1 369	1 389	1 412	1 438	1 475	1 499	1 467	1 437

De ces chiffres, Wüst et Laval¹ ont déterminé les relations calorifiques durant les différentes phases du procédé. Pour une charge composée des matériaux suivants :

Fonte	10 500 kilogrammes.
Chaux	130 —
Ferro-manganèse (76,7 p. 100 Mn)	70 —
Ferro-silicium (48,33 p. 100 Si)	20 —
Spiegel (9,5 p. 100 Mn)	700 —

ils ont trouvé que la fonte qui contenait :

C	Si	Mn	P	S
3,354	0,481	0,85	2,009	0,177

absorbait 43 p. 100 de la chaleur totale du convertisseur et le restant, soit 57 p. 100, était employé pour l'oxydation des divers éléments du métal.

La chaleur était employée de la façon suivante :

Chaleur entraînée par les gaz et employée à décomposer l'humidité	24 p. 100.
Chaleur employée au chauffage de la chaux et entraînée dans la scorie	20 —
Chaleur perdue par rayonnement	8 —
Chaleur restant dans l'acier	48 —

Une autre méthode, mettant en évidence la chaleur utile employée pour l'oxydation de chaque élément, et la chaleur employée pour élever la température durant l'opération, a été imaginée par le professeur J.-W. Richards. Nous la donnons dans le tableau LIV.

Les degrés indiqués dans la dernière colonne, représentent l'élévation de la température du bain, pour chaque 1 p. 100 d'élément oxydé. Les calculs sont basés sur les températures suivantes :

Température initiale du bain	1 250°C
— finale du bain	1 600°C
— de l'air	100°C
— de la chaux ajoutée	600°C

¹ *Stahl und Eisen*, janvier 1909, pp. 121-133.

² *Electrochemical and Metallurgical Industry*, vol. V, p. 14.

D'après le professeur Richards, le tableau ci-dessus ne doit servir que pour la comparaison, il ne peut servir pour le cas, par exemple, où l'on doit oxyder 1 p. 100 de silicium, 3 p. 100 de fer, 4 p. 100 de carbone et 2 p. 100 de phosphore, mais que pour chaque cas spécifique, les calculs doivent être basés sur les conditions spécifiques obtenues, telles que la température du métal au moment du départ, la température du vent, la durée du soufflage (en tenant compte des pertes par rayonnement et par conductibilité), la proportion de carbone brûlée en CO^2 , la quantité d'oxygène libre dans les gaz, l'humidité du vent, la température et la quantité de chaux ajoutée et la corrosion du revêtement.

Enfin beaucoup d'autres savants, trop nombreux à nommer, sont venus ajouter d'autres observations sur les actions thermo-chimiques du procédé Bessemer, qui ont rendu plus ou moins service aux manufacturiers.

TABLEAU LIV

Effet calorifique d'oxydation de 1 gramme d'élément.

	CHALEUR d'oxydation. Calories par kilogramme.	CHALEUR de formation de la scorie. Calories par kilogramme.	CHALEUR totale développée. Calories par kilogramme.	EFFET de refroidis- sement du vent, du rayonne- ment, etc. Calories par kilogramme.	CHALEUR utile nette pour élever la température. Calories par kilogramme.	ÉLÉVATION théorique de la température °C.
Silicium	7 000	—	7 000	1 688	5 312	188
Manganèse	4 653	98	4 751	430	4 321	51
Fer en FeO	1 173	159	1 332	422	910	33
Fer en Fe^2O^3	1 746	159	1 905	825	1 080	42
Titane	5 000	—	5 000	1 022	3 978	150
Aluminium	7 272	—	7 272	1 305	5 967	224
Nickel	1 051	159	1 210	378	832	33
Chrome	3 000	—	3 000	887	2 113	81
Carbone en CO^2	8 100	—	8 100	3 936	4 164	143
Carbone en CO	2 430	—	2 430	2 572	—142	—5
Phosphore	5 897	2 572	8 469	{ 2 477 } { 2 253 }	3 739	133

¹ Effet de refroidissement de la chaux ajoutée si préalablement chauffée à 600°C.

CHAPITRE XIV

L'ÉVOLUTION DU CONVERTISSEUR BESSEMER

En indiquant le développement et l'application de ce procédé, il faudra associer de nombreux noms, à celui de Sir Henri Bessemer. Le plus ancien en date est, sans aucun doute, celui de Robert Mushet qui a montré le rôle et l'importance du manganèse dans ce procédé de transformation. Puis ensuite, nous trouvons les noms de Sidney Thomas et Percy Gilchrist associés à l'application des revêtements basiques, pour l'utilisation économique, dans le convertisseur des fontes phosphoreuses. Plus récemment encore Clapp, Griffiths, Walrand, Robert, Zenzes et Tropenas ont associé leurs noms aux convertisseurs à soufflage latéral ou à la surface quoique la méthode de soufflage latéral de l'air, dans le métal liquide contenu dans la cornue, ait été essayée par Sir Henri Bessemer lui-même dans ses premières expériences. Quant au principe de souffler l'air à la surface du bain, au lieu de l'envoyer dans l'intérieur de celui-ci, il fut appliqué pour la première fois par Tropenas en 1890. Jusqu'à cette époque, on considérait comme nécessaire et indispensable de créer dans l'intérieur du bain, au moyen de l'air, un violent bouillonnement.

Premières expériences. — Les phases du développement des premiers convertisseurs dessinés et brevetés par Sir Henry Bessemer, sont représentées par les figures suivantes. Ses premières expériences furent faites avec un creuset en argile de 18 kilogrammes, dans

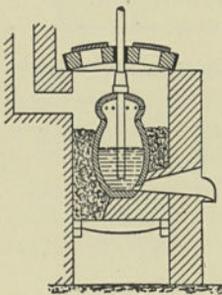


Fig. 48. — Creuset dans lequel Bessemer fit ses premiers essais.

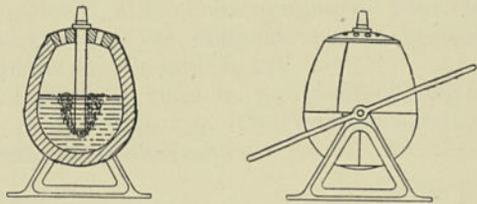


Fig. 49.

lequel on fondait quelques kilogrammes de fonte, qu'il transformait ensuite en acier, au moyen d'un courant d'air débouchant d'un tube en argile

plongé jusque près du fond du creuset. Comme le représente la figure 48 le creuset était chauffé dans un four ordinaire. « Avec ce simple appareil », écrivait Sir Henry Bessemer, « je fis toutes mes premières expériences. »

La figure 49, montre en coupe et en élévation, la cornue oscillante brevetée en 1855. On voit que le tube qui amène le vent dans le métal traverse le couvercle de l'appareil.

La figure 50 représente deux vues d'une cornue sphérique, brevetée à la même époque, et dans laquelle le tube d'arrivée d'air pénètre sous un angle de 45°. Cet appareil ne fut jamais construit.

Convertisseur avec tuyères sur le côté. — En 1856, avant que Sir Henry Bessemer ne fit de l'acier à Sheffield, il expérimentait un convertisseur fixe à

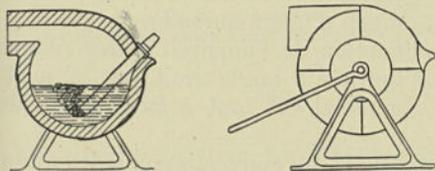


Fig. 50.

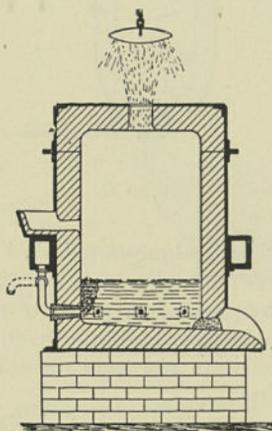


Fig. 51. — Convertisseur dans lequel Bessemer entreprit ses expériences à Saint-Pancras.

Saint-Pancras, London. La figure 51, représente une coupe, suivant l'élévation, de l'appareil employé. On remarquera que ce dessin, réunit en lui-même, plusieurs des caractéristiques propres au cubilot employé pour refondre la fonte : la chambre à vent entoure l'enveloppe, les tuyères et les porte-vent traversent le revêtement. Jusqu'à un certain point, cet appareil peut être considéré comme un cubilot fermé.

Dans le revêtement et à proximité du fond, il y avait six tuyères. Chaque tuyère était mobile afin d'en permettre le nettoyage et la réparation. Le revêtement était fait avec des briques réfractaires de Stourbridge de 10 centimètres d'épaisseur. Ce type de convertisseur fut abandonné, car il n'était pas possible de faire suffisamment pénétrer le vent dans le métal fondu, et par suite il y avait usure excessive du revêtement au-dessus des tuyères.

Convertisseurs avec tuyères dans le fond. — Le premier convertisseur, avec tuyères dans le fond, fut breveté par Bessemer en 1857. Il n'y avait qu'un seul trou de tuyère dans le fond, au travers duquel passait l'air, et quand l'opération était terminée, on retirait le métal. Un dispositif spécial permettait de faire cette double manœuvre. La cornue était placée dans une position fixe. La figure 52 représente celle-ci en coupe.

Le perfectionnement qui a immédiatement suivi, fut celui de donner à la cornue, un mouvement de rotation permettant d'en vider le contenu, non

plus par le fond, mais sur le côté. La figure 53 représente cet appareil en élévation et en coupe.

Dans la figure 54, on remarquera que l'ouverture de chargement et de vidage est placée à proximité de la partie supérieure de la cornue et

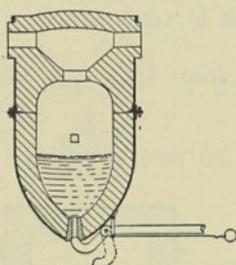


Fig. 52.

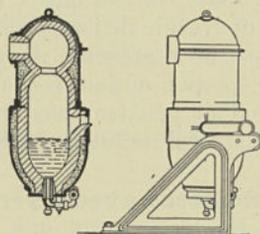


Fig. 53.

dans le prolongement de l'axe de l'arbre de rotation, auquel est fixée la cornue, laquelle se manœuvrait au moyen d'une manivelle.

La figure 55, représente une modification de l'appareil représenté par la figure 54. Lorsque la cornue est tournée à angle droit, par rapport à sa position normale de soufflage, le métal est tout à fait dégagé des tuyères.

En 1858, Bessemer fit installer à Sheffield, un convertisseur mieux équilibré, qui représentait en quelque sorte le perfectionnement des appareils précédents. Il est représenté par la figure 56.

Deux années plus tard, il faisait breveter un dispositif perfectionné, composé d'une carcasse tournante sur laquelle se trouvaient fixées quatre cornues de convertisseurs. Chaque cornue était manœuvrée hydrauliquement

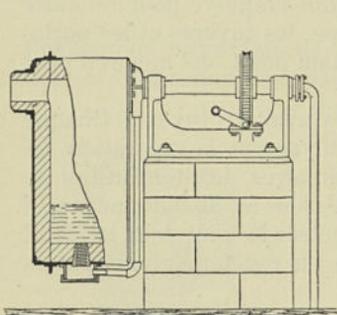


Fig. 54.

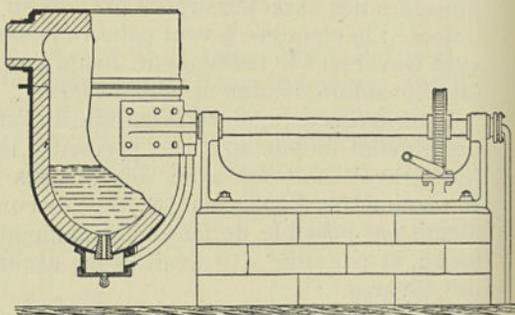


Fig. 55.

et comme tout le système tournait horizontalement, on pouvait faire de la même place, le chargement de toutes les cornues, tandis que le soufflage et la coulée se faisaient dans une autre. Le fond des convertisseurs donnant lieu à des ennuis, avec 4 convertisseurs il était possible, lorsque l'un des fonds devenait mauvais, de remettre, de suite, un autre convertisseur en service. La figure 57, représente en coupe, l'un des 4 convertisseurs.

Retour aux idées premières. — Il est certain, que l'emploi des tuyères dans le fond des convertisseurs, eut à surmonter d'énormes difficultés, car en 1861, Bessemer faisait breveter un convertisseur ayant un fond plein et dans lequel on employait, comme le représente la figure 58,

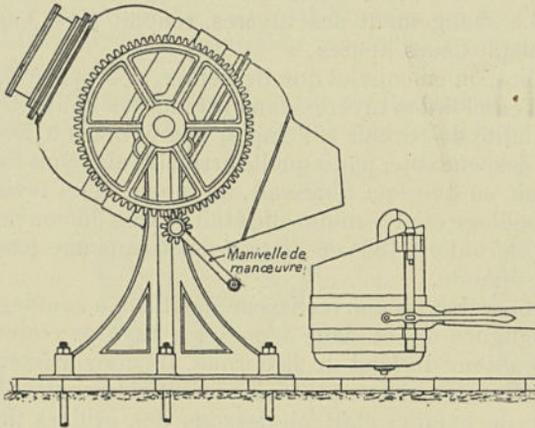
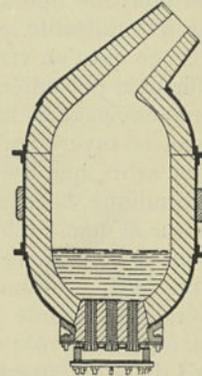


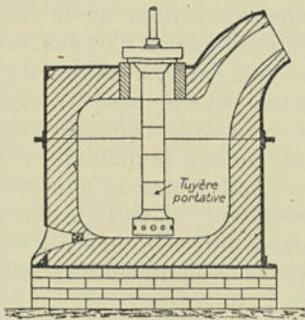
Fig. 56.



Coupe en élévation.

Fig. 57.

une tuyère portable. Ce faisant, Bessemer revenait en somme à sa première idée, à l'exception qu'il utilisait une tuyère toute montée au lieu d'un tuyau en argile. Dans son brevet il dit « que l'immense chaleur formée dans le voisinage des orifices des tuyères, combinée à l'action chimique



Coupe suivant l'élévation.

Fig. 58.

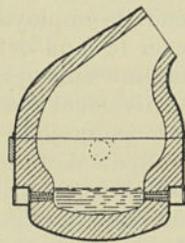
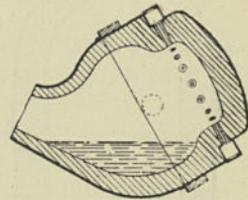
Coupe suivant l'élévation.
Convertisseur durant le soufflage.Coupe suivant l'élévation.
Convertisseur renversé.

Fig. 59.

des scories ou des oxydes de fer et de silicium, a pour résultat d'agrandir ces orifices de sorte que dans un temps très court, ces tuyères sont devenues inutilisables. Les tuyères arrivées à cet état doivent être remplacées par de nouvelles. L'ajustage de ces tuyères, d'après la pratique actuellement employée, nécessite d'abord la démolition des anciennes, puis le refroidissement de la cornue, après quoi il est seulement possible de mettre en place les nouvelles tuyères, en remplissant l'espace laissé libre

entre elles et le revêtement du fond avec une matière plastique généralement composée de ganister pulvérisé, mélangé avec de l'eau.

Lorsque ceci est terminé, on fait du feu dans la cornue du convertisseur, de façon à sécher convenablement toutes les parties humides et à chauffer suffisamment l'intérieur du convertisseur, avant de commencer une nouvelle opération. Le changement des tuyères, rendait ainsi l'appareil inutilisable, pendant plusieurs heures. »

De ce que l'on vient de lire, on en conclut que Bessemer, désespéré des difficultés présentées par l'emploi des tuyères dans le fond des convertisseurs envisageait la possibilité de revenir à l'emploi des cornues à fond plein. La tuyère portative descendante, par laquelle arrivait l'air, était fixé à un arbre que l'on élevait ou que l'on abaissait, au moyen d'un levier hydraulique. Lorsque le soufflage était terminé elle était retirée du convertisseur et quand elle était refroidie à 180° on l'introduisait dans une fosse chauffée pour la maintenir chaude.

En 1862, Bessemer fit breveter un convertisseur oscillant à soufflage latéral, représenté par la figure 59, et dans lequel les tuyères étaient placées sur le côté et tout autour du fond de la cornue. Ce convertisseur était disposé d'une façon telle, qu'en faisant le chargement et la coulée du métal, le niveau supérieur de celui-ci était au-dessous des orifices des tuyères, ces deux opérations se faisant le vent étant arrêté. Les cornues fixes, employées en Suède et en Allemagne, furent remplacées par des convertisseurs oscillants.

Fonds détachables (de Bessemer). — En 1863, Bessemer fit breveter ses premiers fonds détachables, destinés aux convertisseurs. Ce perfectionnement, constituait un premier pas dans la bonne voie, car il permettait de diminuer la durée du temps nécessaire à la confection d'un nouveau fond. En employant un fond carré, il suffisait d'enlever le fond défectueux pour le remplacer par un nouveau, opération qui se faisait dans un temps relativement court. Cependant, la difficulté était de faire un joint convenable entre le fond et le revêtement du convertisseur, travail qui nécessitait beaucoup de temps et parfois un arrêt considérable. La figure 60 représente le fond détachable employé.

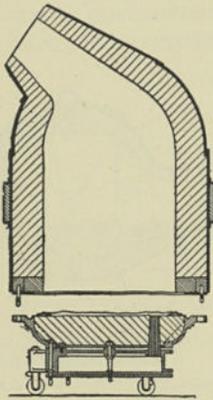


Fig. 60. — Fond détachable de Bessemer.

Le talent et l'ingéniosité développés par Bessemer, montrent bien l'habileté de l'homme, ainsi que son esprit de persévérance en présence des ennuis et des difficultés. Grâce au brevet mentionné ci-dessus, il solutionnait le problème attaché à son convertisseur et à son procédé, la seule difficulté présentée par le fond détachable et que nous indiquions ci-dessus, devant être vaincue quelques années plus tard par Holley. Depuis cette époque, rien de marquant n'est venu s'ajouter à l'appareil Bessemer qui, mettant de côté quelques questions de détail, est resté tel qu'il était il y a cinquante ans et le procédé est appliqué sur les mêmes

principes généraux que ceux qui servaient de base, lors des premières années de l'ère de fabrication de l'acier Bessemer.

Fonds détachables (de Holley). — En 1868, A.-L. Holley et Pearse, de Pensylvanie (E.U.) firent breveter un fond détachable, ainsi que des moules, pour la réparation rapide du revêtement de la cornue et des fonds.

Le moule pour remplacer le revêtement du joint du fond du convertisseur, avait la forme d'un cône que l'on fixait à la cornue lorsque le fond

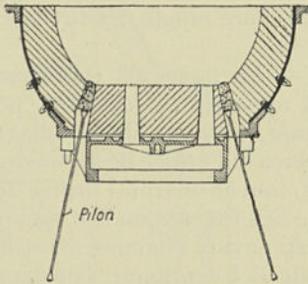
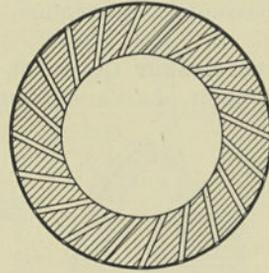


Fig. 61. — Fond détachable de Holley.



Coupe par les tuyères.

Fig. 62. — Convertisseur suédois.

était enlevé. On détachait, dans la partie inférieure du corps de la cornue une partie qui permettait de pilonner entre le moule et le revêtement qui l'entourait, sans qu'il soit nécessaire de faire entrer un ouvrier dans l'intérieur de l'appareil. La réparation se faisait ainsi rapidement.

Le moule employé pour pilonner les fonds, produisait un joint mâle qui pénétrait dans le fond du corps de la cornue, en faisant ainsi un joint très satisfaisant entre ce dernier et le fond.

La figure 61, représente un perfectionnement dans la fabrication des joints des fonds détachables. Il fut breveté par Alex. L. Holley, en 1870, et constitue un perfectionnement marqué de son ancien brevet. Au lieu de faire le joint du fond par le côté, ce qui obligeait d'enlever une partie de la base du convertisseur, on met en place le nouveau fond et l'on pilonne le joint laissé entre le fond et la base de la cornue, opération qui ne présente aucune difficulté, et qui permet de faire rapidement un joint très convenable.

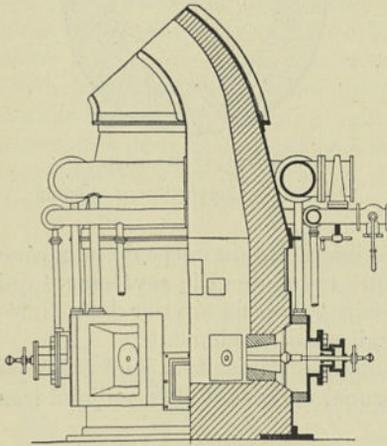
Petits convertisseurs à soufflage latéral. — Quoique Bessemer ait fait breveter en 1862, son convertisseur oscillant avec soufflage sur le côté, on continua à employer, pendant plusieurs années, les convertisseurs fixes en Suède et en Allemagne. La figure 62, représente une coupe par les tuyères de l'un de ces convertisseurs fixes. Il était indispensable, avec l'ancien type du convertisseur fixe suédois, de continuer de souffler tant qu'il y avait du métal dans l'appareil, sans quoi il aurait pénétré dans l'intérieur de la boîte à vent. Vider le métal avant que le carbone soit complètement réduit, cela produisait de l'acier de qualité irrégulière, et attendre la fin du soufflage, avant de couler le métal et continuer à

souffler en plein ou partiellement durant la coulée, cela donnait de l'acier sursoufflé.

En Angleterre, en Amérique et sur le continent on a fait des essais pour éviter ces ennuis et ils ont conduit aux résultats suivants :

Convertisseur Vitthöft. — C'était un convertisseur du type fixe, analogue au convertisseur suédois, mais les tuyères étaient inclinées sur l'horizontale et leurs extrémités dans la boîte à vent, placées d'une façon telle, qu'elles se trouvaient au-dessus du niveau du métal dans le convertisseur. Il y avait 4 tuyères au lieu du chiffre habituel de 20. Ce type de convertisseur fut abandonné, par suite de l'usure rapide des tuyères.

Convertisseur Clapp et Griffiths. — La figure 63 représente ce convertisseur. La caractéristique de cet appareil est que l'on pouvait fermer, à la fin du soufflage, les tuyères et l'orifice de sortie des scories, tout en ouvrant l'orifice de coulée. Les tuyères étaient au nombre de six, ayant chacune un orifice de sortie de 5 centimètres de diamètre, elles étaient placées horizontalement et convergeaient, vers le centre de l'appareil. Elles débouchaient à 20 centimètres au-dessus du fond du convertisseur, de sorte que quand on avait retiré la moitié du métal, on pouvait ouvrir les valves de fermeture des tuyères et l'on soufflait doucement tandis que l'on retirait le restant du métal du convertisseur.



Demi-coupe en élévation.

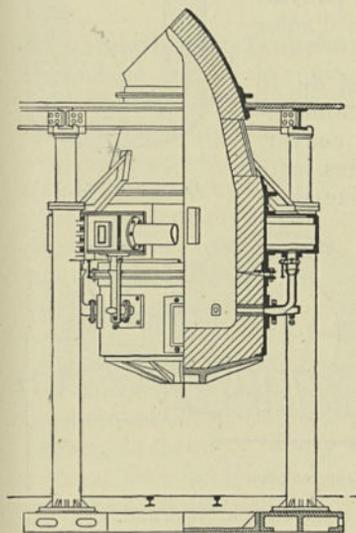
Fig. 63. — Convertisseur Clapp et Griffiths.

Ces convertisseurs marchaient d'une façon satisfaisante, chaque équipe pouvant faire chacune 20 soufflages sans difficulté. La pression de l'air envoyé était de 465 à 620 grammes par centimètre carré. On devait remplacer les tuyères après 20 ou 40 soufflages. Toutefois, les réparations de l'orifice de la cornue étaient assez fréquentes, aussi la pratique était de travailler avec une cornue pendant la première moitié de la semaine, puis de l'arrêter pour y faire les réparations nécessaires, le travail du restant de la semaine se faisant avec une autre cornue.

Convertisseur Hatton. — Dans ce convertisseur, qui fut breveté en 1883 et qui est représenté par la figure 64, le principal perfectionnement se trouve dans l'emploi d'une valve, placée sur le tuyau conduisant le vent à chaque tuyère, et qui se fermait au moment de la coulée. On évitait ainsi l'emploi des robinets-valves et des pistons différentiels compliqués employés avec le type Clapp et Griffiths. La boîte à vent était au-dessus et non de niveau avec les tuyères, de sorte que les réparations

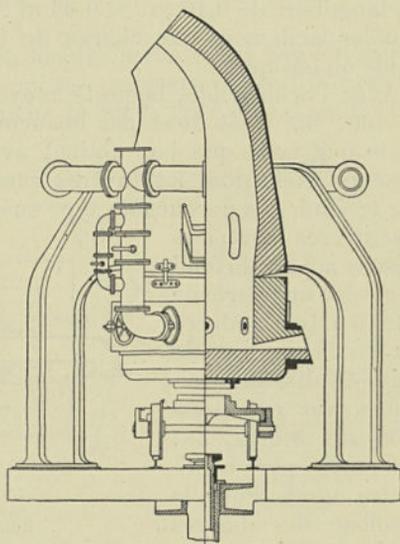
pouvaient être faites plus facilement. On employait également un fond détachable que l'on remplaçait après avoir fait de 50 à 80 soufflages.

Convertisseur Witherow. — En 1885, Witherow fit breveter un convertisseur représenté par la figure 65 et dans lequel on obtenait avec une seule valve le même effet que celui obtenu avec 6 valves dans le convertisseur Hatton. Le but était le même, c'est-à-dire de diminuer la pression du vent sur la fin du soufflage. On remarquera sur la figure,



Demi-coupe en élévation.

Fig. 64. — Convertisseur Hatton.



Demi-coupe en élévation.

Fig. 63. — Convertisseur Witherow.

que la conduite de vent est reliée par un tuyau à la boîte à vent et que sur ce tuyau il y a une valve de réglage.

C'était certainement une innovation. Avec cet appareil on pouvait faire 3 soufflages à l'heure. Avec 2 convertisseurs permettant d'alterner les soufflages, on pouvait faire chaque heure 4 soufflages de 2 1/2 t. chacun, soit environ 150 tonnes en vingt-quatre heures.

Convertisseur Walrand. — Dans cet appareil, il existe un point caractéristique, qui le distingue de tous les autres convertisseurs que nous venons d'énumérer. On remarquera, en examinant la figure 66, que les tuyères sont placées d'un seul côté, quoique dans la description du brevet daté de 1884, on représente une cornue de coupe circulaire comme celle représentée figure 67 et dont les tuyères s'étendent sur les 2/3 de la circonférence. Jusqu'ici, les tuyères avaient été placées en rond, tout autour du fond ou à mi-chemin du fond et de la surface de la charge.

Walrand place les 4 tuyères sur un seul côté, en les inclinant légèrement vers le centre, afin de donner un mouvement de rotation au métal liquide. Elles étaient placées plus près de la surface que du fond. Ceci

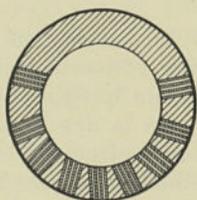
paraît faire faire un pas en arrière, car on avait toujours remarqué, que plus le vent débouchait près de la surface du métal, plus grandes étaient les pertes dues à l'oxydation. Ici toutefois, ce ne fut pas le cas. Il n'y avait également plus à craindre, l'introduction du métal dans les tuyères lors de l'arrêt du soufflage, puisque ce convertisseur était monté sur tourillons et basculait de la manière habituelle. Chacune des 4 tuyères avait une ouverture rectangulaire de 0,10 m. \times 0,03 m., et l'on pouvait souffler facilement une charge de 1 tonne d'acier acide ou basique.

Avec l'acier acide, la perte moyenne est de 16 p. 100, elle n'est donc pas beaucoup plus importante que celle que l'on obtient avec les convertisseurs fixes, dont les tuyères sont placées juste sur le fond.

Les cornues du type suédois (fixe) dont les tuyères sont disposées autour du fond accusent une perte de 12 à 15 p. 100. La durée du soufflage est de seize à dix-huit minutes avec une pression de 310 à 387 grammes par centimètre carré. Pour le soufflage des charges basiques, il faut souffler

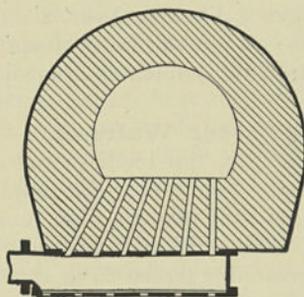
à une pression un peu plus faible et la durée de soufflage par tonne est de 6 à 12 minutes. On peut faire 2 à 3 charges à l'heure.

Convertisseur Robert. — La figure 68, représente une coupe transversale du convertisseur Robert. Elle représente une si grande analogie avec celle du convertisseur Walrand, qu'il est difficile de saisir le motif du brevet pris en 1887.



Coupe par les tuyères.

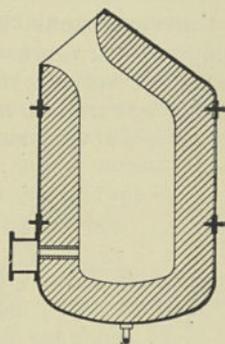
Fig. 67. — Convertisseur Walrand.



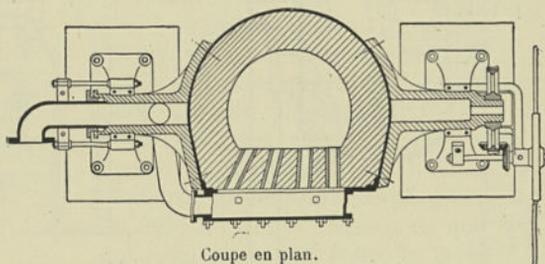
Coupe par les tuyères.

Fig. 68. — Convertisseur Robert.

Robert emploie plus de tuyères, ayant chacune un orifice de section diffé-



Coupe verticale.



Coupe en plan.

Fig. 66. — Convertisseur Walrand.

rente, que dans le convertisseur Walrand. Il donne également à chaque tuyère, un angle défini, variant de 0° à 20° par rapport à la verticale. Une autre différence se remarque pour l'emplacement des tuyères, qui sont encore placées plus près de la surface du métal que dans le convertisseur Walrand, la distance étant de 0,35 m. au lieu de 0,85 m. Robert prétend qu'en plaçant les tuyères près de la surface du métal, la réaction se produit dès l'arrivée du vent dans le métal liquide, de sorte que les produits de la réaction se mélangent immédiatement à la scorie, au lieu de traverser toute l'épaisseur du bain.

Convertisseur Tropenas. — En lisant l'histoire des convertisseurs à soufflage latéral, on remarquera que les premiers convertisseurs suédois avaient leurs tuyères placées dans le fond, puis petit à petit, l'emplacement des tuyères s'est élevé vers la surface, de sorte que l'on arrive finalement au convertisseur Tropenas dont la figure 69, représente plusieurs coupes et dans lequel le vent arrive, sur le côté du convertisseur et directement à la surface du métal.

Tropenas a fait faire un progrès spécial au développement du procédé de transformation de la fonte en acier, car il a montré qu'il n'était pas nécessaire de produire un violent bouillonnement du métal dans le convertisseur, ce qui jusqu'à présent avait été considéré comme absolument essentiel.

La figure 69, *a*, *b*, *c* et *d*, représente des coupes en élévation et en plan de ce convertisseur, on y voit la position des tuyères par rapport à la surface du métal.

Son brevet de 1891 indique deux rangées de tuyères, ce qui constitue « une méthode pour élever la température dans le convertisseur, en projetant de l'air par des tuyères, placées à une hauteur suffisante, pour provoquer la combustion de CO et de l'hydrogène qui se dégagent pendant l'opération ». Après quelques années d'expérience on a constaté que la rangée supérieure de tuyères n'était pas nécessaire.

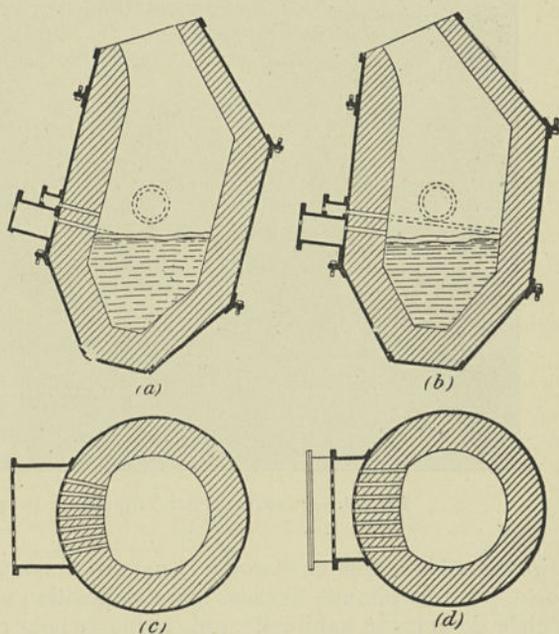


Fig. 69. — Convertisseur Tropenas.

(*a*), Position de soufflage. Tuyères inférieures en action. — (*b*), Position de soufflage. Tuyères supérieures en action. — (*c*), Coupe suivant les tuyères inférieures. — (*d*), Coupe suivant les tuyères supérieures.

Convertisseurs « Drop-Bottom ». — Tropenas a récemment appliqué le « drop-bottom » aux petits convertisseurs, de la même façon qu'on l'emploie actuellement aux cubilots. Il y a deux battants à charnière formant porte, que l'on maintient fermée au moyen d'une barre transversale, passant par le milieu et retenue au fond par de solides attaches. La figure 70 représente ce dispositif d'attache.

Chaque jour, après le soufflage, on ouvre les portes et on jette bas le fond.

Ceci permet un refroidissement rapide, facilitant les réparations néces-

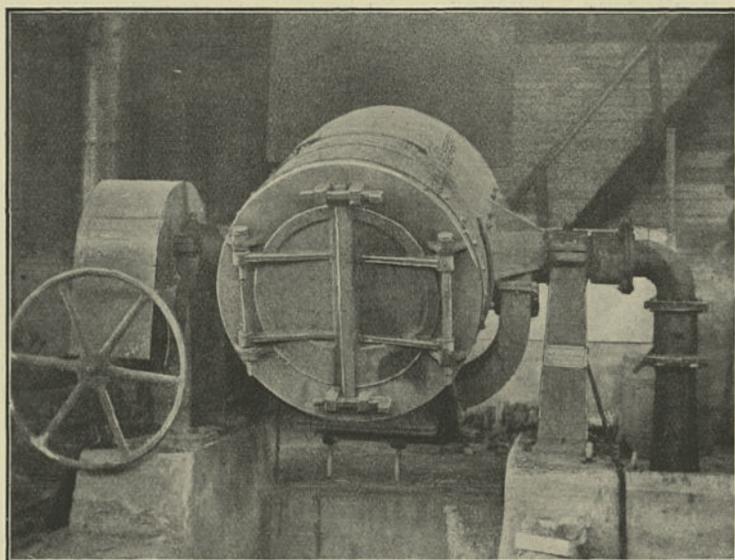


Fig. 70. — Convertisseur Tropenas « Drop-Bottom ».

saires avant la remise en marche. Pour faire un nouveau fond, on referme la porte, puis on pilonne dessus, une composition spéciale qui est d'abord séchée de la façon habituelle, puis préparée pour recevoir le métal chaud. Grâce à ce dispositif, on peut travailler tous les jours avec le même convertisseur, au lieu d'alterner le travail comme cela se fait avec les autres convertisseurs à fond plein.

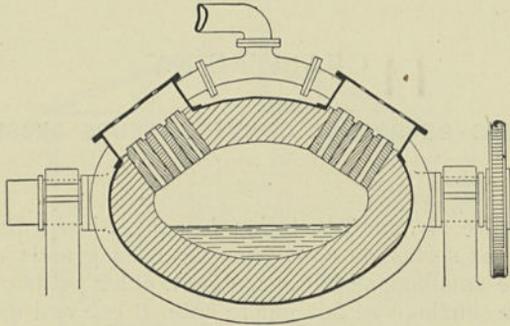
Convertisseur Stock. — La figure 71 représente une coupe passant par le revêtement et les tuyères du convertisseur Stock, breveté en 1908. Cet appareil sert à la fusion et à la transformation de la fonte. Pour la fusion, on place des jets d'huile dans les tuyères et l'on envoie l'huile sous une pression de 31 à 46 grammes par centimètre carré.

La fusion se fait le convertisseur étant placé horizontalement, et les gaz chauds sont dirigés dans une chambre, dans laquelle passent les tuyaux d'arrivée du vent pour le soufflage des convertisseurs, ce qui permet ainsi d'élever la température de l'air.

Lorsque la fusion est terminée, on retire les jets d'huile, et l'on met le convertisseur en place pour le soufflage.

Les principaux avantages de ce procédé sont les suivants :

1° Il n'y a aucune introduction de soufre pendant la fusion ;



Coupe par les tuyères.

Fig. 74. — Convertisseur Stock.

2° Les pertes de chaleur, provenant de la fusion, sont utilisées au chauffage du vent.

CHAPITRE XV

ATELIERS DE GRANDS CONVERTISSEURS BESSEMER

Dans le Chapitre XIV, sur l'évolution du convertisseur Bessemer, nous avons décrit deux sortes de convertisseurs : les grands convertisseurs dans lesquels le soufflage se fait par le fond, et les petits convertisseurs, dans lesquels le soufflage se fait par le côté. Il est vrai qu'il existe, des petits convertisseurs de 2 tonnes de capacité qui sont soufflés par le fond, mais ils sont, pour la plupart, généralement employés pour la fabrication des moulages en acier et non pour la fabrication des lingots qui est généralement réservée aux grands convertisseurs. L'équipement des ateliers de grands convertisseurs est nécessairement beaucoup plus important que celui des ateliers de petits convertisseurs. Le travail de la plupart de ces grands ateliers est en relation directe avec les hauts fourneaux ou indirecte, par l'intermédiaire des mélanges. (Dans certaines usines, il est d'un usage courant, de refondre la fonte dans les cubilots avant de la transformer en acier.) Les dimensions des convertisseurs se sont développées petit à petit de sorte, qu'il en existe actuellement qui peuvent contenir de 30 à 35 tonnes de métal.

Les convertisseurs à revêtement basique ou à revêtement acide, ne diffèrent surtout, les uns des autres, que par la nature du revêtement employé, mais au point de vue du plan, de l'arrangement général et des dispositions mécaniques, les ateliers de ces deux types de convertisseurs ne sont pas nécessairement différents les uns des autres. Le convertisseur à revêtement basique, est d'une capacité généralement plus grande, que le convertisseur à revêtement acide, par suite de l'emploi dans le premier de la chaux et des oxydes, mais en dehors de cette exception, les deux ateliers peuvent être parfaitement identiques.

Plan et disposition générale des ateliers Bessemer. — La localité et la situation des usines, les relations des convertisseurs Bessemer avec les hauts-fourneaux (s'il y en a) et les laminoirs, ainsi que la capacité des convertisseurs, influent considérablement et sur le plan et sur l'arrangement général de l'atelier. Les convertisseurs Bessemer destinés à la fabrication des lingots, ont une capacité qui varie de 5 à 35 tonnes, mais certaines usines produisent encore des lingots avec des appareils ayant moins de 5 tonnes de capacité. Pour les grands ateliers, les machines auxiliaires utilisées pour la manutention des matières premières et du métal liquide, doivent nécessairement être beaucoup plus puissantes que celles utilisées dans les installations plus petites.

Cubilots. — Indépendamment des petits cubilots employés pour la fusion du spiegeleisen, et que nous représentons figure 87, on utilise éga-

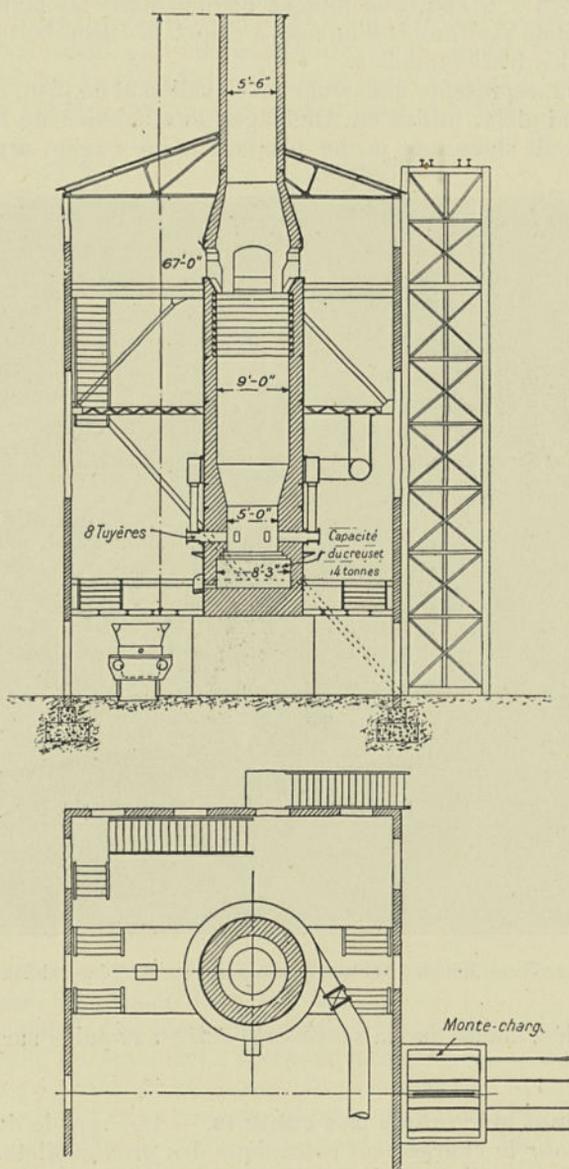


Fig. 72. — Cubilot des aciéries de Burbach (Allemagne).

lement de plus gros cubilots pour refondre la fonte, lorsque celle-ci ne peut être versée directement du haut-fourneau ou du mélangeur dans le convertisseur. Le dessin de ces cubilots diffère sur certains points parti-

culiers. En ce qui concerne le fond, certains cubilots ont un fond plein et sont munis de creusets de différentes capacités, desquels on retire le métal quand il y a lieu, absolument comme dans les petits cubilots, d'autres cubilots sont munis d'un fond à clapet ou « drop-bottom » et sont montés sur des trucks mobiles.

La figure 72, représente une coupe en élévation et en plan, d'un type de cubilot à fond plein, utilisé en Allemagne aux aciéries de Burbach. Le métal est coulé dans une poche placée sur un wagon, arrêté sous le

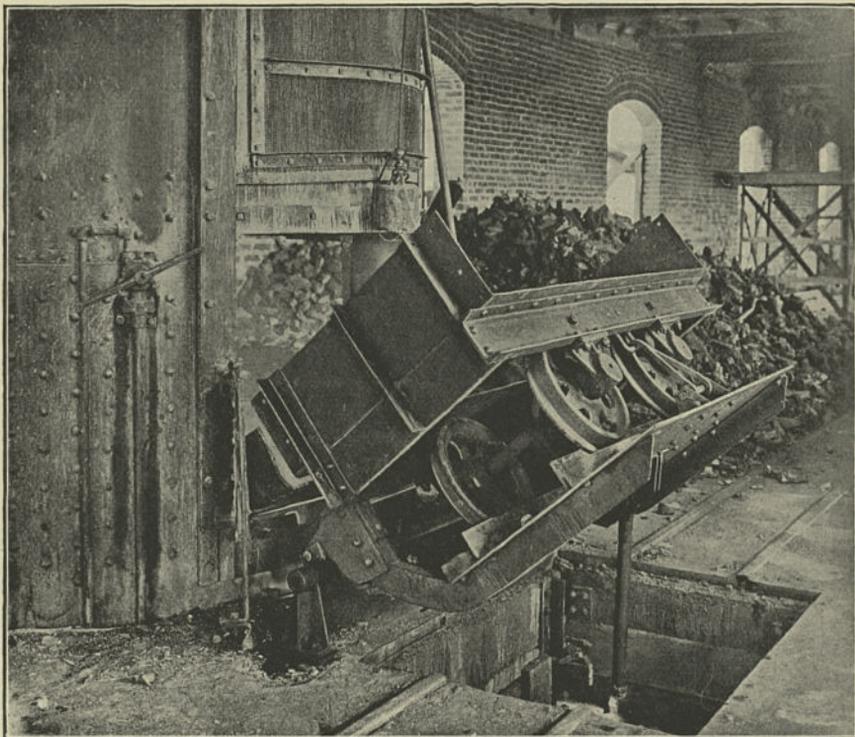


Fig. 73. — Machine Whiting pour le chargement des cubilots.

trou de coulée, tandis que la scorie est coulée aux pains sur des trucks spéciaux.

Chargement mécanique des cubilots. — On emploie de nombreux dispositifs pour le chargement mécanique des gros cubilots. Dans certaines usines, tous les matériaux tels que fonte, scraps, coke et calcaire sont élevés au moyen de transporteurs aériens, jusqu'à la partie supérieure du cubilot dans lesquels ils se déversent automatiquement. Le dispositif du chargement étant généralement basé sur les meilleures conditions de manutention des matériaux et sur le prix de la main-d'œuvre de l'endroit.

Lorsque les fontes et les scraps métalliques, sont amenés à l'usine par chemin de fer et déchargés dans la cour avec des transporteurs aériens à électro-aimant, l'emmagasinage du métal, en piles convenablement disposées pour le chargement des trucks à voie étroite, est scrupuleusement observé. Ces trucks sont chargés au moyen de grues électriques qui les élèvent, soit sur la plate-forme de chargement où ils sont vidés pour être chargés au fur et à mesure des besoins dans le cubilot, soit sur un plan-

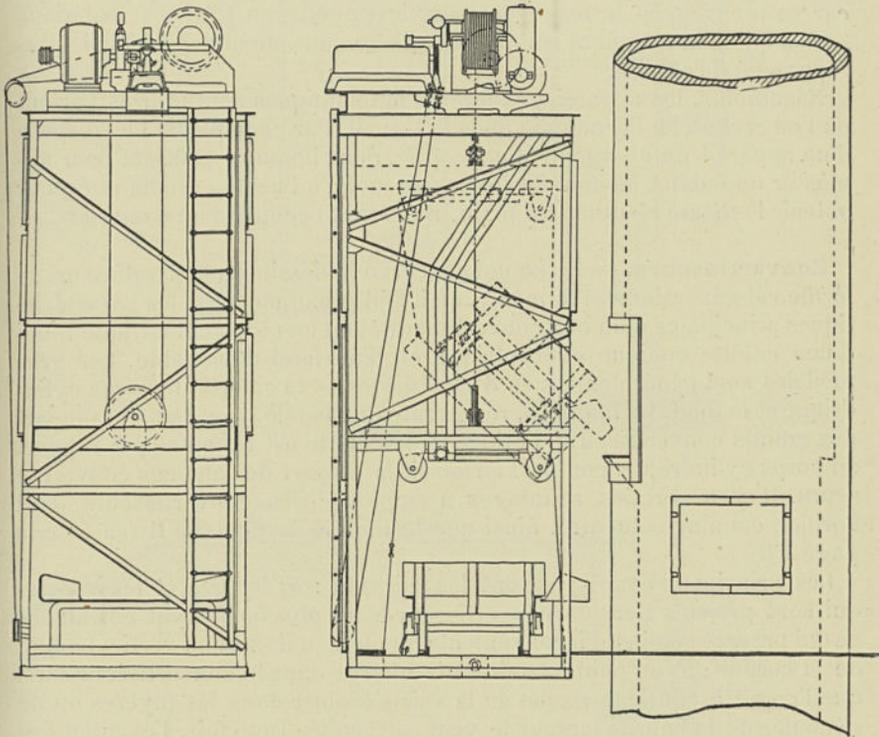


Fig. 74. — Machines Whiting pour le chargement des gros cubilots.

cher situé plus bas que celui du chargement et d'où ils sont basculés automatiquement dans les cubilots.

Les procédés de basculement employés sont nombreux, et la force employée pour cet effet, est demandée à la vapeur, à l'air, à l'eau ou à l'électricité. En Amérique ce procédé, est beaucoup plus employé que dans les autres pays. La figure 73, représente une photographie d'une machine de chargement Whiting dans la position du basculement. On remarquera que les trucks employés sont d'une construction simple. Pour le chargement de la fonte et des scraps, ils sont seulement munis à leurs extrémités de deux parois de 0,30 m., les deux autres côtés étant libres mais pour le chargement de coke ces deux côtés sont munis de parois fixées au moyen de charnières.

Sur le côté du cubilot, et dans le voisinage de la porte de chargement,

il y a une valve hydraulique faisant fonctionner le cylindre de basculement. La figure 74 représente un autre type de chargeur. Ici, le wagonnet chargé est élevé au moyen d'un treuil électrique et quand il est arrivé à hauteur de la porte de chargement on le fait basculer au moyen d'un dispositif spécial.

On reproche généralement, aux appareils de chargement mécanique, de ne pas distribuer uniformément les matériaux introduits dans le cubilot. Cependant, cette distribution peut être facilement réglée par l'opérateur, car un mouvement brusque de bascule projette au loin les matériaux tandis qu'un mouvement lent les fait glisser doucement sur le côté le plus rapproché du cubilot.

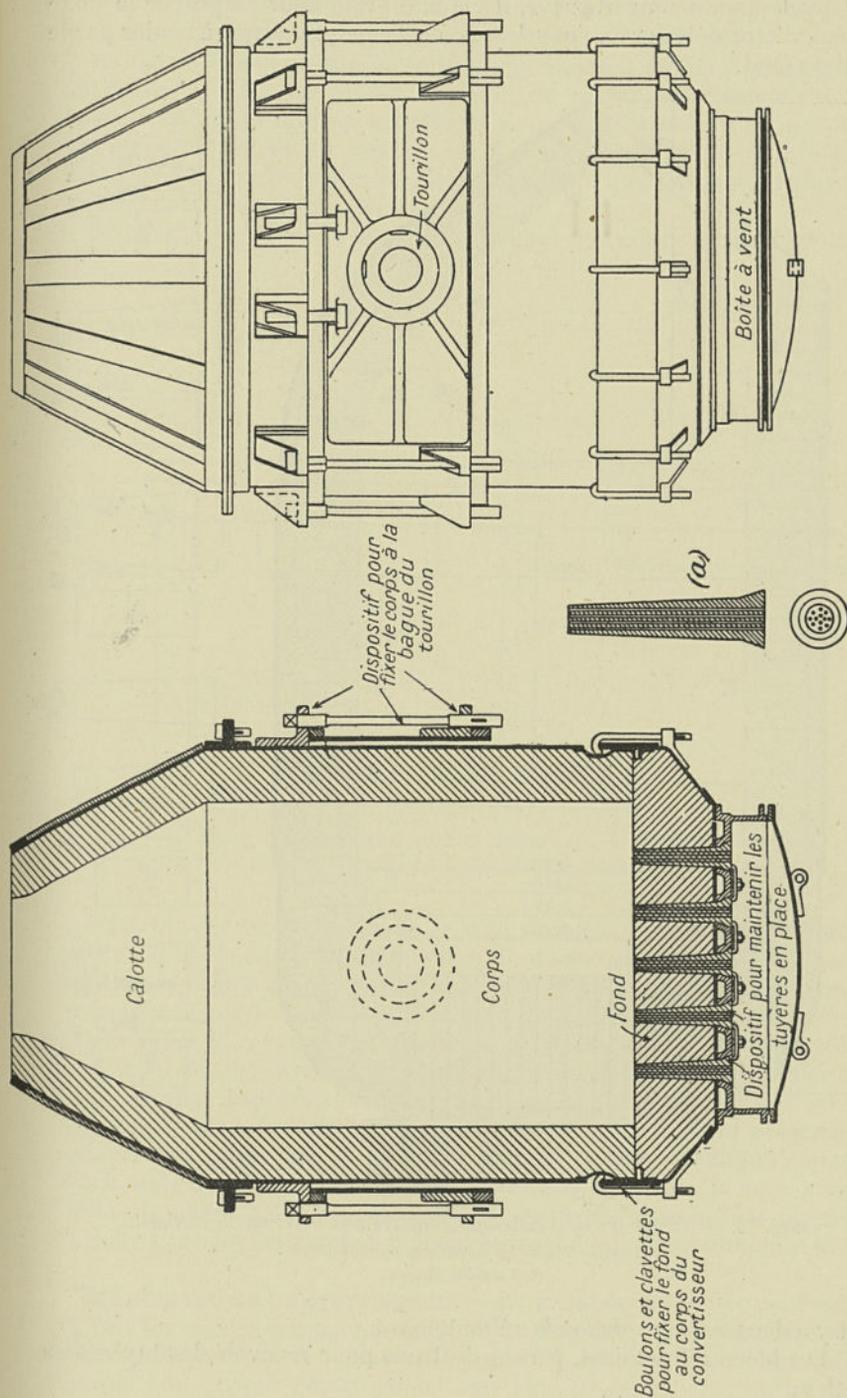
Néanmoins, les appareils chargeurs automatiques sont utilisés partout où l'on recherche l'économie dans le travail. Par exemple, si l'on dispose d'un appareil de chargement approprié, deux hommes suffisent pour alimenter un cubilot fondant 20 tonnes de métal à l'heure ; tandis que pour obtenir le même résultat à la main, il faudrait occuper 5 ou 6 ouvriers.

Convertisseurs. — En ce qui concerne le dessin du convertisseur, sa forme est généralement la même, qu'il soit grand ou petit ; les caractéristiques principales d'un bon convertisseur étant un corps cylindrique muni d'une calotte conique concentrique et d'un fond détachable. Les gros modèles sont généralement en 3 ou 4 pièces — la calotte, le corps cylindrique et le fond. La figure 75, représente un modèle type. Dans la plupart des grands convertisseurs, l'orifice de la calotte est excentré par rapport au corps cylindrique, comme l'on faisait la plupart des anciens convertisseurs. Il y a certains avantages à employer des convertisseurs dont l'orifice est ainsi excentré, ainsi que le montre la planche II (en face la page 200).

Les principaux avantages sont les suivants : *a*) les gaz et les scories qui sont projetés hors du convertisseur, sont plus facilement entraînés ce qui présente moins d'inconvénients que lorsqu'ils sortent verticalement de la cornue ; *b*) on peut introduire la charge dans le convertisseur sans que l'on ait à courir le risque de la voir s'écouler dans les tuyères ou de s'écouler de la calotte lorsque le vent est arrêté. Toutefois, l'examen des tuyères, en regardant par l'intérieur du convertisseur, n'est pas aussi facile lorsque la calotte est excentrée.

Fonds de convertisseurs. — Pour les convertisseurs, on emploie maintenant généralement des fonds détachables. Ceux-ci se composent d'une boîte à vent, munie d'un dispositif spécial d'attache, pour la fixer à l'enveloppe du convertisseur et pour retenir le fond réfractaire. La figure 75, représente deux vues d'un convertisseur type, construit en trois parties, le fond étant fixé au corps de l'appareil au moyen de boulons et de clavettes.

Un autre modèle de convertisseur, avec fond détachable, est représenté par la figure 76. Dans celui-ci, le fond est fixé au corps du convertisseur au moyen de boulons disposés différemment de ceux représentés figure 75. Le modèle, représenté par la figure 76, est celui des convertisseurs employés aux aciéries de Burbach. Entre la boîte à vent



Coupe et plan d'une tuyère.

Fig. 75. — Convertisseur moderne avec calotte concentrique.

et l'enveloppe du convertisseur, il y a une bride pour empêcher la boîte à vent d'être détériorée, dans le cas où l'acier viendrait à couler par le joint du fond.

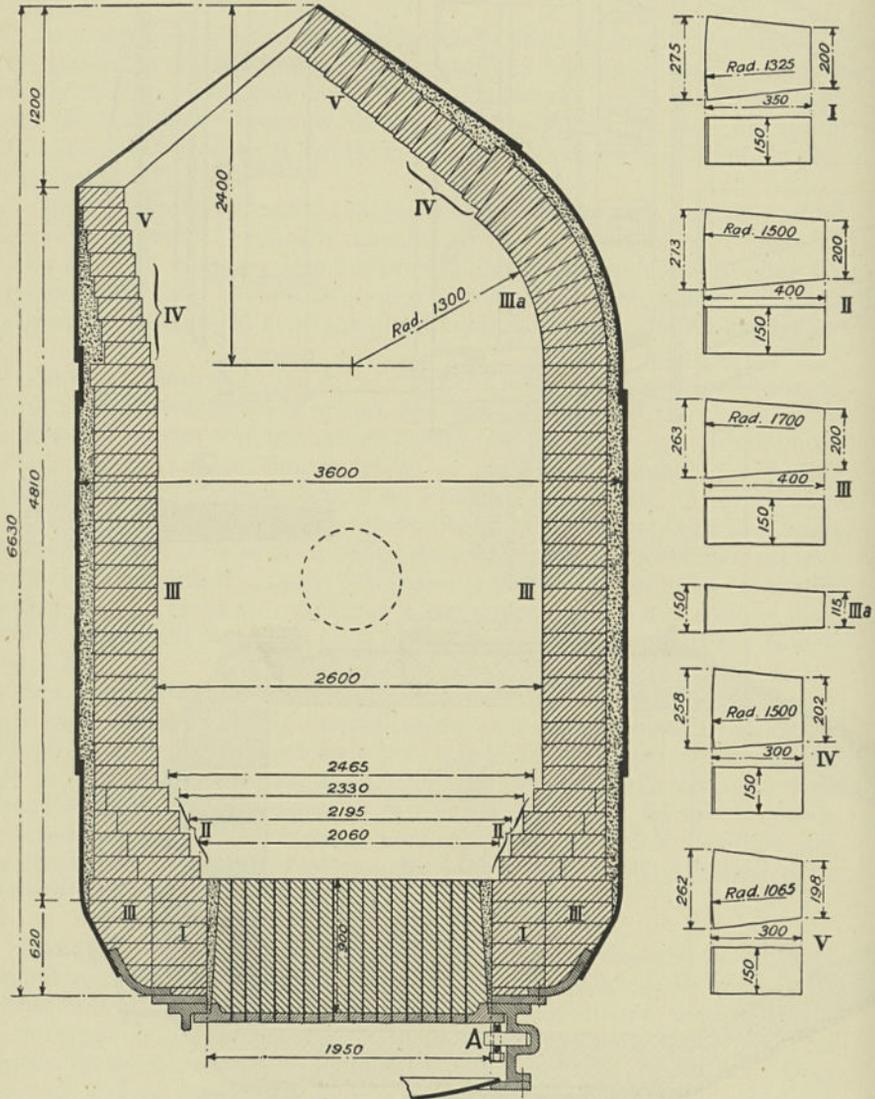


Fig. 76. — Coupe du convertisseur employé aux aciéries de Burbach.

NOTE. — Toutes les cotes sont en millimètres.
(Rad signifie Rayon).

Il y a deux espèces de fonds réfractaires :

1° Les blocs réfractaires, percés de trous pour recevoir des tuyères en argiles ;

2° Les blocs réfractaires qui sont pilonnés et percés de trous servant directement au passage du vent sans l'utilisation des tuyères.

La figure 75 représente un fond complètement pilonné et tuyéré dans sa position de marche. Il se compose de matériaux réfractaires et de tuyères en argile du type représenté en *a*. Les tuyères sont maintenues en place au moyen de boulons et d'étriers fixés sur la face inférieure de la plaque sur laquelle on pilonne le fond. On voit sur la gravure le mode de fixage des tuyères.

En ce qui concerne la figure 76, donnant une coupe verticale d'un con-

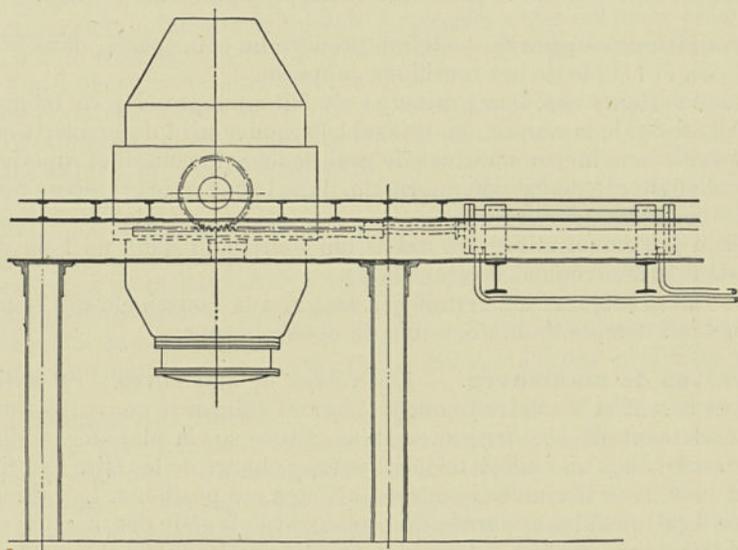


Fig. 77. — Dispositif pour la manœuvre du convertisseur, au moyen d'une crémaillère hydraulique, placée horizontalement.

vertisseur, on remarquera que le fond ou bloc réfractaire, est percé de petits trous d'environ 20 millimètres de diamètre au lieu d'être muni de tuyères en argile. Le bloc réfractaire, est damé sur une plaque perforée, au moyen d'une machine spécialement destinée à cet usage, représentée par la figure 85, page 202. Après séchage, le bloc est fixé à la base du convertisseur au moyen de vis de pression, traversant des barres d'acier doux, spécialement disposées dans le châssis de la boîte à vent. Ces vis sont représentées en *A*, figure 76. Ces blocs réfractaires sont présentés ou enlevés du convertisseur, au moyen d'un plateau hydraulique monté sur truck, sans que l'on soit obligé d'enlever autre chose que la boîte à vent et les vis de pression. Il n'est donc pas nécessaire de briser le joint, placé entre la boîte à vent et l'enveloppe du convertisseur, quand on remplace le bloc.

Manœuvre du convertisseur. — La méthode employée pour incliner ou relever le convertisseur se fait, soit au moyen d'une crémaillère et d'un pignon, comme cela est représenté figure 77, soit au moyen d'une vis sans fin que l'on adapte généralement aux convertisseurs de petites dimen-

sions. Dans le premier cas, le pignon est solidement fixé à l'un des tourillons placés sur le côté de la cornue, et la crémaillère qui le commande et fait corps avec le piston d'un cylindre hydraulique, se meut dans une glissière qui lui sert de guide, lorsque la pression est envoyée dans le cylindre. La manœuvre de la vis sans fin et de l'engrenage qu'elle commande se fait, soit au moyen d'une machine à vapeur, soit avec un moteur électrique, l'engrenage étant fixé, bien entendu, sur l'un des tourillons du convertisseur. Dans les grands ateliers, la manœuvre des convertisseurs est généralement hydraulique. Il y a un dispositif spécial pour protéger les engrenages contre la poussière et les projections de scories.

Tourillons-supports. — Il faut prendre un soin spécial dans la construction et l'étude de ces tourillons-supports.

Dans certains cas, leur graissage s'y fait sous pression au moment de l'inclinaison de la cornue, en utilisant le mouvement du convertisseur. Il faut également mettre un excès de graisse dans le coussinet supérieur, de façon à éviter toute friction anormale, dans le cas où le graissage automatique ne fonctionnerait pas.

On a également utilisé des galets qui tournaient dans un bain d'huile pendant le mouvement des tourillons.

On laisse toujours un certain jeu latéral aux coussinets des tourillons pour tenir compte de la dilatation du convertisseur.

Valves de manœuvre. — Les valves de manœuvre, c'est-à-dire les valves à vent et les valves pour incliner et relever le convertisseur sont généralement placées dans une cabine, située sur la plate-forme du convertisseur, dans un endroit tel que l'ouvrier chargé de les faire fonctionner peut apercevoir le convertisseur dans toutes ses positions. La cabine renferme également les appareils de signaux avec la salle des machines soufflantes, les manomètres indiquant la pression hydraulique et la pression du vent dans les conduites et les autres appareils de signaux avec les mélangeurs, les cubilots, les fours de fusion et les plates-formes de chargement.

Valves de secours et de retenue. — Aussi près que possible de la valve d'arrêt, et du même côté du convertisseur, se trouve une valve de retenue qui se ferme automatiquement lorsque la pression tombe, pour empêcher le retour des gaz explosifs dans les conduites de vent. Une valve de secours est également adjointe à la valve d'arrêt du vent, de sorte que le fonctionnement de l'une dépend du fonctionnement de l'autre. Ces valves peuvent aussi fonctionner indépendamment des valves à vent et peuvent servir, si on le désire, à régler la pression du vent. Dans certains cas, les valves de secours, placées sur les conduites de vent, sont tout à fait indépendantes des valves à vent, mais dans tous les cas elles fonctionnent automatiquement.

Machines soufflantes. — Pour envoyer l'air au convertisseur, il existe de nombreux types de machines soufflantes. Dans les usines où l'on peut économiquement utiliser le gaz des hauts-fourneaux, celui-ci sert à faire marcher les machines soufflantes. Dans d'autres usines, on emploie des machines soufflantes mues par l'électricité, mais le plus généralement on

emploi des machines soufflantes à vapeur, soit verticales, soit horizontales. Dans le Chapitre xvi, nous étudierons et comparerons quelques types de machines soufflantes modernes qui y sont représentées et décrites.

Groupement des convertisseurs par rapport aux autres appareils de l'atelier. — La disposition, la plus généralement employée, consiste à placer les convertisseurs les uns à côté des autres sur une même ligne et à une hauteur suffisante, pour permettre l'enlèvement facile des fonds au moyen des appareils spéciaux, avec le minimum de main-d'œuvre. La position relative des mélangeurs, hauts fourneaux ou cubilots pour refondre la fonte et des cubilots à spiegels a une influence prédominante sur le caractère et l'arrangement des étages, de la maçonnerie et de la superstructure de l'atelier.

Dans certaines usines où il n'y a pas de hauts fourneaux, toutes les fontes destinées aux convertisseurs sont refondues dans des cubilots, dans d'autres usines, on utilise seulement les cubilots que pour refondre les fontes produites par le haut fourneau à la fin de la semaine (coulées du dimanche, par exemple). Enfin, il y a des usines qui n'utilisent pas du tout les cubilots, car le métal produit par le haut-fourneau à la fin de la semaine est versé dans un mélangeur avant d'être employé au convertisseur. La plupart des grandes usines emploient des mélangeurs, dans lesquels on verse tout le métal des hauts-fourneaux, et qui servent à alimenter les convertisseurs. Au Chapitre xxx nous décrirons différents types de mélangeurs.

Équipement auxiliaire. — L'équipement auxiliaire d'un atelier Bessemer, varie avec le plan et la disposition générale de l'installation, ainsi qu'avec les facilités de manutention des matériaux. On a dépensé beaucoup de temps et d'imagination pour faciliter le travail, aussi bien en ce qui concerne la réparation des cornues et autres appareils de l'atelier, que pour la manutention des matériaux. Le concassage, le broyage, le malaxage, le séchage, etc. des matériaux réfractaires employés dans les convertisseurs, occupent une place importante dans les aciéries, et la disposition de leur installation doit être soigneusement étudiée. Nous pourrions donner beaucoup de modèles et de plans d'installations, mais nous pensons que les descriptions suivantes, avec gravures, des installations types anglaises, américaines et allemandes, donneront une idée suffisamment complète des principaux faits caractéristiques, de la pratique générale du procédé Bessemer dans le monde.

Pratique anglaise du Bessemer.

La pratique anglaise du Bessemer s'est surtout limitée à celle du Bessemer acide et malheureusement son développement, comme l'indiquent d'ailleurs les chiffres de production, a été en diminuant durant ces vingt dernières années, ainsi que le montre la statistique suivante :

PRODUCTION DE L'ACIER BESSEMER ACIDE

1890	1 612 730 tonnes de lingots.
1900	1 253 903 — —
1910	1 138 103 — —

Quant à la production anglaise d'acier Bessemer basique, elle est relativement petite et l'augmentation du taux de production, durant ces dernières années, n'est pas comparable à celui de l'Allemagne. En 1880, la Grande-Bretagne produisait 10 000 tonnes d'acier Bessemer basique, tandis que l'Allemagne en produisait la même année 18 000 tonnes.

En 1910 (trente ans plus tard) les productions respectives sont les suivantes :

Grande-Bretagne	641 012 tonnes.
Allemagne	8 030 571 —

Le tableau LV donne la production en lingots d'acier Bessemer acide et basique de la Grande-Bretagne durant ces trente dernières années comparée à celle, durant la même période, en acier Martin. D'après ce tableau, on remarquera que depuis 1890, la production en lingots d'acier Bessemer acide va en diminuant, tandis que celle d'acier Bessemer basique va en augmentant. La plus grande augmentation est celle des lingots d'acier Martin basique dont la production est 15 fois plus forte en 1910 qu'en 1890.

TABLEAU LV

Production des lingots d'acier¹ Bessemer acide et basique de la Grande-Bretagne, de 1880 à 1910, comparée à la production, durant la même période, des lingots d'acier Martin acide et basique.

	1880	1890	1900	1910
Bessemer acide	1 034 362	1 612 730	1 253 903	1 438 403
— basique	40 000	402 413	491 404	641 012
Martin acide.	251 000	1 462 913	2 862 566	2 653 033
— basique	Non classée.	401 287	293 485	1 578 536

Il y a en Angleterre plusieurs ateliers Bessemer basique, mais beaucoup plus d'ateliers Bessemer acide, qui produisent des lingots d'acier, dont les plans et l'installation ne diffèrent entre eux que sur des questions de détail seulement. Certains industriels, utilisent directement le métal du haut-fourneau, après l'avoir passé au mélangeur, tandis que d'autres refondent la fonte dans des cubilots, de sorte que l'installation de l'atelier varie avec les appareils utilisés pour la manutention des matériaux.

Aux Aciéries de la « North-Eastern C^o Ltd, Middlesbrough » la pratique du Bessemer basique peut être considérée comme le type de la meilleure pratique anglaise. Ces usines furent construites en 1883 et leur description en était donnée quelques années plus tard par D^r Copper² dans les « Proceedings of the Iron and Steel Institute ».

Toutefois, depuis cette époque, on a cessé d'utiliser les cubilots pour refondre la fonte, de même que beaucoup d'autres détails de l'installation ont été modernisés.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, I, pp. 48-49.

² *Ibid.*, 1884, II, p. 407.

Atelier des convertisseurs de 10 tonnes à la « North-Eastern Steel Works ».

Disposition générale de l'atelier. — On a indiqué sur le plan de la

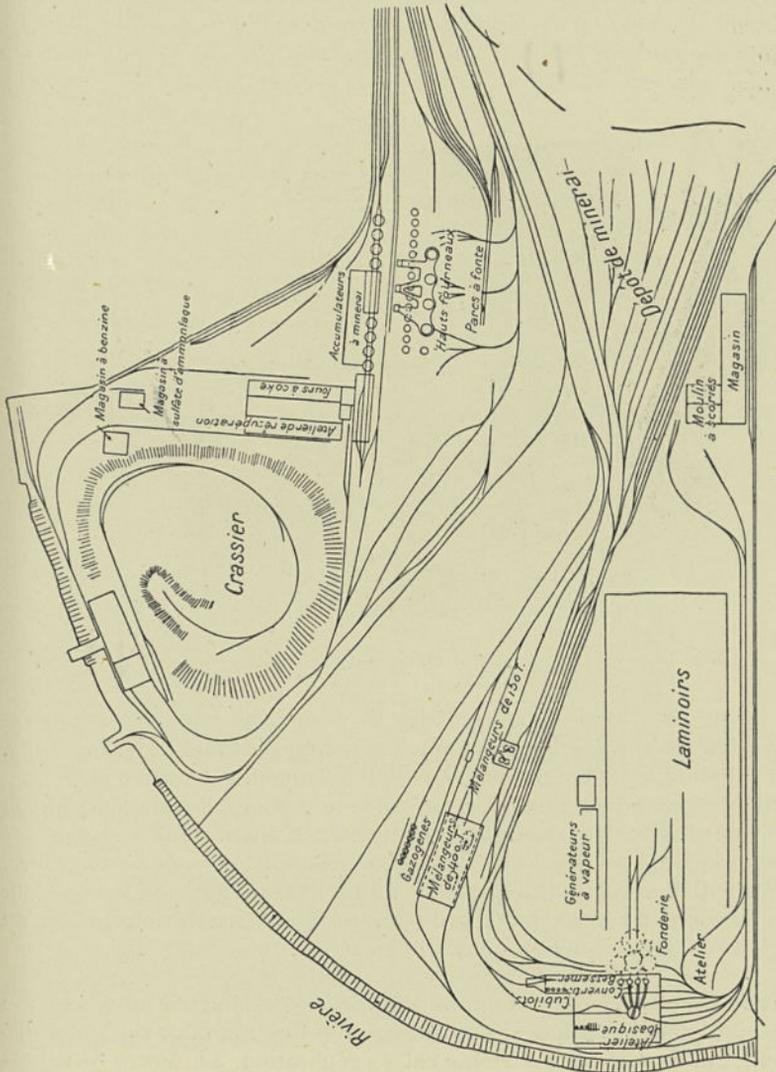


Fig 78. — Plan de la « North-Eastern Steel Works » Middlesbrough.

« North-Eastern Steel Works » représenté par la figure 78, l'emplacement des hauts-fourneaux, des mélangeurs et des convertisseurs. Les hauts-fourneaux sont placés sur un seul côté de la voie ferrée principale et du côté opposé à l'aciérie et à ses mélangeurs. Le métal fondu est amené aux mélangeurs, au moyen d'une poche de 30 tonnes de capacité, du type

Dewhurst, analogue à celle représentée par la figure 79, tirée par une locomotive. Le contenu de la poche, est déversé dans le mélangeur, au moyen d'une grue hydraulique d'une forme spéciale qui bascule la poche. Il y a deux mélangeurs de 150 tonnes et deux mélangeurs ayant chacun une capacité de 400 tonnes. Ces derniers sont chauffés au gaz, et depuis leur installation, la fonte coulée des fourneaux à la fin de la semaine, est directement versée dans les mélangeurs, au lieu d'être refondue dans les cubilots comme cela se faisait auparavant. Les bâtiments des mélangeurs sont bien placés par rapport à l'atelier Bessemer, sans y être accolés.

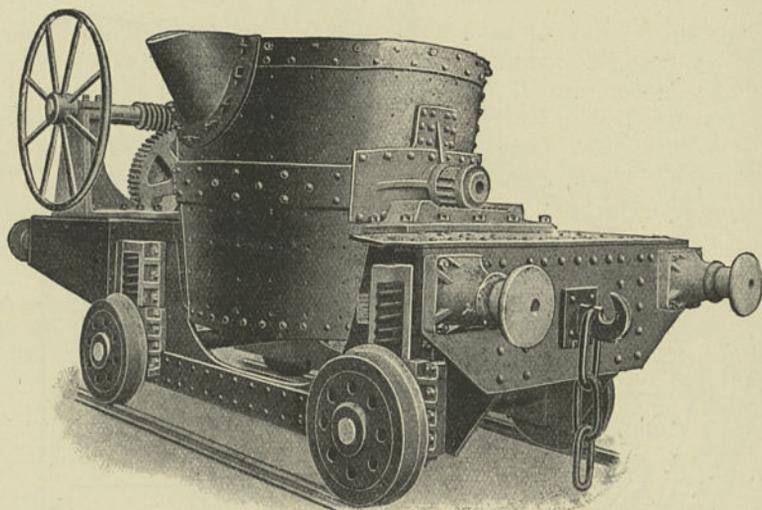


Fig. 79. — Poche Dewhurst manœuvrée par une locomotive.

Ils sont équipés avec les appareils les plus modernes pour la manutention des différents matériaux tels que les scraps, les minerais, la chaux, le spath-fluor qui sont chargés dans les mélangeurs au moyen de machines électriques. La figure 80, représente une photographie prise sur la plate-forme des mélangeurs. Du mélangeur, le métal fondu est amené dans une poche, par une locomotive, dans l'atelier des convertisseurs. Au moyen d'une grue hydraulique de 20 tonnes, on amène la poche sur la plate-forme des convertisseurs, d'où une locomotive l'amène, jusqu'au convertisseur dans lequel on verse son contenu.

Convertisseurs. — Il y a quatre convertisseurs de 10 tonnes chacun de capacité, placés l'un à côté de l'autre. Trois de ceux-ci travaillent constamment, tandis que le quatrième est en réparation. La figure 81 représente une photographie de l'atelier Bessemer. Les convertisseurs sont montés au niveau de la halle de coulée, sur des supports fixés sur les fondations, de sorte que le fond de chaque convertisseur est suffisamment élevé au-dessus du niveau du sol, pour permettre d'amener en dessous le truck muni d'un plateau manœuvré hydrauliquement et destiné à enlever ou à mettre en place les fonds. Les convertisseurs sont faits

en plusieurs pièces pour faciliter la manœuvre et la pose du revêtement.

Lorsque cette opération est devenue nécessaire, on place le truck spécial sous le convertisseur, et on relève celui-ci de façon à ce que le corps du

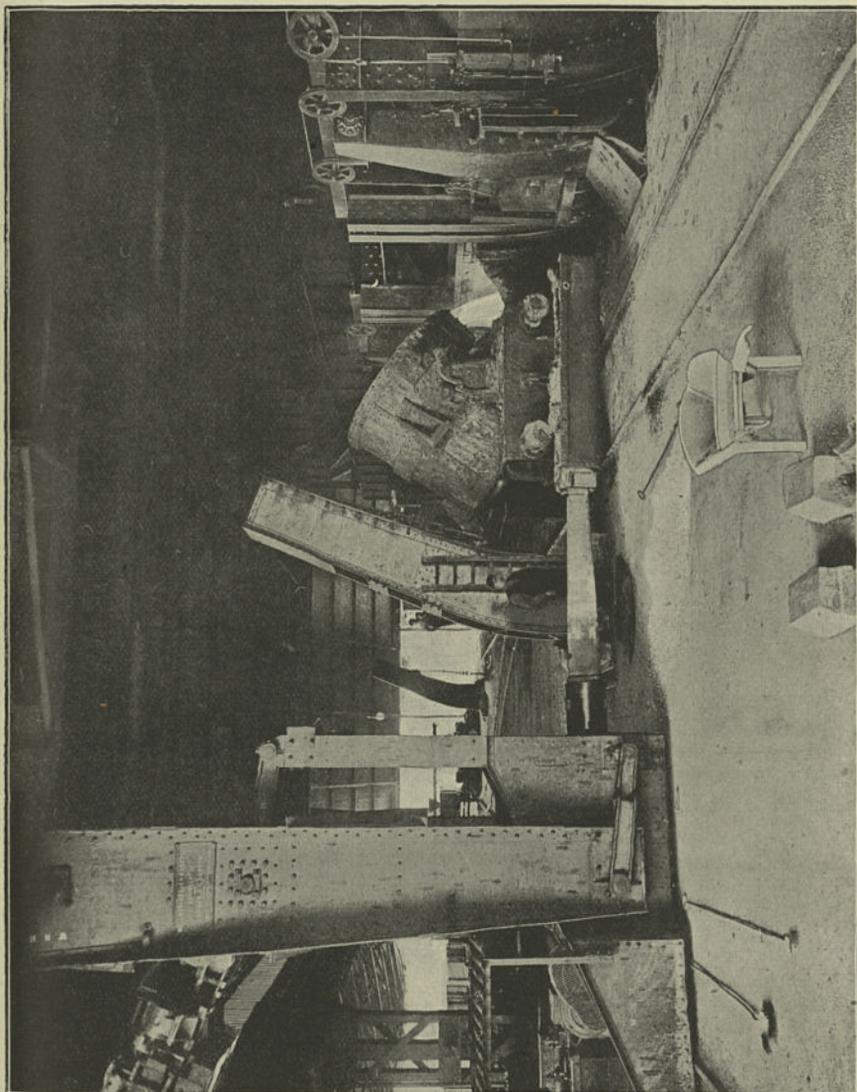


Fig. 80. — Plate-forme du mélangeur de 400 tonnes. North-Eastern Steel Works, Middlesbrough.

convertisseur soit dans une position verticale. On élève le plateau du truck jusqu'à ce qu'il vienne s'appuyer sur le fond, on retire les boulons de serrage, on abaisse le plateau et on conduit le fond à l'atelier de réparation. On enlève le fond de dessus le truck, au moyen d'une grue de 30 tonnes, qui le dépose sur des supports appropriés et on démolit le vieux revêtement

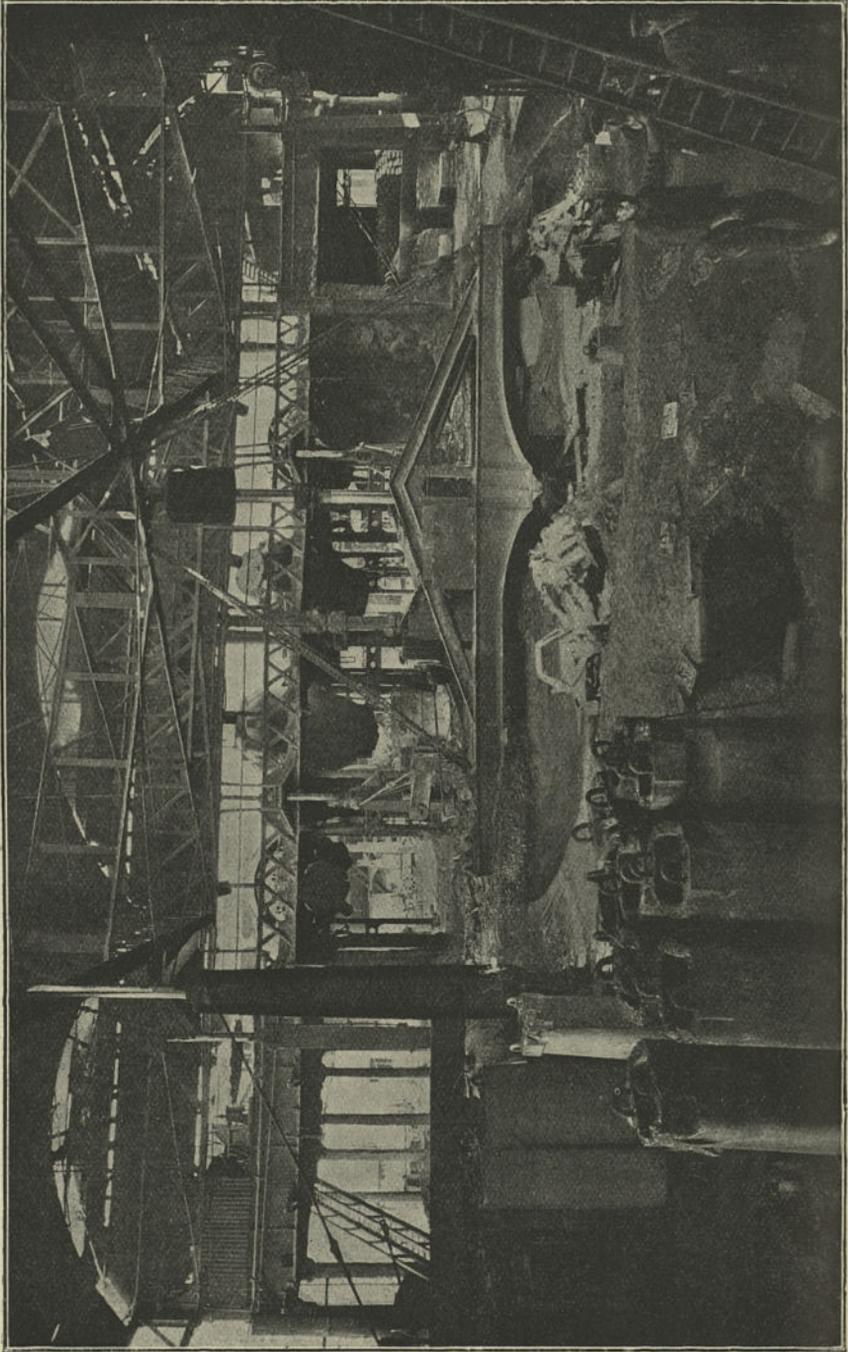


Fig. 81. — Atelier Bessemer. North-Eastern Steel Works, Middlesbrough.

Le corps et la calotte du convertisseur sont démontés comme suit : après que le fond a été enlevé de la façon que nous venons d'indiquer, on fait faire au convertisseur un demi-tour complet pour que la calotte soit en bas, on amène sous celle-ci un truck d'une forme différente de celui que nous avons décrit précédemment, et dans lequel vient s'emboîter la calotte du convertisseur. Avec des verins hydrauliques de 100 tonnes, on soulève légèrement la partie supérieure du convertisseur que l'on maintient dans cette position, jusqu'à ce que l'on ait retiré les boulons de la bague du tourillon, on descend ensuite le tout sur le truck. Ce dernier est alors conduit dans l'atelier spécial, qui arrache l'ancien revêtement pour le remplacer par un nouveau.

Revêtement des convertisseurs. — L'opération du revêtement, consiste à faire dans l'intérieur du convertisseur, un briquetage avec des briques en dolomie de coupe spéciale, qui sont fabriquées dans un atelier spécial de la North Eastern Steel Co où se fait la cuisson, le broyage, le malaxage et le briquetage de la dolomie.

Le convertisseur est placé sur un établi, l'orifice en bas, et à l'aide d'un dispositif spécial, manœuvré hydrauliquement, on élève dans l'intérieur de l'appareil, au feu et à mesure des besoins, ce qui diminue considérablement la durée du travail de briquetage, les matériaux nécessaires à celui-ci. Le briquetage s'exécute de bas en haut, entre chaque rang de briques, on pilonne une couche de 7 centimètres de mortier basique, ce qui permet d'obtenir un revêtement solide et compact. La dolomie pulvérisée, servant à la fabrication des briques, est mélangée avec 7,5 à 10 p. 100 de goudron avant d'être introduite dans les moules de la presse hydraulique, qui la comprime sous une pression de 310 kg par centimètre carré.

Blocs à tuyères des convertisseurs. — Ces blocs sont pilonnés dans un moule, au moyen d'un pilon de 3 tonnes, puis ils sont ensuite passés dans une étuve dont on élève graduellement la température jusqu'au rouge cerise. Cet étuvage dure environ soixante-dix heures, après quoi on laisse refroidir lentement. On fixe ensuite le bloc à la partie inférieure du convertisseur. Celle-ci est placée sur une table tournante, au centre de laquelle on place le bloc, et entre celui-ci et le revêtement, on pilonne convenablement du mortier basique, au moyen d'un pilon pneumatique, tandis que la table tourne lentement. Quand ce travail est terminé, on remet en place cette partie du convertisseur, le corps étant d'abord fixé à la bague du tourillon au moyen des verins de 100 tonnes; on place ensuite le fond en utilisant le truck à manœuvre hydraulique réservé à cet usage.

Séchage du revêtement. — On allume d'abord dans le convertisseur un feu de bois, auquel on ajoute petit à petit de la houille. Le séchage demande environ vingt heures après quoi la cornue est prête à recevoir le métal.

Chargement des scraps et de la chaux. — La méthode employée, pour introduire dans les convertisseurs, la chaux et les scraps est parfaitement visible sur la figure 82 qui est une photographie prise sur la plate-forme du Bessemer. Derrière la plate-forme du convertisseur, il y a deux

autres plates-formes plus élevées, l'une sur laquelle est déposée la chaux et d'où on la charge dans le convertisseur, l'autre encore plus élevée, sur laquelle sont déposés les débris d'acier ou scraps.

Sur la même ligne que les convertisseurs, des couloirs de décharge permettent d'y jeter, des deux plates-formes, les scraps et la chaux que l'on doit introduire dans le convertisseur avant et pendant le soufflage. Ce dispositif simple permet d'économiser du temps et de l'argent pour le chargement de ces matériaux.

Emplacement des grues. — Chaque paire de convertisseurs, est desservie par une grue hydraulique de 20 tonnes, à l'extrémité du bras de laquelle se trouve la poche destinée à recevoir le contenu du convertisseur. La poche d'acier est versée au moyen d'une grue spéciale dans les moules à lingots, près desquels se trouve une autre petite grue hydraulique de 5 tonnes servant à la manœuvre des moules à lingots, des lingots, etc. La figure 81 représente une photographie de l'atelier Bessemer avec la grue centrale servant à la coulée.

Pratique américaine du Bessemer.

Le développement du procédé Bessemer en Amérique, fut très rapide pendant plusieurs années, mais le four Martin semble en avoir arrêté le progrès. En 1873, on produisait aux États-Unis 143 000 tonnes d'acier dont les 70 p. 100 étaient de l'acier Bessemer, l'acier Martin atteignant à peine 3 000 tonnes. En 1880, la production en acier Bessemer était de 1 000 000 de tonnes et celle de l'acier Martin dépassait 100 000 tonnes. En 1907, sur une production totale de 23 000 000 de tonnes d'acier, il y en avait moitié d'acier Bessemer et moitié d'acier Martin et en 1911 les chiffres étaient les suivants :

	Tonnes.	P. 100.		
Acier Bessemer (acide).	7 947 849	= 33,6	de la production totale.	
— Martin (acide) . . .	912 718	= 3,8	—	—
— — (basique) . . .	14 685 932	= 62,2	—	—

TABLEAU LVI

Production des lingots d'acier¹ Bessemer acide et basique aux États-Unis de 1880 à 1910, comparée à la production des lingots d'acier Martin acide et basique pendant la même période.

	1880	1890	1900	1910
Bessemer acide	1 074 268	3 614 091	6 684 770	9 412 772
— basique	Non classé.	77 780	—	—
Martin acide.	100 851	423 232	853 044	1 212 180
— basique	Non classé.	90 000	2 545 091	15 292 329

Le tableau LVI, donne la production des lingots d'acier Bessemer acide-

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, I, pp. 48-49.

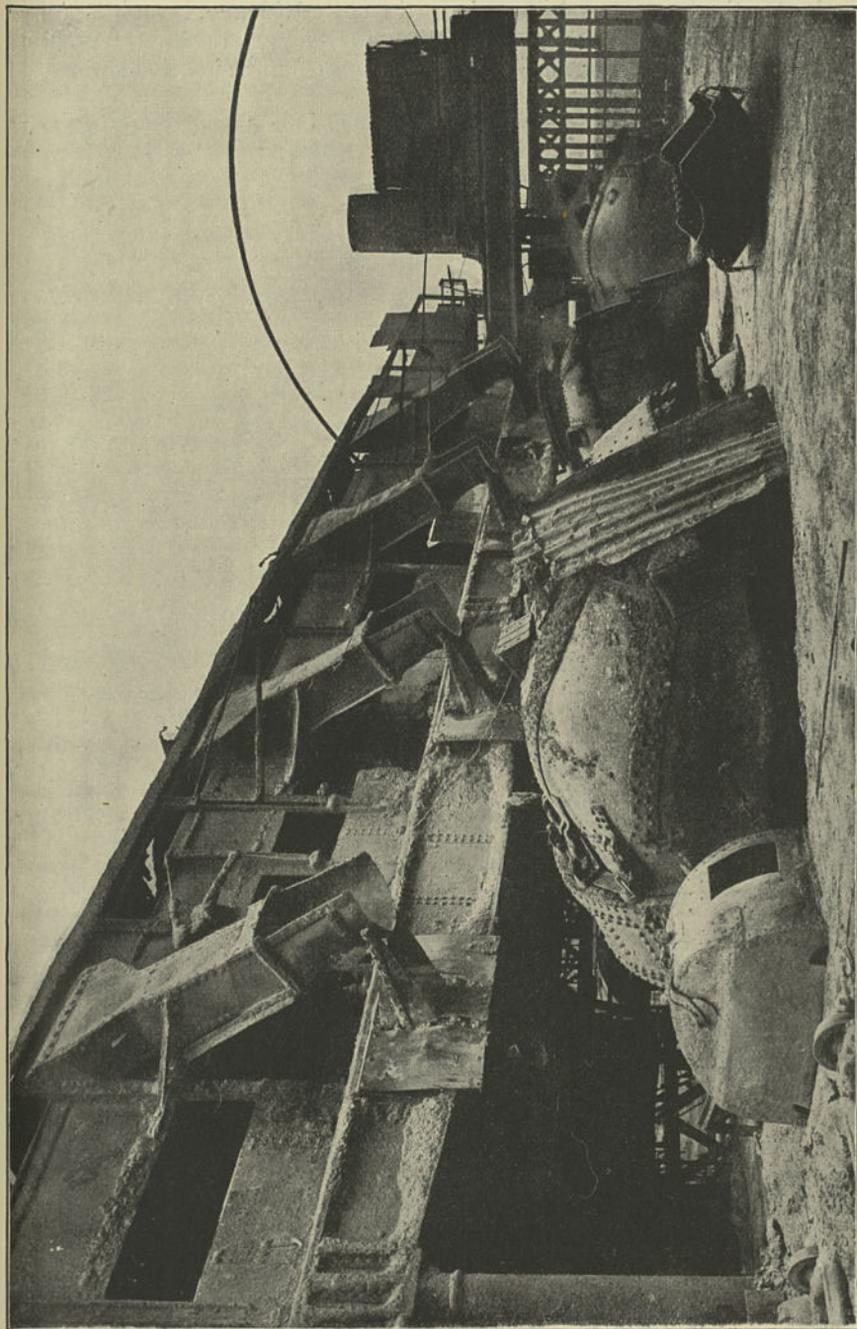


Fig. 82. — Plate-forme du Bessemer. North-Eastern Steel Works, Middlesbrough.

ou basique, durant ces trente dernières années, comparée avec celle de l'acier Martin durant la même période. Il met en évidence, la rapidité relative de l'augmentation de la production de chaque procédé, et montre comment le procédé Martin-Siemens s'est assuré une situation solide en Amérique.

En 1890¹, le plus grand convertisseur Bessemer des États-Unis avait

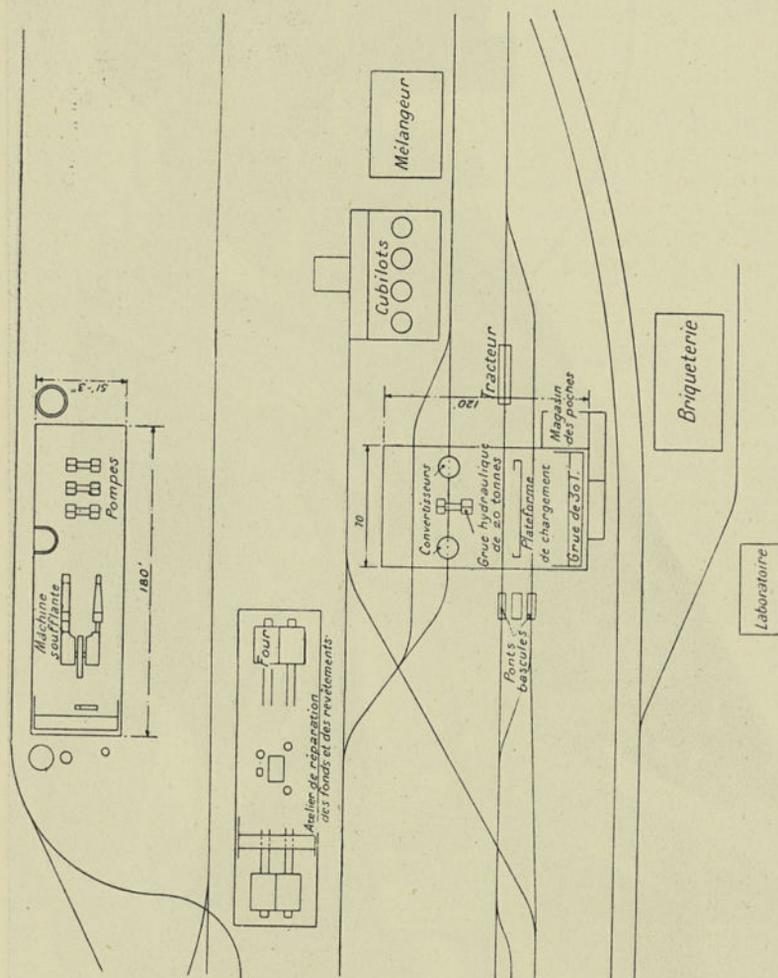


Fig. 83. — Plan des aciéries de la « Youngstown Steel and Tube Co, Youngstown » (E. U.).

une capacité de 11,5 t., et en 1906, 18 tonnes. Les capacités d'un convertisseur moyen, aux époques ci-dessus, étaient respectivement de 6,55 et 10,44 t. et la production moyenne, par tonne de capacité du convertisseur, était respectivement de 7 103 et 18 934 tonnes. Cette grande différence, doit être attribuée à la marche accélérée de la production par convertis-

¹ *Electrochemical and Metallurgical Industry*, vol. V, p. 414.

seur, par suite de l'introduction des mélangeurs et des machines plus perfectionnées pour la manutention des matériaux.

Durant les quelques années antérieures à 1906, on ne fit aux États-Unis aucune nouvelle installation d'aciéries Bessemer, tandis que l'on installait des fours Martin-Siemens.

A cette époque, la « Youngstown Steel and Tube C^o »¹, fit construire une nouvelle aciérie Bessemer, pourvue des perfectionnements pratiques les plus modernes.

Atelier des convertisseurs de 10 tonnes de la « Youngstown ». — La figure 83, représente un plan des aciéries ci-dessus, et indique l'emplacement des halles des convertisseurs et des cubilots, ainsi que les bâtiments et ateliers auxiliaires.

Cubilots. — Il y a quatre cubilots, dans lesquels on refond la fonte destinée aux convertisseurs. Les charges sont élevées sur la plate-forme au moyen de deux grues de 10 tonnes chacune. Avant d'élever les wagonnets chargés de fonte, de combustible ou de fondants, on les fait passer sur un pont-bascule placé à côté des monte-charges, ce qui permet de contrôler les poids des matériaux utilisés.

Chaque paire de cubilots, est munie d'une rigole, par laquelle s'écoule le métal dans la poche, montée sur truck, que l'on conduit ensuite aux convertisseurs. Quant au laitier des cubilots, il s'écoule dans des wagonnets spéciaux placés à l'étage inférieur, wagonnets qui sont enlevés quand ils sont pleins. Sur le plancher de chargement, il y a 2 ventilateurs qui envoient le vent dans les cubilots, chaque ventilateur fonctionnant séparément au moyen d'un moteur électrique de 75 H.P. tournant à 1500 tours à la minute.

Convertisseurs. — Il y a 2 convertisseurs de 10 tonnes chacun, disposés comme l'indique la figure 83. Ils sont montés sur des paliers fixés sur les fondations, mais les convertisseurs, au lieu d'être disposés sur une même ligne se font face l'un à l'autre et entre eux deux se trouve une grue hydraulique de 20 tonnes qui assure leur service. On dispose également d'un pont électrique de 30 tonnes.

Le métal fondu provenant des cubilots, est amené aux convertisseurs, mais avant de le verser dans ceux-ci, au moyen d'un appareil spécial marchant électriquement, on le pèse sur un pont-bascule placé vis-à-vis du convertisseur. Après soufflage de la charge, on verse celle-ci dans la poche de la grue hydraulique.

Bâtiment de fabrication des fonds et des revêtements. — On utilise un bâtiment très confortable, de 15^m × 40^m, pour la fabrication des matériaux réfractaires destinés à la préparation des fonds et des revêtements. L'atelier comprend 1 broyeur, 2 malaxeurs à ailettes et 1 mélangeur à sec. Les fonds sont séchés dans des fours, qui sont construits à chaque extrémité du bâtiment.

¹ *Iron Age*, 2 août 1906, p. 260.

Pratique allemande du Bessemer.

L'Allemagne tient la tête du monde, pour la fabrication de l'acier Bessemer basique, sa production va sans cesse en augmentant et surpasse de beaucoup, comme le montre la statistique suivante, la production de l'acier Martin : en 1860, elle produisait 25 312 tonnes d'acier, tandis qu'en 1911, sa production était de 14 879 919 tonnes dont 8 640 164 tonnes provenaient des convertisseurs Bessemer basiques. Le tableau LVII, donne la production des lingots d'acier Bessemer acide et basique, durant ces trente dernières années, comparée, à celle, durant la même époque, de l'acier Martin.

TABLEAU LVII

Production des lingots¹ d'acier Bessemer acide et basique en Allemagne de 1880 à 1910, comparée à la production des lingots d'acier Martin acide et basique, durant la même période.

	1880	1890	1900	1910
Bessemer acide	742 000	—	223 063	171 408
— basique	18 000	1 493 457	4 141 587	8 030 571
Martin acide	—	—	147 800	140 189
— basique	—	—	1 997 765	4 973 569

Les aciéries allemandes, diffèrent en construction les unes des autres, comme d'ailleurs dans les autres pays, mais l'esprit de progrès y est si développé, que constamment on y fait de nouveaux perfectionnements sur les différentes parties de l'installation, pour arriver plus facilement à une production économique. L'usine installée il y a quelques années à Burbach, dans la province de la Sarre, peut être considérée comme le modèle des installations types allemandes d'ateliers Bessemer.

Atelier des convertisseurs de 24 tonnes à Burbach.

Description générale. — La figure 84 et les planches I et II, représentent l'atelier Bessemer basique² dessiné par E. Widekind de Düsseldorf et installé aux aciéries de Burbach en 1908.

En ce qui concerne la construction des convertisseurs et des bâtiments auxiliaires, il existe plusieurs points particuliers, permettant d'arriver à une production rapide de l'acier.

Le métal est pris directement aux hauts fourneaux dans une poche de 18 tonnes de capacité, montée sur un truck tirée par une locomotive à

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1912, I, pp. 48-49.

² Avec la permission spéciale du dessinateur et des éditeurs de « *Stahl und Eisen* ».

DISPOSITION DE L'ATELIER DES CONVERTISSEURS AUX ACIERIES DE BURBACH, ALLEMAGNE.

Dessiné par E. WIDEKIND, Düsseldorf.

DISPOSITION
DE L'ATELIER DES CONVERTISSEURS
AUX ACIERIES DE BURBACH
(ALLEMAGNE)

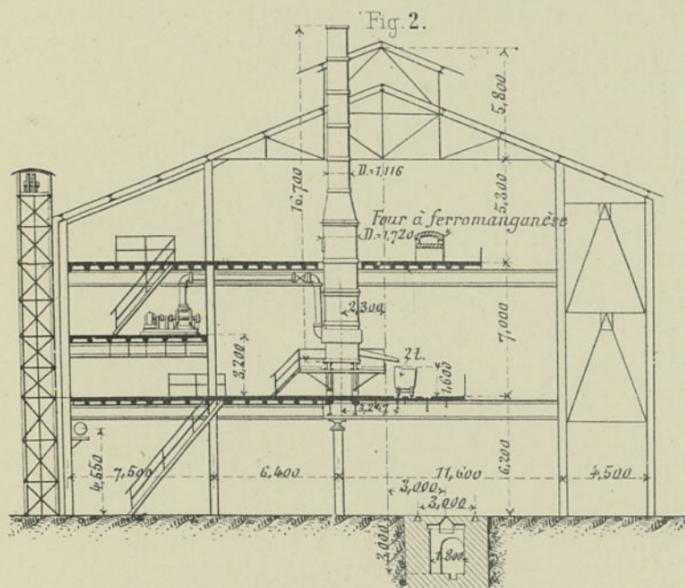
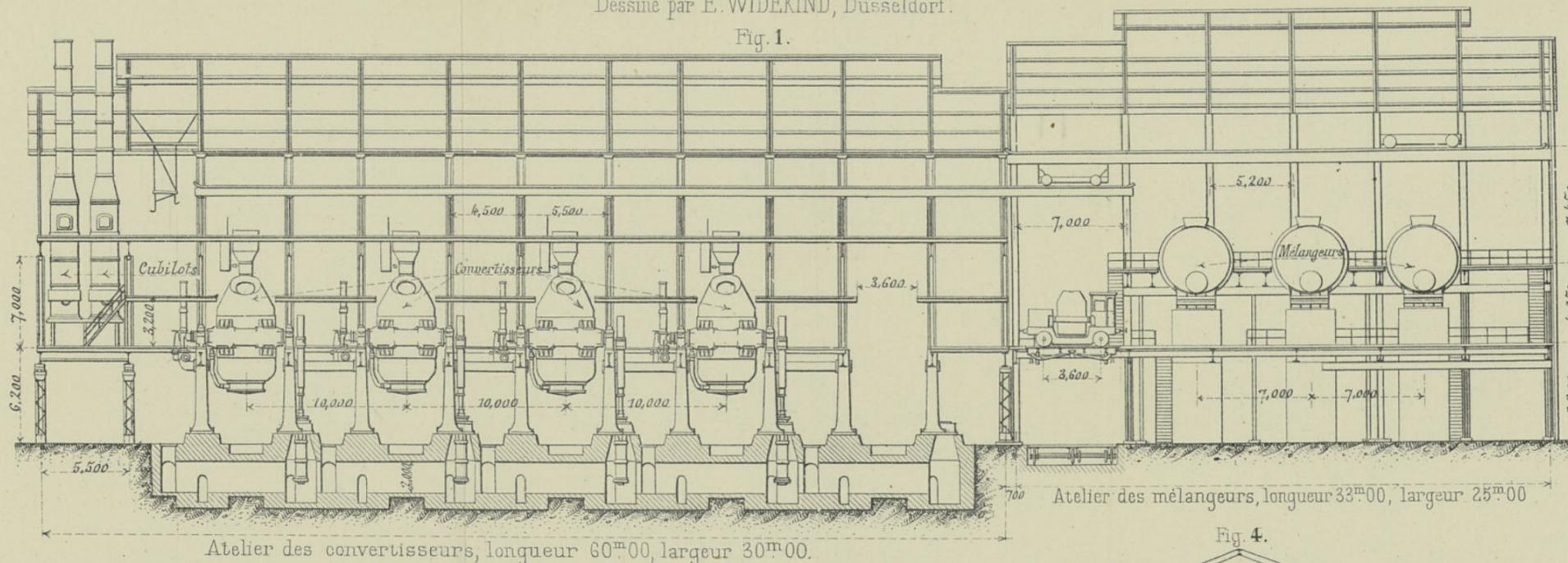
L'atelier des convertisseurs Bessemer basique de 24 tonnes, représenté par les figures ci-contre, est l'un des plus importants et des plus modernes de l'Allemagne, sa production étant supérieure à 1.000 tonnes par semaine.

Les bâtiments des convertisseurs et des mélangeurs sont disposés de façon à permettre le transport facile du métal liquide, des mélangeurs aux convertisseurs, au moyen de poches montées sur trucks actionnés électriquement.

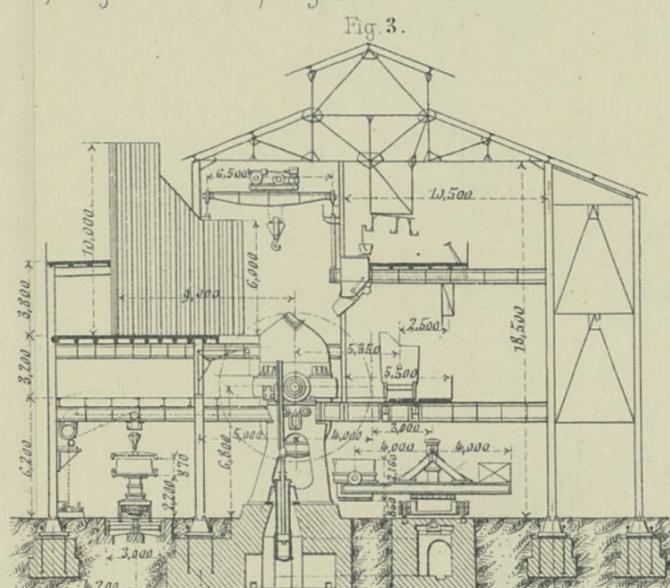
Les cubilots à spiegel sont montés sur la plateforme des convertisseurs, ce qui permet de transporter rapidement dans ces derniers, au moyen de poches-trucks, les matériaux composant les additions physiques.

Sur la figure représentant la coupe transversale de l'atelier des convertisseurs, on remarquera le transporteur aérien qui amène les fondants, etc., dans les trémies de chargement des mélangeurs.

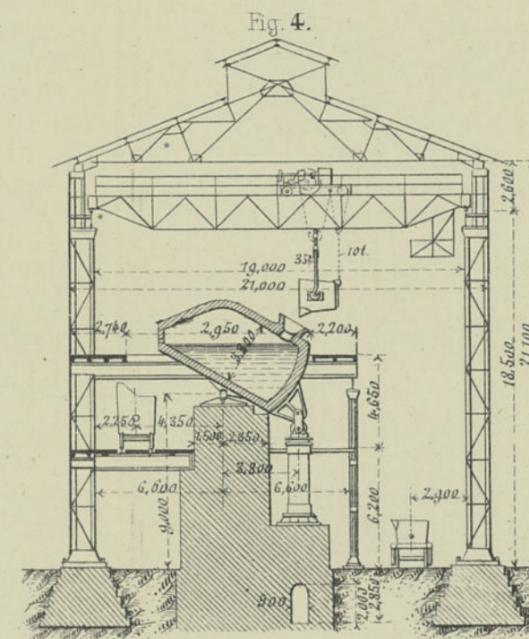
La fig. 84 représente une vue en plan de cette installation.



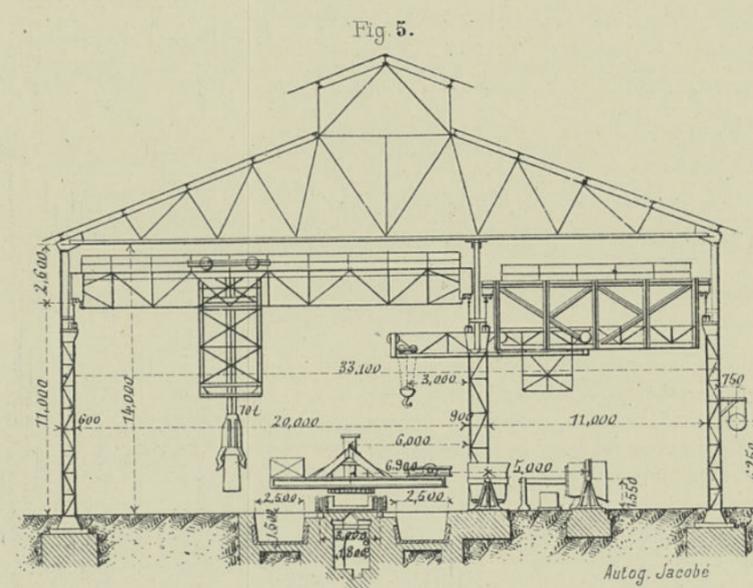
Coupe transversale de l'atelier des convertisseurs montrant les cubilots à spiegel.



Coupe transversale de l'atelier des convertisseurs.



Coupe transversale de la halle des mélangeurs.



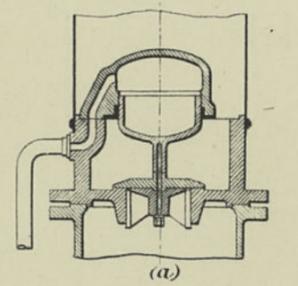
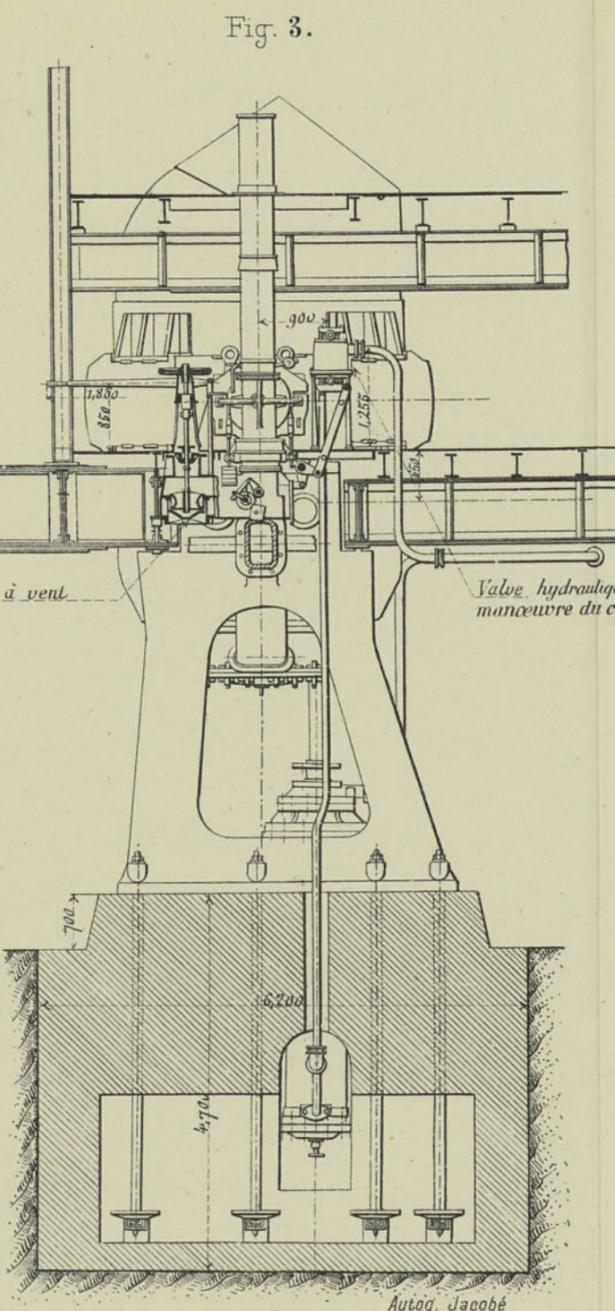
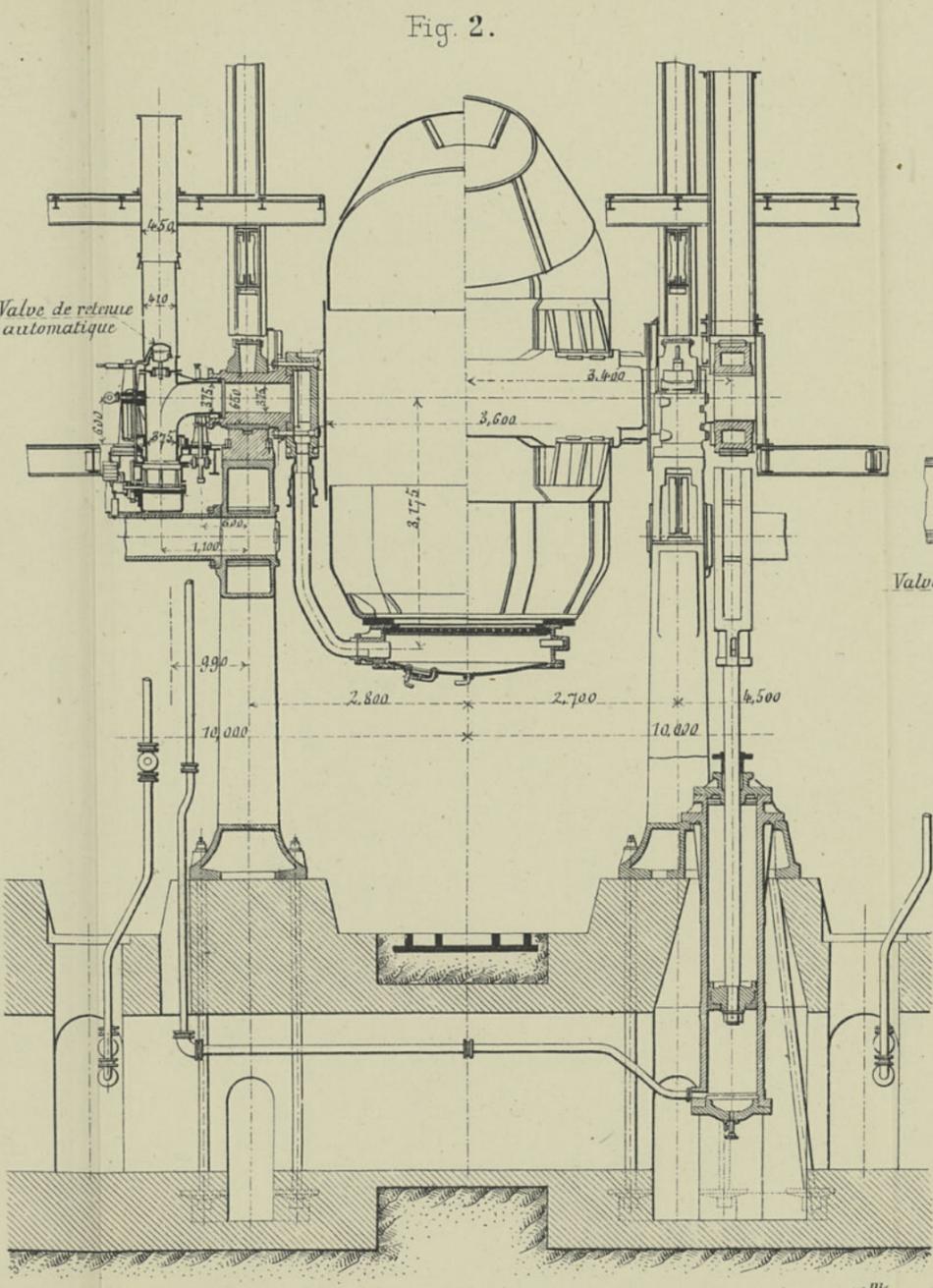
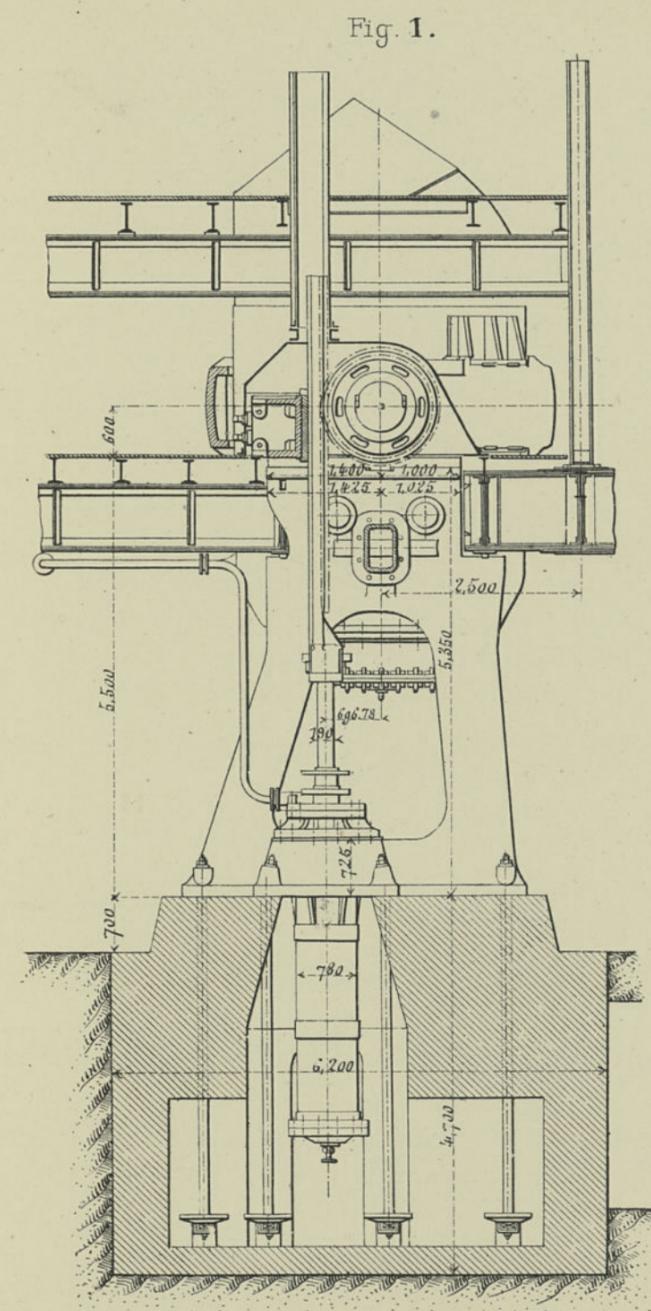
Coupe transversale de la halle de coulée.

DÉTAILS DES CONVERTISSEURS
DES ACIÉRIES DE BURBACH

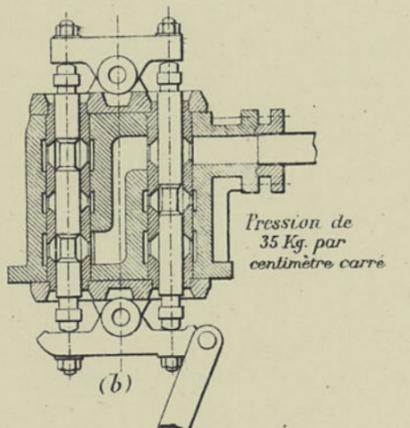
Les convertisseurs Bessemer basique de 24 tonnes des Acieries de Burbach, représentés par les figures ci-contre, montrent les détails du convertisseur moderne allemand donnant dans la pratique actuelle les meilleurs résultats.

La fig. (a) donne le détail de la valve de retenue automatique.

La fig. (b) donne le détail de la valve hydraulique servant à manœuvrer le convertisseur.



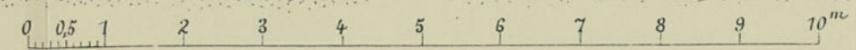
Détail de la valve de retenue automatique.



Détail de la valve hydraulique servant à manœuvrer le convertisseur.

Pression de 35 Kg. par centimètre carré

Autog. Jacobé



DÉTAILS DES CONTRATS

DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION

Les conditions générales de
travaux des Travaux de
Construction sont définies
par les clauses de ces
contrats, qui ont donné
dans la pratique actuelle
la plus grande importance
à la partie de la clause
relative aux conditions

générales de la clause
relative aux conditions

vapeur, qui la conduit aux mélangeurs qui sont au nombre de 3 et ayant chacun 210 tonnes de capacité. Deux de ceux-ci fonctionnent constamment, c'est-à-dire qu'on les remplit et qu'on les vide alternativement. A l'extérieur de la salle des mélangeurs, on pèse la poche de métal sur un pont-

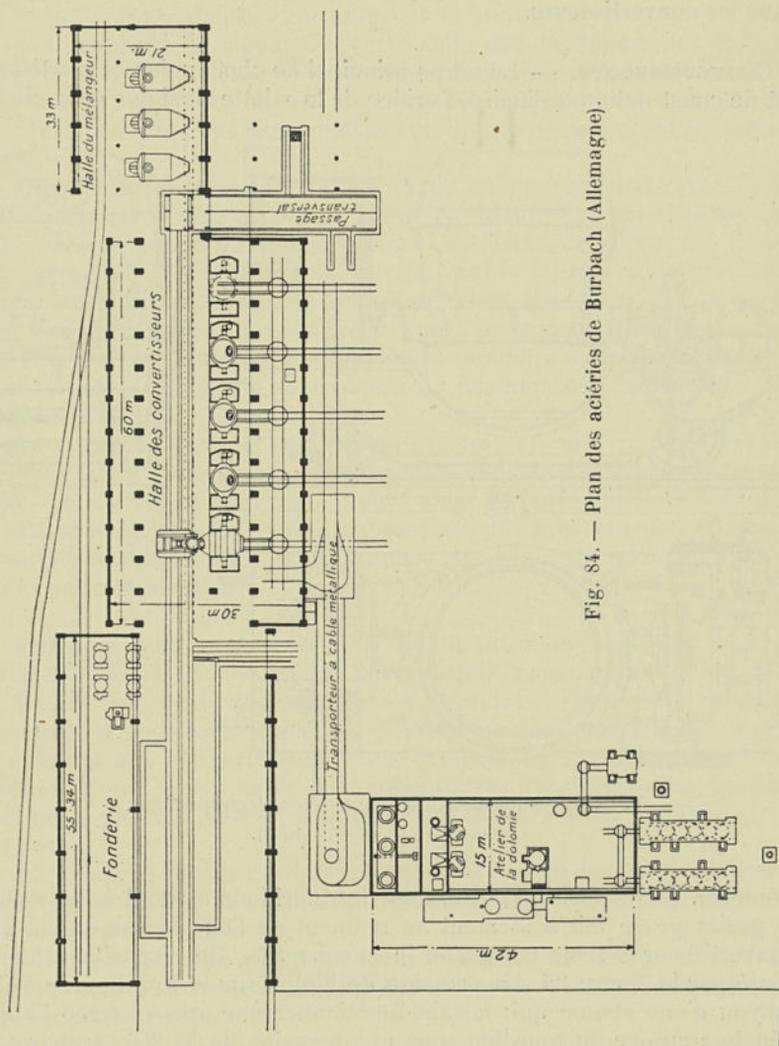


Fig. 84. — Plan des aciéries de Burbach (Allemagne).

bascule, après quoi elle est enlevée de dessus le truck au moyen d'un pont électrique de 35 tonnes, qui la conduit au mélangeur dans lequel on vide le contenu, au moyen d'un dispositif spécial fixé au pont électrique. Le laitier des mélangeurs est versé dans une poche que l'on enlève lorsqu'elle est pleine. Le plancher placé sous les mélangeurs, sert de dépôt de matériaux, on y a également ménagé des installations de lavabos et de

bains pour le personnel et les ouvriers. Le métal sortant du mélangeur, est amené aux convertisseurs, au moyen d'une locomotive électrique portant des poches de 24 tonnes. Ces poches sont également vidées électriquement, les moteurs et appareils nécessaires étant fixés sur le truck que nous représentons figure 85. On pèse le métal avant de le verser dans les convertisseurs.

Convertisseurs. — Le corps principal de chacun des convertisseurs est de construction ordinaire, l'orifice de la calotte ainsi que celle-ci étant

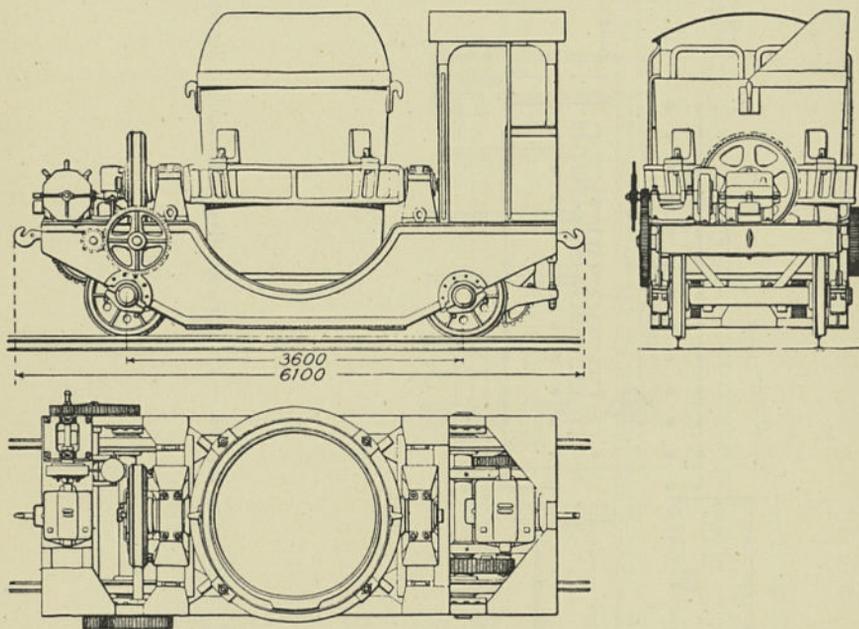


Fig. 85. — Poche-truck, manœuvrée électriquement.

(Les cotes sont en millimètres).

excentré. Le dispositif de graissage des tourillons est tout à fait spécial, le graissage se fait seulement au moment où l'on abaisse ou relève le convertisseur et reste nul quand il est au repos. Ce dispositif est représenté par la figure 86. La pression de l'huile sur le tourillon se fait au moyen d'une chaîne qui, faisant fonctionner une presse, force l'huile à pénétrer autour du tourillon sous une pression de 54,255 kg. par centimètre carré. Indépendamment de cette lubrification spéciale, de fortes rainures dans les coussinets du tourillon, sont toujours garnies de graisse consistante en excès, qui assurerait le graissage dans le cas où le graisseur spécial ne fonctionnerait pas.

Chaque convertisseur est élevé ou abaissé, de la façon habituelle, au moyen d'un pignon denté commandé par une crémaillère, reliée à la tige du piston d'un cylindre hydraulique.

La crémaillère est guidée sur le pignon, au moyen d'une crosse, dont les guides sont garnis de bronze. Le cylindre hydraulique, mesure 65 centimètres de diamètre et 3,35 m. de course, ce qui permet de faire tourner la corne de 282 degrés. Tous les engrenages sont bien protégés. La manœuvre du convertisseur se fait au moyen de valves qui ouvrent et ferment le vent, abaissent ou relèvent le convertisseur.

Les appareils de signaux avec la salle des machines sont également sous la main de l'opérateur. Les valves sont placées sur le côté du convertisseur opposé à celui où se trouvent le cylindre et la crémaillère, et de façon que l'opérateur puisse voir le convertisseur dans toutes ses positions.

L'air de la conduite de vent, est admis au moyen d'une valve à double siège représentée figure 86, et pénètre par le tourillon dans la boîte à vent placée sous le fond du convertisseur. Une valve de sûreté est fixée sur une pièce en T du tourillon, la valve à vent la fait fonctionner automatiquement mais on peut aussi la faire marcher à la main. Sur la conduite de vent et en face de la valve à vent, se trouve fixée une valve de retenue qui se ferme automatiquement lorsque l'on arrête le vent. Des indicateurs de pression sont placés de chaque côté de la valve principale.

Le vent est envoyé aux convertisseurs, au moyen de 3 machines soufflantes à vapeur, ayant chacune les caractéristiques suivantes : 906 mètres cubes d'air par minute sous une pression de 2,635 kg. par centimètre carré ; 906 mètres cubes sous une pression de 2,092 kg. par centimètre carré et 594 mètres cubes sous une pression de 2,092 kg. par centimètre carré.

Cubilots à spiegels. — Sous la halle des convertisseurs, on a construit 2 cubilots pour la fusion des spiegels, capables de fondre chacun 1,5 t. en vingt minutes, soit de 4 à 5 tonnes à l'heure. Le métal qu'ils produisent, est versé dans des poches montées sur trucks, qui sont conduites aux convertisseurs dans lesquels on verse leur contenu au moyen d'une grue à main. Les cubilots, reçoivent l'air d'un ventilateur actionné par un moteur, qui leur envoie 92 mètres cubes d'air à la minute.

La conduite de vent est munie d'une valve de retenue. La figure 87 représente différentes coupes du cubilot, ainsi que les détails des briques employées au revêtement.

Sur le plancher de chargement de la chaux, on a disposé un four de fusion pour le ferro-manganèse, qui s'écroute dans le convertisseur au moyen d'une rigole.

La dolomie et la chaux employées dans les convertisseurs, sont transportées au moyen d'un transporteur à secousses, jusqu'à l'emplacement destiné à les recevoir.

Les scraps, le ferro-manganèse et les spiegels sont élevés à leurs plates-formes respectives, au moyen d'un petit monte-charge électrique de 1,5 t. actionné par un moteur de 12,5 H. P.

Les briques, pour le revêtement des convertisseurs, sont élevées au moyen d'un treuil électrique.

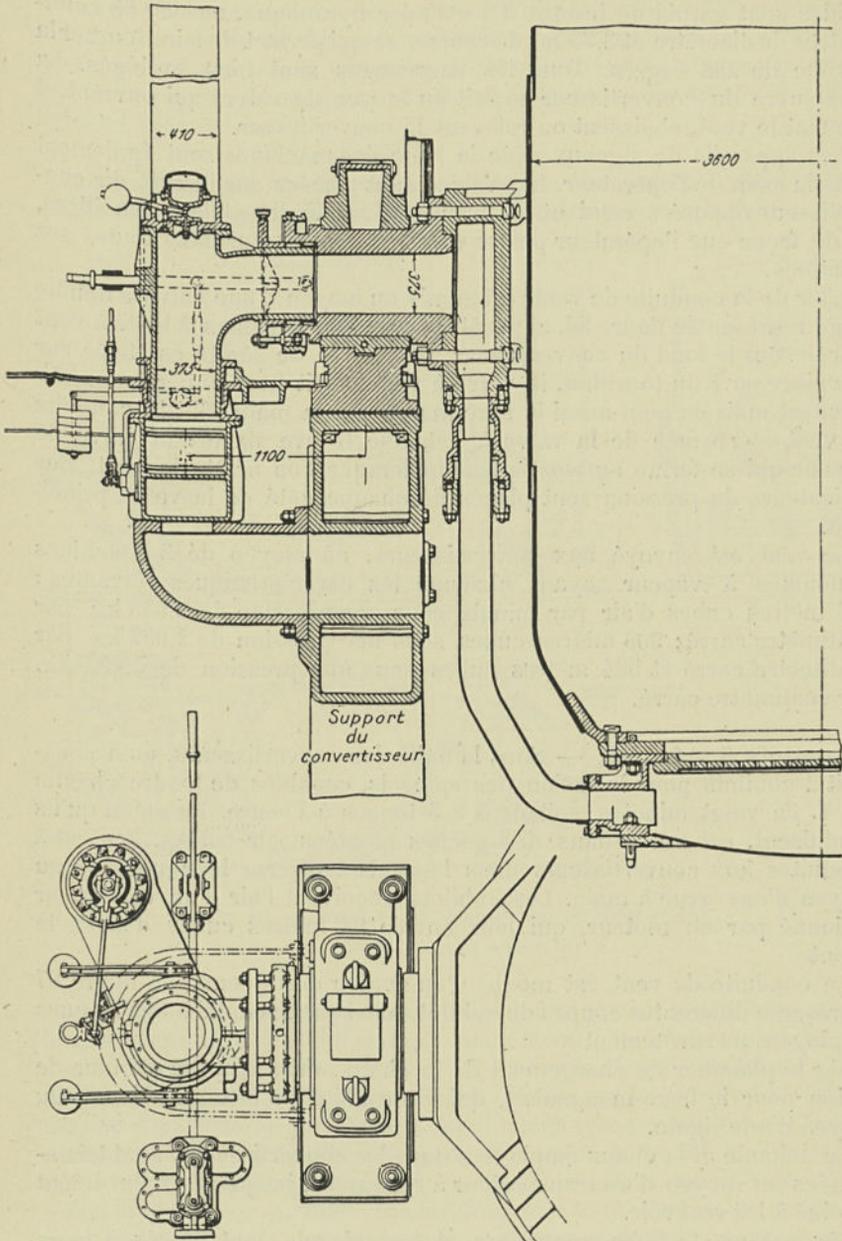


Fig. 86. — Détails de la bague du tourillon et des valves de manœuvre du convertisseur de 24 tonnes.

(Les cotes sont en millimètres).

Revêtement des convertisseurs. — Le revêtement des convertisseurs est fait avec des briques de dolomie, fabriquées dans l'atelier de la dolomie. La figure 76, (p. 186) montre comment l'on dispose les rangs de briques dans le convertisseur et donne également les dimensions des briques employées. Les briques sont faites à la presse hydraulique, avec de la dolomie pulvérisée et convenablement préparée, elles sont comprimées à la pression qui a été reconnue la meilleure pour la confection des parois de la cornue. Les moules, dans lesquels on fait les briques, ont

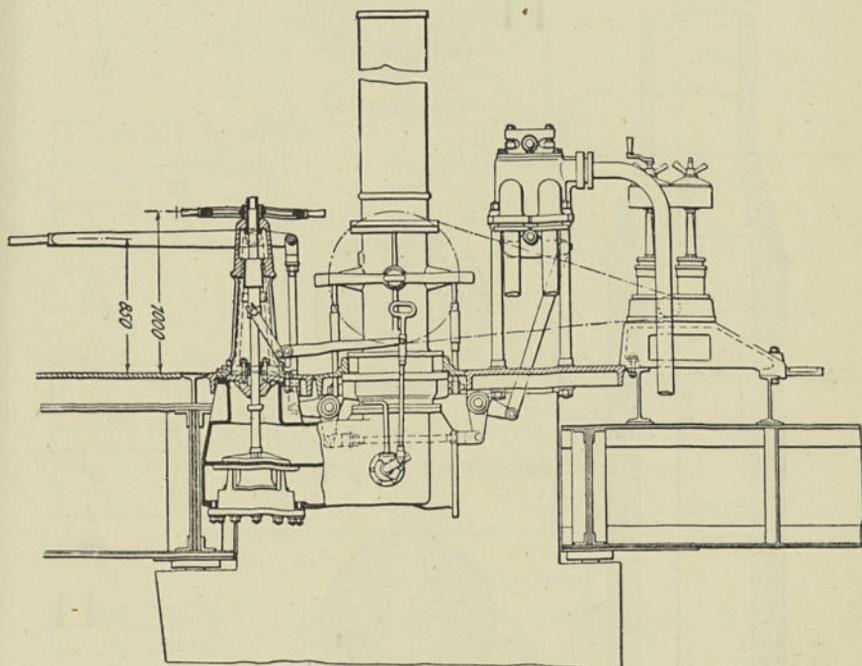


Fig. 86.

de plus fortes dimensions que les briques mêmes, car la dolomie est comprimée sous une pression de 310 kilogrammes par centimètre carré.

Les briques sont éjectées des moules, au moyen d'un piston, qui exerce une pression de 54,255 kg. par centimètre carré. Elles sont ensuite séchées dans des fours spéciaux avant d'être utilisées.

Le mélange de goudron et de dolomie employé pour le revêtement du convertisseur, se fait dans une machine, munie d'une double enveloppe chauffée par la vapeur, et dans laquelle les palettes fixées sur l'arbre tournent entre d'autres palettes fixées à l'enveloppe cylindrique. L'appareil se charge par le haut et la marchandise malaxée est évacuée dans des wagonnets par une porte située à la partie inférieure. La figure 88 représente deux vues de cet appareil.

Fonds des convertisseurs. — Ces fonds sont fabriqués au moyen d'une presse de construction spéciale, représentée par la figure 89. Le

caisson dans lequel on pilonne la dolomie est placé sur le plateau de la machine. Ce plateau tourne horizontalement sur son axe pendant que le

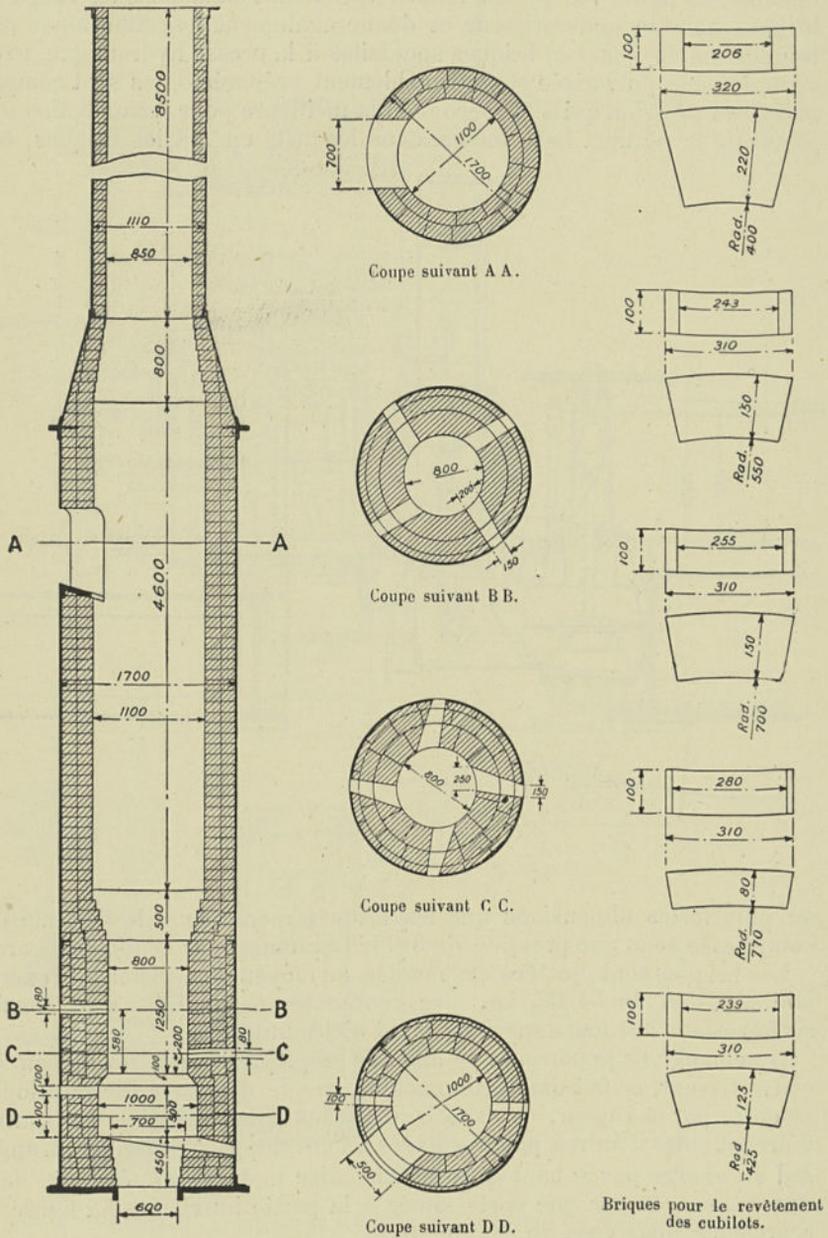


Fig. 87. — Cubilot pour la fusion des spieglis.

pilon, fixé à l'extrémité d'un bras oscillant, frappe rapidement la couche

de dolomie, étendue sur le fond du caisson. Pour obtenir une pression uniformément répartie et pour que toute la surface de la masse, reçoive

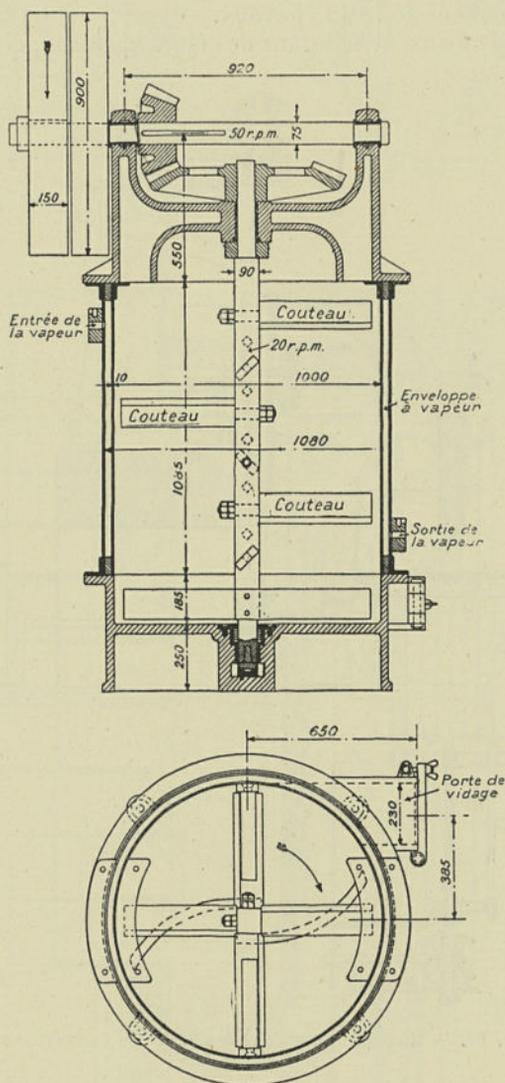


Fig. 88. — Malaxeur pour mélanger le goudron à la dolomie.

le même nombre de coups de pilon, le mouvement du pilon et le nombre de coups pour chaque tour du plateau, sont réglés automatiquement. Les orifices d'air à travers le fond, sont faits au moyen de 250 aiguilles de 15 millimètres de diamètre, qui pénètrent progressivement dans l'intérieur de la masse pendant le pilonnage en ayant soin, bien entendu, de les

tenir toujours un peu au-dessous de la surface pilonnée, afin d'éviter la détérioration des aiguilles. On retire le fond quand il est terminé. Cette machine peut faire un fond en 2 heures, 2 heures et demie. Elle est actionnée par moteur de 10-12 chevaux.

La cuisson des fonds, se fait dans des fours spéciaux, qui peuvent con-

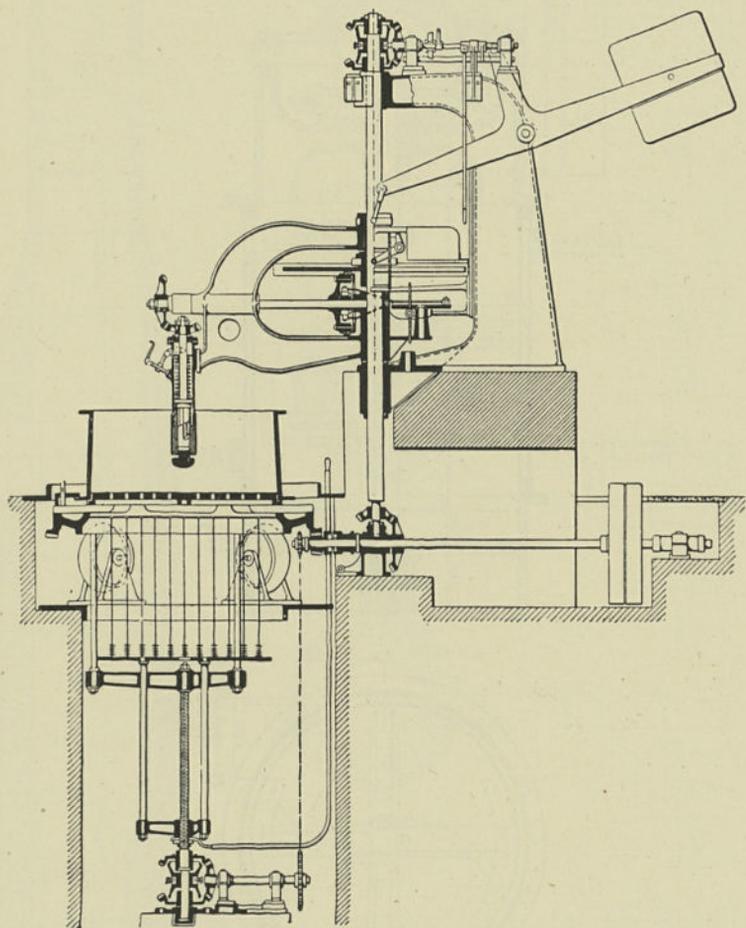


Fig. 89. — Machine pour faire les fonds de convertisseurs.

tenir 6 fonds à la fois. L'entrée et la sortie des fonds dans le four se fait d'une façon excessivement simple. Les fonds sont amenés jusque devant le four, sur un wagonnet dont le plateau peut être élevé ou abaissé au moyen d'un vérin hydraulique. On soulève le fond, sous lequel se trouve une plaque de tôle, jusqu'au-dessus des glissières qui sont placées de chaque côté du four, on pousse le wagonnet jusqu'à l'emplacement que doit occuper le fond dans le four, on abaisse le plateau et le fond se trouve suspendu dans le four sur les deux glissières-supports. Quand la cuisson est

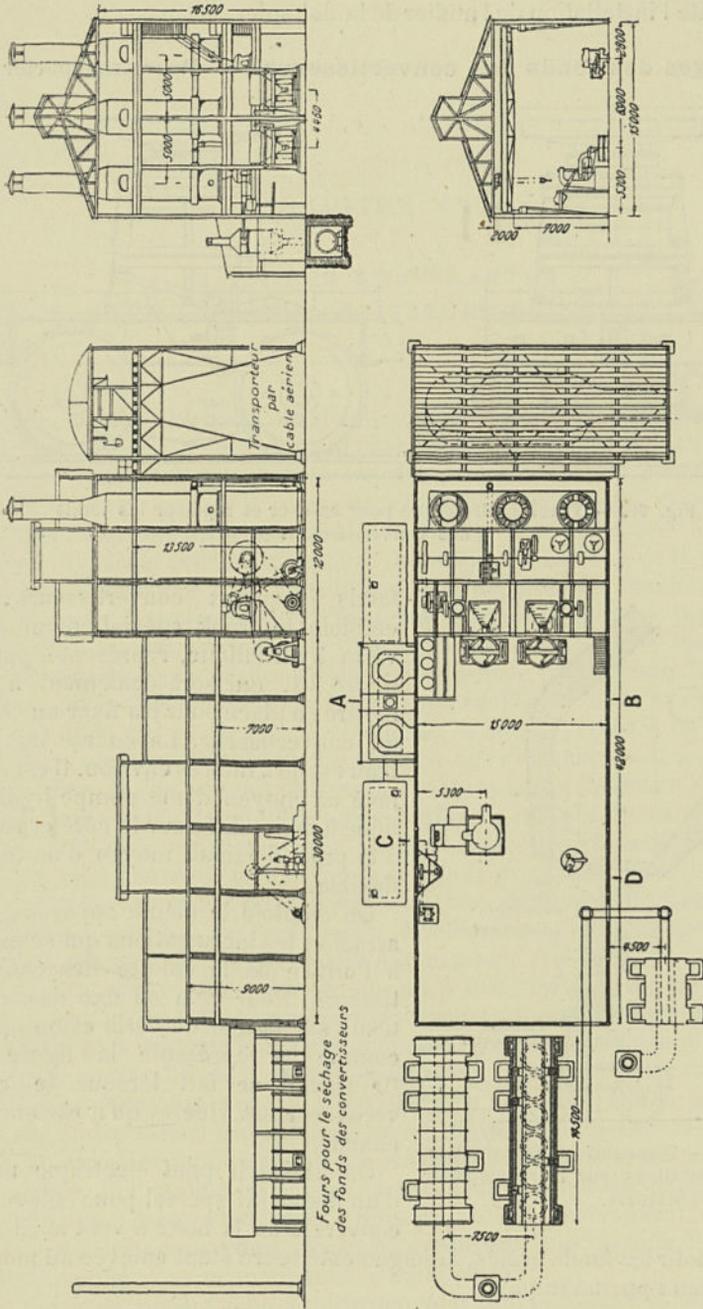


Fig. 90. — Disposition de l'atelier de la dolomie aux aciéries de Burbach.

terminée on retire le fond en faisant une manœuvre inverse. La figure 90 représente l'installation de l'atelier de la dolomie.

Fixages des fonds des convertisseurs. — Pour transporter les

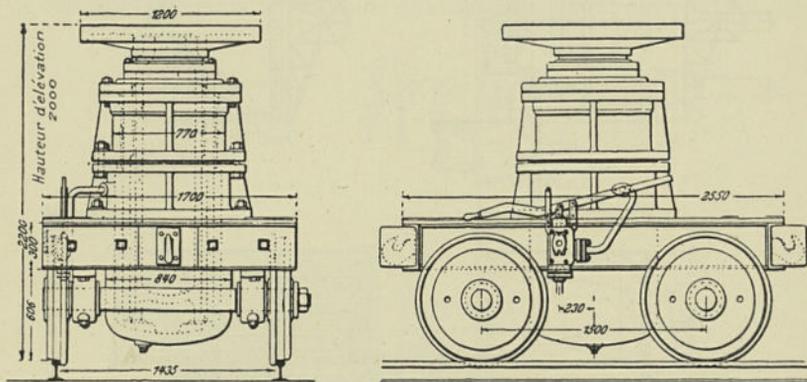


Fig. 91. — Truck hydraulique pour enlever et replacer les fonds des convertisseurs.

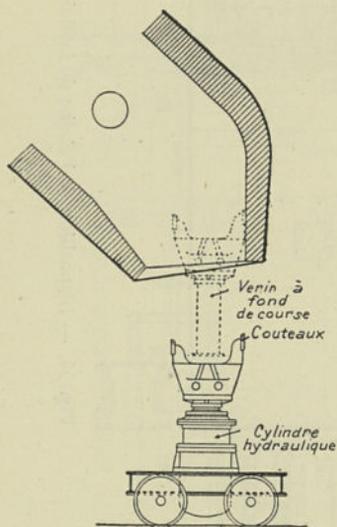


Fig. 92. — Dispositif pour arracher les incrustations sur le revêtement des convertisseurs.

pour démolir les fonds brûlés, la bague extérieure étant enlevée au moyen de marteaux pneumatiques.

fonds jusqu'aux convertisseurs, on emploie le truck spécial, muni d'un vérin hydraulique, représenté par la figure 91, qui sert également à les mettre en place pour les fixer au corps du convertisseur. La course du plateau est de 2 mètres environ. Il est soulevé au moyen d'une pompe hydraulique à main, fixée sur le côté et reliée à la prise d'eau au moyen d'un tuyau flexible.

On emploie le même appareil pour arracher les incrustations qui se fixent à l'orifice de la calotte des convertisseurs. Pour cela on fixe des couteaux sur la tête du vérin et on opère comme le représente la figure 92. Ce travail se fait lorsque le convertisseur est vide et qu'il est encore chaud.

On utilise le pont électrique muni d'un dispositif spécial pour enlever le couvercle de la boîte à vent ainsi que

CHAPITRE XVI

MACHINES SOUFLANTES POUR LES CONVERTISSEURS BESSEMER

Les types des machines soufflantes employées pour envoyer le vent aux convertisseurs, sont beaucoup plus nombreux qu'ils ne l'étaient il y a quelques années. Pendant très longtemps, la méthode généralement employée pour fournir le vent nécessaire au soufflage, consistait à employer une machine soufflante verticale ou horizontale à double cylindre, type qui prédomine encore de nos jours. En plus de la machine soufflante alternative à vapeur, il convient de citer les machines soufflantes à gaz, les machines soufflantes à moteur et enfin les turbo-soufflantes dont le choix de l'une, de préférence à l'autre, est basé sur un certain nombre de considérations. Dans les anciennes installations, la vapeur destinée au fonctionnement de la machine soufflante, était et est encore obtenue dans des générateurs, chauffés à la houille, comme on le fait le plus généralement. Plus tard, on a pensé que l'on réaliserait une économie notable, si l'on pouvait utiliser la chaleur perdue des fours à réchauffer de l'usine en employant des tubes bouilleurs remplis d'eau, innovation qui fit modifier considérablement la disposition des chaudières tout en laissant sous son ancienne forme la machine soufflante. Enfin, les aciéries qui possédaient des hauts fourneaux, sont parvenues à utiliser le gaz des hauts fourneaux en l'employant au chauffage des générateurs destinés à fournir la vapeur nécessaire à la machine soufflante.

Mais les usines modernes qui eurent à installer une aciérie entièrement nouvelle, ou même les anciennes usines qui ont constaté qu'elles ne pouvaient plus travailler économiquement si elles continuaient à utiliser la vapeur, ont réalisé un progrès considérable, en employant les machines soufflantes marchant avec le gaz des hauts fourneaux. Enfin, grâce aux progrès réalisés dans les installations électriques, qui permettent de produire la force économiquement, les machines soufflantes actionnées par un moteur sont de plus en plus en faveur, surtout dans les usines qui disposent d'une force électrique suffisante ou qui se trouvent dans des régions où les compagnies électriques peuvent leur fournir le courant dans des conditions économiques avantageuses.

Les prix de revient comparatifs que nous allons examiner, sont calculés pour une machine soufflante d'environ 4 000 chevaux, alimentant un atelier de convertisseurs fabriquant annuellement 400 000 tonnes de lin-

gots, et sont extraits d'une communication qui fut faite en 1910, par M. Mauritz, au Congrès International de Düsseldorf. Pour chaque cas examiné, le taux d'amortissement et des intérêts sera de 6 p. 100 sur les bâtiments et de 12 p. 100 sur l'installation et les fondations. Les chiffres donnés sont évidemment indicatifs et peuvent être modifiés pour chaque cas particulier après s'être assuré que les prix indiqués pour les combustibles, le gaz, l'eau, l'électricité, etc., sont en rapport avec ceux de la région dans laquelle est ou doit être installée l'usine.

Machines soufflantes à vapeur (générateurs chauffés à la houille). — Le capital nécessaire pour l'installation complète d'une machine soufflante à vapeur d'environ 4 000 chevaux, y compris condenseur, générateurs, surchauffeur et économiseur, tuyauterie, cheminée, bâtiments avec pont roulant et les fondations, est approximativement de 370 000 francs. La consommation d'eau pour l'atelier ci-dessus, basée sur une consommation de vapeur de 250 kilogrammes par tonne de lingots, est d'environ 5 500 litres par tonne.

En supposant que l'on dispose d'une abondante provision d'eau frappée d'une taxe de 5,77 fr. pour 4544 litres¹ (en supposant que l'eau n'est pas utilisée une seconde fois), on obtient la dépense annuelle suivante :

Prix de l'installation : 370 000 francs.

Amortissements et intérêts	63 125 francs.
Consommation d'eau	36 250 —
Salaires, approvisionnements et réparations . .	69 375 —
Combustible (pouvoir évaporatoire 7,5, sur la base de 250 kilogrammes de vapeur par tonne de lingots) à 12,50 fr. la tonne	167 250 —
Dépense annuelle	336 000 francs.

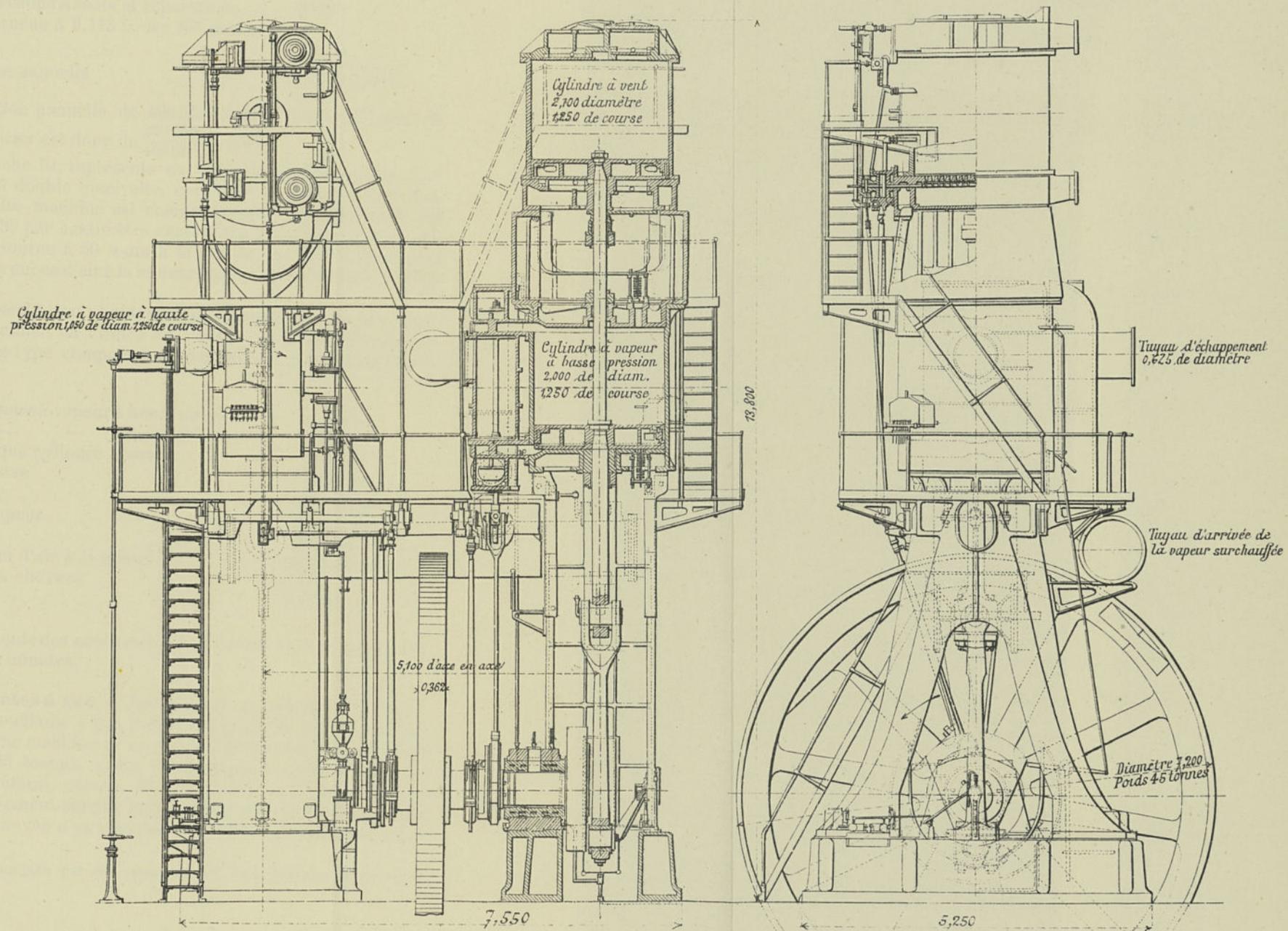
Pour une production annuelle de 400 000 tonnes d'acier, le prix de revient par tonne d'acier est donc de $\frac{336\ 000}{400\ 000} = 0,84$ fr.

Dans le cas d'une installation où l'on utilise la chaleur perdue des fours à réchauffer, pour transformer en vapeur, l'eau des bouilleurs, ces chiffres doivent nécessairement être modifiés selon les conditions particulières de travail.

Machines soufflantes à vapeur (générateurs chauffés au gaz). — Dans les usines où les générateurs à vapeur sont chauffés au gaz on peut accepter comme base les chiffres suivants. Le capital nécessaire pour l'installation complète d'une machine soufflante à vapeur d'environ 4 000 chevaux, sans économiseur et en supposant que les bouilleurs sont en plein air, est d'environ 657 500 francs. Le gaz du haut fourneau est livré aux chaudières au prix de 0,113 fr. les 100 mètres cubes de gaz ayant une valeur calorifique de 900 calories par mètre cube, ce qui cor-

¹ Chiffre correspondant à 1 000 gallons (E. Bazin).

Système Galloway, type Compound à double manivelle



respondrait à de la houille à 12,50 fr. la tonne. Les dépenses annuelles seront de :

Prix de l'installation : 657 500 francs.

Amortissements et intérêts.	75 000 francs.
Consommation d'eau	36 250 —
Salaires, approvisionnements et réparations. . .	42 250 —
Gaz de haut fourneau à 0,113 fr. les 100 mètres cubes	167 250 —
Dépense annuelle.	<u>320 750 francs.</u>

Pour une production annuelle de 400 000 tonnes d'acier, le prix de revient par tonne d'acier est donc de $\frac{320\ 750}{400\ 000} = 0,80$ fr.

La figure 93, planche III, représente un type de machine soufflante à vapeur compound, à double manivelle, construite par MM. Galloways, Ltd Manchester. Cette machine est construite pour travailler sous une pression de 58 kg. 835 par centimètre carré dans le cylindre à vapeur à haute pression; elle tourne à 50 tours à la minute, ce qui représente un volume de 991 mètres cubes d'air à la minute sous une pression de 1 kg. 395 par centimètre carré.

La figure 94 représente une photographie ¹ d'une forte machine soufflante récemment installée en France aux usines de Senelle-Maubeuge. Cette machine est du type compound horizontal, ses particularités sont les suivantes :

Diamètre du cylindre à vapeur à haute pression.	1,30 m.
— — — basse pression.	2,00 —
— de chaque cylindre à vent	1,80 —
Longueur de course	1,70 —
Tours par minute	60
Pression de la vapeur.	54,420 kg.
— du vent.	16,0 kg.
Volume maximum d'air à la minute	1 000 mètres cubes.
Force normale en chevaux	4 000
Poids total.	350 tonnes.

Cette machine alimente des convertisseurs de 18-20 tonnes, la durée du soufflage étant de dix minutes.

Machines soufflantes à gaz. — La figure 95, représente la photographie d'une machine soufflante à gaz, construite par la M.A.N. C^o à Augsburg (Allemagne). Une machine de ce genre, alimentant des convertisseurs Bessemer de 25 tonnes, coûte complètement montée, sans les fondations ni la tuyauterie, environ 500 000 francs. La marche de ces machines est excessivement simple, la quantité d'air envoyée et sa pression étant réglées au moyen d'un régulateur à main. Un régulateur coupe

¹ Obligeamment communiquée par les constructeurs, MM. Leflaive et C^o, Saint-Etienne.

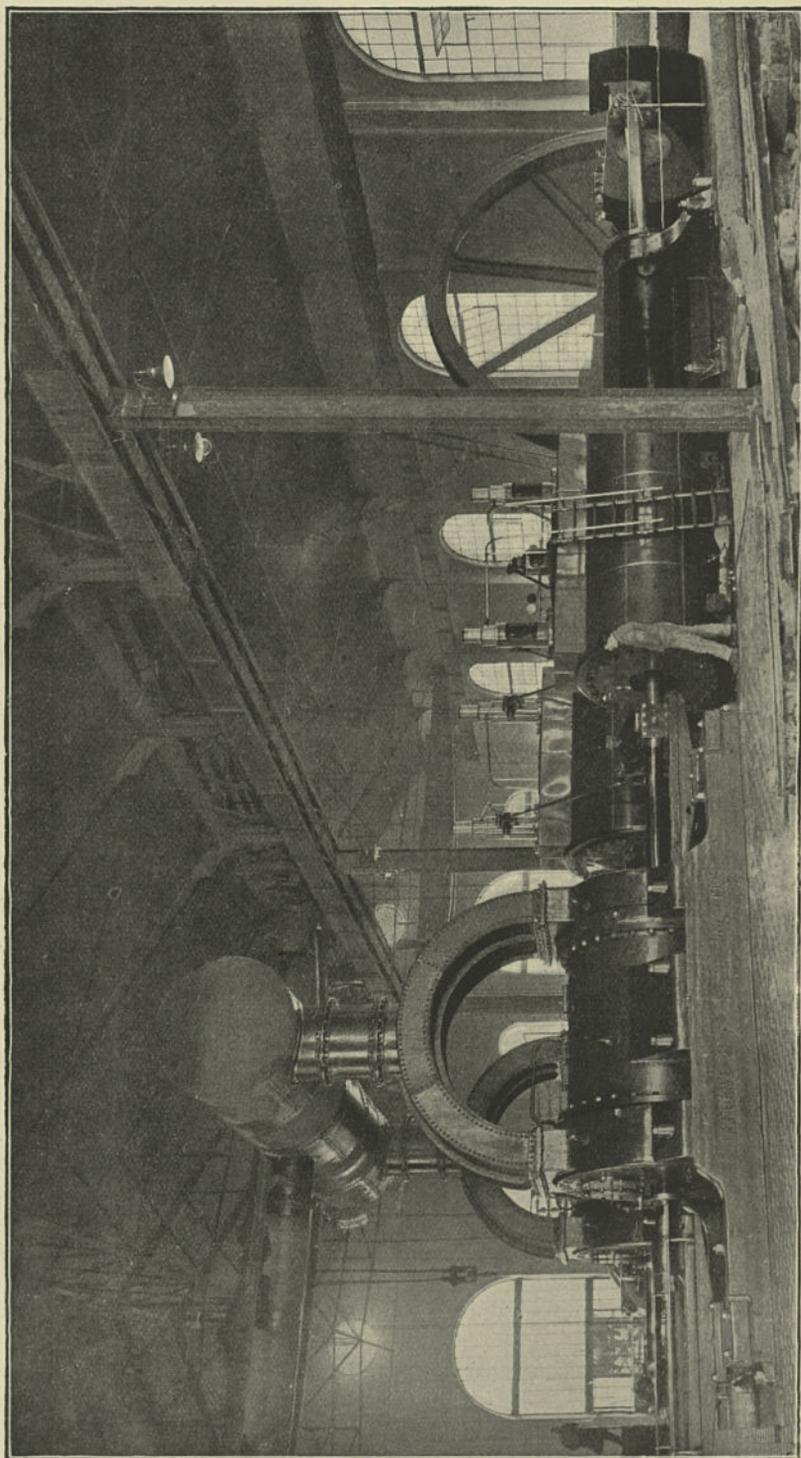


Fig. 94. — Machine soufflante à vapeur. Type compound horizontal de Lefflaive.

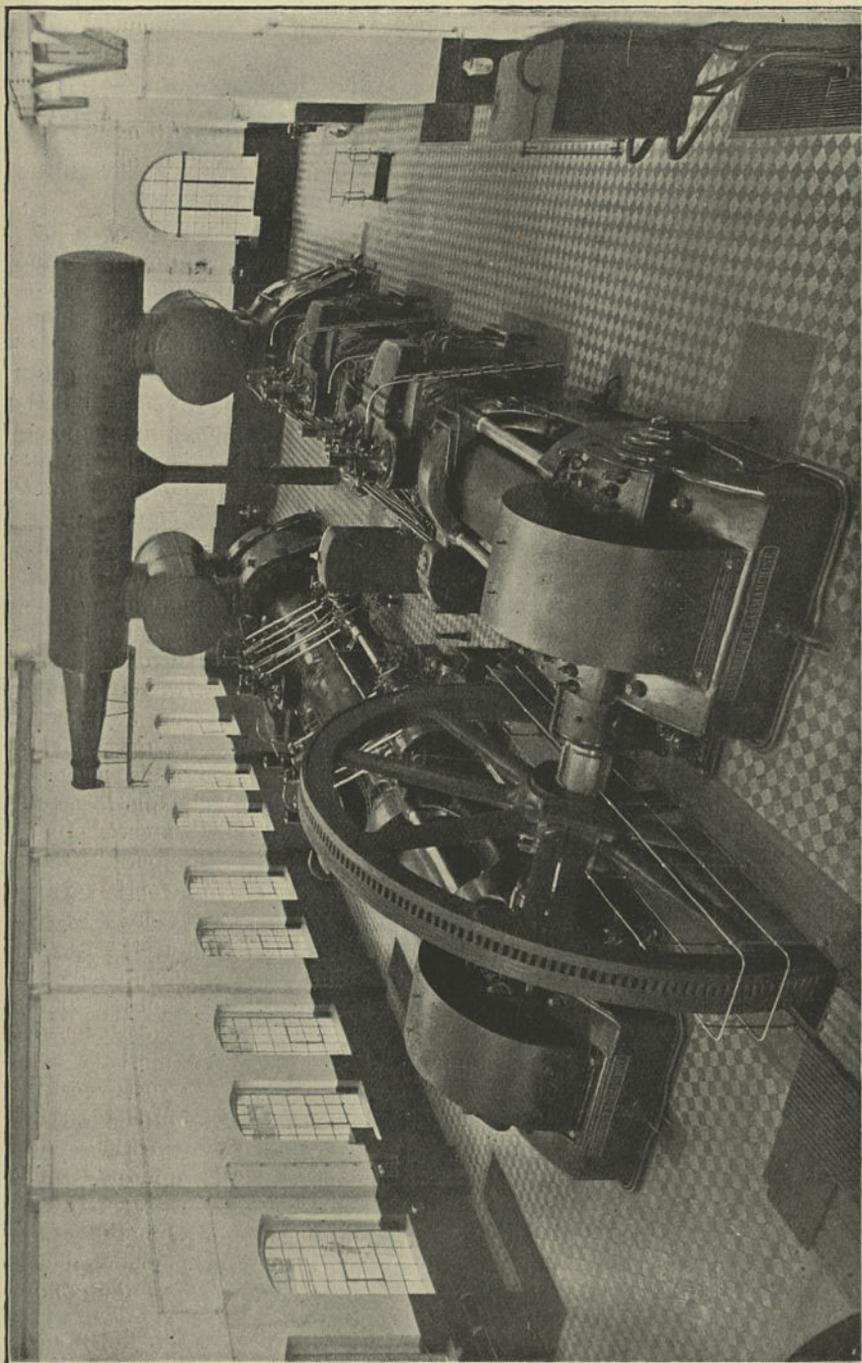


Fig. 95. — Machine soufflante à gaz, Type M. A. N.

l'allumage si la vitesse dépasse celle prévue et le rétablit lorsque la machine revient à sa vitesse normale. A la fin du soufflage, s'il n'y a aucun convertisseur en opération, on n'arrête pas la machine, mais on coupe l'envoi du vent au moyen d'une valve équilibrée, placée sur la conduite de vent. L'air s'échappe ainsi dans l'atmosphère et la machine tourne à vide tout le temps que la valve reste ouverte et que le soufflage est arrêté. Pendant cet intervalle entre deux soufflages, la machine tourne très lentement, de sorte que la consommation du gaz est minimum.

Dans la machine soufflante à gaz construite par Thyssen et C^o Ltd à Mülheim-Ruhr (Allemagne), le réglage de la vitesse de la machine est obtenu au moyen d'un levier placé sur le robinet-mélangeur, ce qui permet de faire varier le nombre des tours de 25 à 95 à la minute. La quantité d'air envoyée est contrôlée au moyen d'une valve rotative placée sur le fond du cylindre à vent et qui occupe différentes positions, suivant que le cylindre communique avec l'air extérieur, ou avec un espace clos ou quand on travaille en pleine charge sur les convertisseurs.

Le capital nécessaire pour l'installation complète d'une machine soufflante à gaz d'environ 4 000 chevaux, utilisant le gaz de haut fourneau, y compris l'installation de l'appareil de mise en marche par l'air comprimé, les pompes de circulation d'eau, les tuyauteries, les bâtiments avec pont roulant ainsi que les fondations, s'élève approximativement à 675 000 francs. Ce prix ne comprend pas l'installation d'épuration du gaz. La consommation de gaz de haut fourneau (à 900 calories par mètre cube) par tonne de métal produit est d'environ 139 m³ 877, il peut être livré à l'aciérie au prix de 0,113 fr. les 100 mètres cubes, ce qui correspond à une houille coûtant 12,50 fr. la tonne. La dépense annuelle sera donc de :

Prix de l'installation : 675 000 francs.

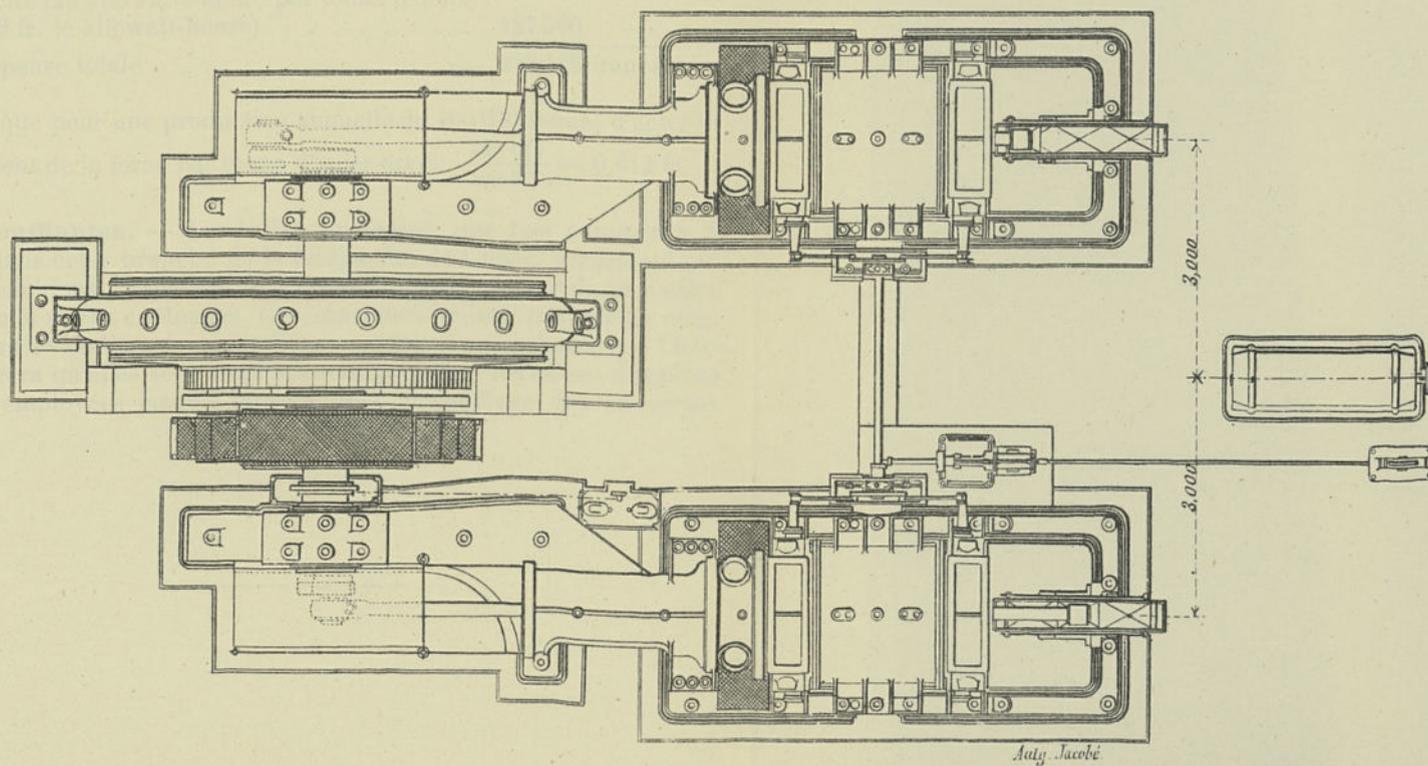
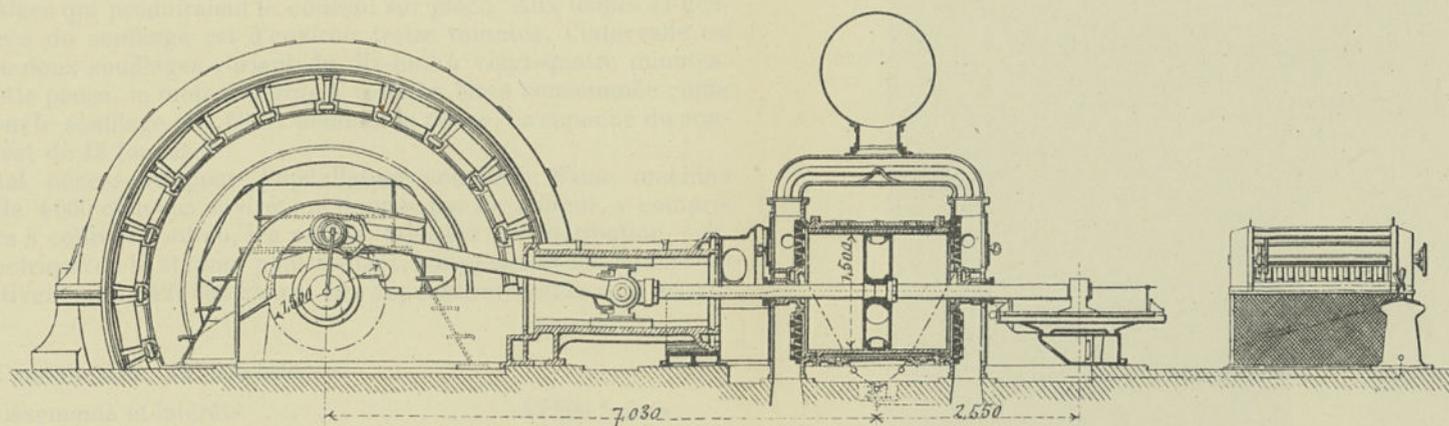
Amortissements et intérêts	76 250 francs.
Consommation d'eau	12 125 —
Salaires, approvisionnements et entretien. . .	42 250 —
Consommation de gaz à 0,105 les 100 mètres cubes	65 000 —
Dépenses totales	195 625 francs.

De sorte que pour une production annuelle de 400 000 tonnes, le prix de revient de la force par tonne d'acier est de $\frac{195\ 625}{400\ 000} = 0,493$ fr.

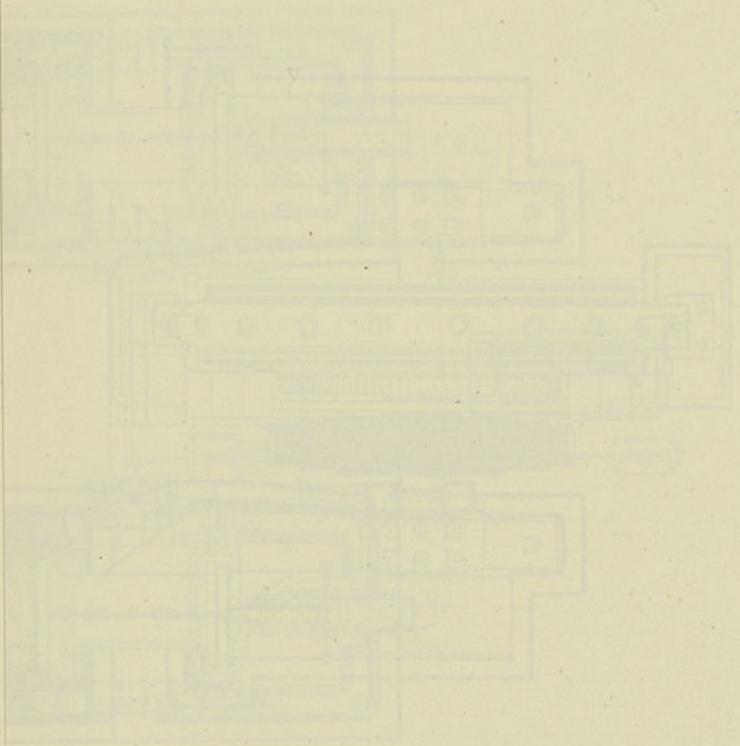
Machines soufflantes actionnées par un moteur. — La planche IV, figure 96, représente le dessin ¹ d'une soufflante de convertisseur de 2 000 chevaux, construite par Felten et Guillaume-Lahmeyerwerke A.G., de Frankfort (Allemagne) et installée à l'A. G. Peiner Walzwerk, Peine, Hanovre. La vitesse du moteur peut varier de 22 tours (la force correspondant à cette vitesse est de 600 chevaux) à 80 tours par minute. Le courant est fourni par une station électrique située à Ilsede, distant de 6 km. 500. Le voltage du courant est de 10 000 volts, il est transformé

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXIX, 14 juillet 1909.

MACHINE SOUFFLANTE ACTIONNÉE PAR UN MOTEUR.



MARSHALL SOUTH LAWYERS



aux usines de Peine en un courant de 500 volts. Les mesures de consommation du courant ont montré que cette consommation, est de 30 kilowatts-heure, par tonne de métal produit. Ce chiffre comprend les pertes de transport et de transformation de la haute en basse tension et il est probable que cette consommation pourrait être réduite à 25 kilowatts-heure dans les usines qui produiraient le courant sur place. Aux usines ci-dessus, la durée du soufflage est d'environ treize minutes, l'intervalle ou pause entre deux soufflages variant de dix-huit à vingt-quatre minutes. Pendant cette pause, le moteur tourne à vide. La force consommée coûte 10,71 fr. pour le soufflage et 1,68 fr. pendant la pause. La capacité du convertisseur est de 15 tonnes.

Le capital nécessaire pour l'installation complète d'une machine soufflante de 4000 chevaux environ, actionnée par un moteur, y compris les moteurs à courant continu, les câbles, tableaux de distribution, conducteur électrique de la station, pont roulant, bâtiments et fondations est approximativement de 427 500 francs. Les dépenses annuelles sont les suivantes :

Prix de l'installation : 427 500 francs.

Amortissements et intérêts	47 500 francs.
Consommation d'eau	625 —
Salaire, approvisionnements et entretien . . .	7 500 —
Electricité (25 kilowatts-heure par tonne d'acier à 1,89 fr. le kilowatt-heure)	187 500 —
Dépense totale	243 125 francs.

De sorte que pour une production annuelle de 400 000 tonnes d'acier le prix de revient de la force par tonne d'acier est de $\frac{243\ 125}{400\ 000} = 0,612$ fr.

Turbo-soufflantes. — Les turbo-soufflantes, que l'on commence à employer dans cette branche de la fabrication de l'acier, présentent sur les autres machines, l'avantage de prendre moins de place et de nécessiter des fondations moins coûteuses. Ces machines ne sont pas encore nombreuses dans les ateliers de convertisseurs, mais il est probable que l'avenir démontrera qu'elles sont aussi économiques que les autres machines soufflantes employées jusqu'à présent pour le soufflage des convertisseurs.

CHAPITRE XVII

PRIX DE L'ACIER, POUR LINGOTS, FABRIQUÉ DANS LES GROS CONVERTISSEURS BESSEMER

En ce qui concerne le prix de l'acier fabriqué avec les gros convertisseurs, les calculs sont basés sur la valeur de l'acier liquide de la poche et non sur celle de l'acier des lingots. Il n'est pas possible de donner autre chose que des prix approximatifs de l'acier acide ou basique, comme représentant ceux généralement obtenus en Angleterre et dans les autres pays. De plus, nous avons essayé de donner une indication générale sur chaque chapitre des dépenses supportées par les aciéries modernes, qui emploient tous les perfectionnements voulus, pour que le travail ordinaire soit réduit au minimum de manutention, ainsi que par celles qui obtiennent le rendement maximum. Pour le premier cas, nous avons examiné une installation de 4 convertisseurs de 10 tonnes et pour le second, une installation de 4 convertisseurs de 24 tonnes.

Prix de l'acier produit avec un convertisseur Bessemer basique de 10 tonnes, dans un atelier de 4 convertisseurs.

Capacité de l'installation. — Dans un atelier comprenant 4 convertisseurs, il est seulement nécessaire de travailler à la fois avec 3 convertisseurs, le quatrième étant toujours en réparation. Pour chaque convertisseur, la durée du soufflage varie de dix à vingt-cinq minutes (on en a vu qui durait cinquante minutes) soit une durée moyenne de dix-sept minutes et demie, temps auquel il faut ajouter celui employé pour le chargement de la chaux, pour le remplissage du métal dans la poche et pour sa coulée et dont la durée peut varier de dix à quinze minutes.

Wedding¹ estime que la durée moyenne du soufflage est d'environ quarante minutes, mais malgré cela, un convertisseur ne peut pas travailler continuellement à cette allure, car il faut tenir compte du temps nécessaire pour changer les fonds. On admet qu'un convertisseur faisant 24 soufflages en vingt-quatre heures, travaille dans d'excellentes conditions. On peut obtenir un plus fort rendement, mais nous établirons nos calculs sur la base de 24 soufflages en vingt-quatre heures, soit un soufflage à l'heure,

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 418.

La production hebdomadaire avec des équipes travaillant de dix heures et demie à onze heures par jour sera donc de :

$$10 \frac{1}{2} \times 12 \times 3 \times 10 = 3780 \text{ tonnes.}$$

Et en travaillant quarante-huit semaines par an, la production annuelle sera de :

$$3780 \times 48 = 181\,440 \text{ tonnes.}$$

Prix de l'installation. — Le prix d'une installation capable de fournir la production ci-dessus, varie considérablement selon les conditions de situation et dépend aussi des installations auxiliaires utilisées, mais en supposant l'emploi de tous les perfectionnements les plus modernes, pour réduire la main-d'œuvre au minimum, le prix total est approximativement de 2 250 000 francs. Dans ces chiffres figurent :

1. Deux mélangeurs de 350 tonnes de capacité chacun, employés comme collecteurs et désulfurateurs ;
2. Deux trucks pour locomotives à vapeur, avec poche de 15 tonnes de capacité ;
3. Un pont roulant électrique de 30 tonnes dans le hall des mélangeurs et une grue auxiliaire de 10 tonnes ;
4. Quatre convertisseurs de 10 tonnes, montés sur paliers, avec appareils de manœuvre hydraulique ;
5. Deux machines soufflantes pour souffler deux cornues à la fois ;
6. Deux grues électriques ou hydrauliques de 20 tonnes, pour le service des convertisseurs ;
7. Un pont roulant électrique de 25 tonnes pour la fonderie ;
8. Un pont roulant électrique de 80 tonnes pour le maniement des convertisseurs et autres manœuvres ;
9. Deux trucks spéciaux, avec vérin hydraulique pour enlever les fonds des convertisseurs ;
10. Deux cubilots à spiegel ;
11. Deux ventilateurs à basse pression pour les cubilots ;
12. Un four pour la chaux et le ferro-manganèse ;
13. Un monte-charge pour le service des cubilots et des fours ;
14. Un monte-charge pour le service des convertisseurs ;
15. Tous les tuyaux et valves ou robinets pour les cubilots et les convertisseurs ;
16. Tous les planchers, charpentes en acier, cheminées, etc. ;
17. Deux ateliers de pompes hydrauliques et accumulateurs ;
18. Bâtiment pour les convertisseurs et les mélangeurs ;
19. Deux ponts-bascules ;
20. Générateurs de vapeur, 3 000 HP ;
21. Atelier de dolomie et son matériel ;
22. Fondations des bâtiments et des machines.

Les hauts fourneaux ne sont pas compris, le prix de la fonte étant celui de fonte rendue aux mélangeurs.

Amortissements et intérêts de l'installation. — Toutes les parties d'une installation Bessemer, y compris les machines accessoires, ne se

déprécient pas au même degré. Il y a des installations qui travaillent encore actuellement, et qui ont été montées il y a plus de trente ans, tandis que d'autres ont été complètement reconstruites, ou agrandies ou modernisées. En supposant un amortissement de 10 p. 100 sur le matériel, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations nous arrivons aux chiffres suivants :

Amortissement sur le matériel 10 p. 100 sur 1 500 000 fr.	150 000 fr.
— les bâtiments 5 — 500 000 fr.	25 000 —
— les fondations 2 $\frac{1}{2}$ — 250 000 —	6 250 —
Intérêt du capital, 5 p. 100 sur 2 250 000 fr.	112 500 —
Dépenses totales annuelles pour amortissements et intérêts	293 750 fr.

Taux d'amortissement et d'intérêt par tonne d'acier liquide :

$$\frac{293\ 750}{181\ 440} = 1,61 \text{ fr.}$$

Dépenses de fabrication par tonne d'acier liquide.

Prix d'entretien et d'approvisionnement. — Les réparations supportées par un atelier Bessemer sont fort coûteuses car elles comprennent tous les matériaux et toute la main-d'œuvre employés pour la préparation des matériaux utilisés dans les convertisseurs tels que les revêtements et les fonds, les revêtements des cubilots et des fours à ferro-manganèse et à chaux, le revêtement des poches, etc. Les réparations comprennent également les matériaux et la main-d'œuvre, de tout le matériel et des bâtiments tels que les machines, les grues, les trucks, les transporteurs, les élévateurs, les ponts-bascules, etc. ainsi que les plates-formes de travail, la charpente en acier et la maçonnerie des bâtiments.

Dans les approvisionnements figurent les outils, les brosses, le déchet, l'amiante, la graisse, l'huile et autres fournitures du même genre.

Réparations des convertisseurs. — Ces réparations comprennent le remplacement du revêtement et des fonds. Les fonds sont renouvelés fréquemment ; dans certains cas il faut les remplacer après 20 soufflages, tandis que dans certaines conditions ils peuvent supporter 80 soufflages consécutifs. Wedding¹ dit qu'à Teplitz en Bohême, où l'on utilisait des fonds en dolomie pilonnée, dans lesquels on noyait les tuyères, ils n'étaient remplacés qu'après 80 soufflages du convertisseur dont la capacité était de 6,5 t. Les mêmes fonds employés, à Pottstown. Pa., E. U, ne pouvaient supporter que 65 soufflages, mais les convertisseurs étaient de 10 tonnes. Ces différences dans le nombre de soufflages supportés par les fonds, proviennent de différentes causes parmi lesquelles il faut citer la nature des matériaux employés, la différence de qualité de la fonte transformée et la conduite du procédé.

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 215.

Les revêtements des convertisseurs durent beaucoup plus longtemps que les fonds, c'est-à-dire de six à dix-huit mois et le prix de cette réparation est d'autant plus réduit, que l'on dispose pour la faire d'un matériel approprié spécialement à cet usage. Celui employé à la North Eastern Steel Works, Middlesbrough (décrit page 195), permet de faire la réparation des cornues avec le minimum de main-d'œuvre.

Les matériaux employés pour la réparation des mélangeurs, des cubilots, des fours à ferro-manganèse et à chaux ne coûtent pas aussi cher que ceux employés dans les convertisseurs, mais par contre, leur prix figure dans les dépenses totales qui s'élèvent à 3,46 fr. par tonne d'acier liquide.

Les autres réparations de l'installation, y compris les salaires et les réparations du matériel hydraulique, électrique et mécanique, les approvisionnements en huile, déchet, etc., s'élèvent approximativement à 0,94 fr. la tonne. On a donc :

Prix de revient d'entretien et d'approvisionnement : 4,40 fr. par tonne d'acier liquide.

Prix du combustible. — Ce chapitre comprend la houille, le coke, l'huile, le gaz de gazogène, le bois et autres combustibles employés : pour le chauffage préalable des convertisseurs avant d'y introduire le métal fondu ; — pour la fusion des spiegels dans les cubilots ; — pour le chauffage de la chaux et du ferro-manganèse ; — pour le chauffage des mélangeurs, le séchage des fonds dans les fours et en général tous les combustibles employés pour les besoins de l'installation. La dépense moyenne est approximativement de 0,52 fr. par tonne d'acier liquide.

Prix de la main-d'œuvre. — On comprend sous ce chapitre toute la main-d'œuvre des ouvriers travaillant dans l'atelier, à l'exclusion de celle figurée déjà au chapitre « Entretien ». Dans une usine bien installée, la main-d'œuvre nécessaire à la manutention des matières premières est généralement petite. Voici la liste du personnel ouvrier :

Machinistes sur les locomotives conduisant la fonte depuis les hauts fourneaux jusqu'aux mélangeurs et de ceux-ci jusqu'aux convertisseurs ;

Basculeurs des ponts-bascules à l'entrée du hall des mélangeurs et du hall des convertisseurs ;

Machinistes aux grues des mélangeurs et des convertisseurs ;

Ouvriers aux mélangeurs ;

Ouvriers aux convertisseurs, cubilots, fours à ferro-manganèse et à chaux ;

Ouvriers occupés à la manutention des scraps, de la chaux et des ferro-alliages destinés aux cubilots et convertisseurs ;

Ouvriers pour l'enlèvement des scories ;

Machinistes de la machine soufflante et des petits ventilateurs, chauffeurs aux générateurs, etc. et manœuvres ;

Contremaître.

Les salaires totaux moyens s'élèvent à 2,20 fr. par tonne d'acier liquide.

Le taux des salaires varie avec les différents pays, et ceux que nous indiquons ici viennent d'être récemment publiés dans le *Bulletin de l'Association américaine du commerce et de l'industrie (Berlin)*, qui donne le

taux des salaires payés en Allemagne aux ouvriers occupés dans les ateliers Bessemer basiques. Ils sont intéressants, car ils indiquent le salaire journalier payé, basé sur la durée du travail et sur le tonnage journalier obtenu. En Angleterre, ces prix sont de 10 à 20 p. 100 plus élevés tandis qu'en Amérique ils sont de 80 à 150 p. 100 plus forts qu'en Allemagne.

TABLEAU LVIII
Salaires payés dans le procédé Bessemer basique.

NATURE DU TRAVAIL	SALAIRES MOYENS pour une journée de 12 heures ¹ .	SALAIRES JOURNALIERS moyens d'après le tonnage obtenu.
	francs.	francs.
Contremaitre	12,62	15,77
Mécanicien de la machine soufflante .	10,71	13,88
Ouvriers à la chaux et à la dolomie .	5,50	7,29
Marqueurs	5,50	7,29
Maçons	5,50	7,29
Rouleurs de fonte, scorie et débris. .	4,77	6,86
Ouvriers des mélangeurs	5,60	7,19
— des convertisseurs.	6,03	7,56
— des fours.	6,14	7,56
— des coulées	6,14	7,56
Aides	5,14	5,67
Machinistes.	5,04	6,86
Ouvriers des grues	5,04	6,86

Prix de la force. — Le prix de la force consommée pour la production du vent des convertisseurs dépend, dans une certaine mesure, de la nature du combustible employé. Au Chapitre xvi, nous avons examiné non seulement les principaux types de machines soufflantes actuellement employées, mais aussi la quantité de combustible consommé par chaque type de machine. L'emploi des machines du type horizontal ou vertical est commun et la dépense en combustible d'une installation ayant les dimensions que nous avons indiquées, en supposant que le prix de la houille soit de 12,50 *fr.* la tonne, est d'environ 1,26 *fr.* La force consommée par les pompes et autres appareils auxiliaires, tels que les grues électriques et hydrauliques et les monte-charges est approximativement de 0,21 *fr.* par tonne.

Prix de la force totale : 1,50 *fr.* par tonne d'acier liquide.

Prix des matières premières. — Le prix des matières premières composant la charge d'un convertisseur basique, varie considérablement selon la composition de la fonte employée et du produit final désiré, la nature des flux employés, le procédé adopté, et toutes les autres considérations inhérentes à l'application du procédé. On ne peut donc donner une approximation de la dépense moyenne; qu'en examinant des exemples individuels.

¹ Dans certaines localités on a déjà appliqué la journée de huit heures.

Matériaux du haut fourneau au mélangeur. — Le prix de la fonte liquide livrée au mélangeur dépend évidemment des prix du minerai, du combustible et autres matériaux, qui sont de temps en temps sujets à des variations. Lorsque le minerai du Luxembourg ou de Lorraine, coûte respectivement 7,35 fr. et 6,72 fr. la tonne, le prix de la tonne de fonte est de 53,83 fr. et 56,43 fr. comme l'indiquent les détails suivants, donnés par Wedding¹ :

	LUXEMBOURG	LORRAINE
Minerai du pays.	7,35	6,72
— étrangers	10,50	10,50
Calcaire	—	1,15
Coke.	27,74	29,66
Salaires.	3,94	3,94
Divers	4,30	4,46
Total.	53,83	56,43

A la même époque, en 1882, les prix de la tonne de fonte dans les autres régions de l'Allemagne étaient les suivants :

Région de la Saare, 60,37 fr. ; en Westphalie de 61,69 fr. à 68,25 fr.

Pour le prix de revient de la fonte Bessemer, en Amérique, pendant 1902-1906, voir le tableau XIV de la page 20.

Vers la fin du XIX^e siècle, Jeremiah Head et A.-P. Head estimaient² que le prix de la fonte à Pittsburg, Pa.; E. U. ; était de 40,93 fr. tandis qu'à Middlesbrought il était de 65,79 fr. la tonne. Depuis cette époque, le prix de revient en Amérique a considérablement augmenté alors qu'il diminuait en Angleterre. En 1898 le prix de revient d'une tonne de fonte était en Amérique de 49,18 fr. et en 1908 il était de 73,61 fr. Cette augmentation des prix de revient en Amérique est due à différentes causes, parmi lesquelles il faut citer celle de l'extraction des minerais à une plus grande profondeur, les salaires élevés, l'augmentation du prix des combustibles, des calcaires et des transports.

De ce qui précède, il est évident que le prix par tonne de fonte liquide varie, non seulement avec les différents pays mais aussi pour un même pays à différentes périodes. Le chiffre de 63 francs sera pris comme chiffre approximatif moyen.

Autres matériaux. — La quantité de chaux employée par tonne d'acier varie de 10 à 20 p. 100. En prenant le chiffre 15 comme moyenne, — c'est-à-dire 150 kilogrammes par tonne — le prix par tonne d'acier, pour une chaux coûtant 17,66 fr. la tonne sera de 2,62 fr. environ.

La dépense en ferro-manganèse et en spiegel est approximativement de 1,89 fr. par tonne d'acier.

Quant aux autres fournitures telles que l'aluminium, le ferro-silicium, leur consommation représente une dépense de 0,63 fr. par tonne.

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 184.

² *Engineer*, vol. CVII, p. 471.

RÉSUMÉ DU PRIX DE REVIENT

Prix de l'installation : 2 250 000 francs.

Amortissements et intérêts	1,61 fr.
Frais d'entretien et d'approvisionnements	4,40 —
Combustibles	0,52 —
Main-d'œuvre	2,20 —
Force	1,47 —
Chaux.	2,62 —
Ferro-manganèse, spiegel.	2,52 —
Fonte (liquide du haut fourneau)	63,00 —
Frais généraux.	0,94 —
Dépense par tonne d'acier liquide	79,28 fr.
Plus 15 p. 100 de perte de fonte à la transformation.	9,45 —
Dépenses totales de fabrication.	88,73 fr.
Moins la valeur de la scorie.	4,41 —
Dépense totale nette par tonne d'acier liquide.	84,32 fr.

A titre de comparaison nous donnons les divers prix de revient suivants :

PRIX DE TRANSFORMATION DE LA FONTE EN ACIER BASIQUE
EN ALLEMAGNE ¹

Ferro-manganèse ou spiegel	3,25 à 6,72 fr.
Salaires.	4,04 » 5,88 —
Houille pour produire la vapeur	1,05 » 1,68 —
Coke pour les cubilots	4,20 » 5,04 —
Moules	1,05 » 1,63 —
Charge de chaux.	0,31 » 3,25 —
Revêtement basique.	4,30 » 5,25 —
Réparations.	2,62 » 2,99 —
Intérêts et amortissements (15 p. 100)	1,31 » 1,31 —
Divers.	5,88 » 6,30 —
Total.	28,01 » 40,05 fr.
En mettant le prix de la fonte à 52,50 fr.	52,50 fr.
les pertes à.	7,87 —
le prix de la transformation à	28,01 —
Une tonne d'acier en lingot coûte.	88,38 fr.
Avec la fonte à 42,63 fr.	42,63 fr.
les pertes à.	6,40 —
les prix de la transformation à.	40,05 —
Une tonne d'acier en lingot coûte.	89,08 fr.

¹ Wedding, « *Basic Process* », p. 185.

PRIX DE TRANSFORMATION DE LA FONTE EN ACIER BASIQUE A CHARLEROI (BELGIQUE)¹. ATELIER DE 3 CONVERTISSEURS DE 10 TONNES. PRODUCTION 450 TONNES EN 24 HEURES

Métal venant directement du haut fourneau aux convertisseurs :

Perte de fonte 150 à 190 kilogrammes par tonne . . .	10,50 fr.
Houille, 150 à 165 kilogrammes	1,73 —
Coke, 13 à 45 kilogrammes	0,37 —
Dolomie, 55 à 60 kilogrammes	1,63 —
Chaux, 180 à 190 —	0,47 —
Goudron, 5 à 6 —	0,84 —
Matériaux réfractaires	0,94 —
Plombagine	0,37 —
Dépenses diverses et de réparation	1,42 —
Wagons de manœuvre et de transport	0,10 —
Salaires	1,99 —
Frais généraux	0,52 —
Amortissements	0,52 —
Ferro-manganèse, 5 à 6 kilogrammes	1,52 —
Total	<u>22,92 fr.</u>
A déduire la valeur des scories	2,99 —
Prix de la transformation	<u>19,93 fr.</u>
A ajouter le prix de la fonte	52,43 —
Prix net par tonne d'acier liquide	<u><u>72,36 fr.</u></u>

Prix de revient calculés, pour produire l'acier dans un atelier Bessemer basique, de quatre convertisseurs de 24 tonnes.

Capacité de l'installation. — Installés pour changer les fonds, raccommoder ou remplacer les revêtements et faire les réparations générales, dans les délais voulus, la production maximum de trois convertisseurs de 24 tonnes, marchant constamment pendant vingt-quatre heures, est approximativement de 2 000 tonnes², ce qui représente plus de 41 soufflages par journée de douze heures, pour les trois convertisseurs. Ces chiffres sont intéressants, quand on les compare à la production moyenne de certaines installations plus petites. Prenons, par exemple, la production moyenne des trois convertisseurs basiques de 10 tonnes de la North Eastern Steel Co, Middlesbrough, qui constitue un exemple bien choisi et où l'on fait³ 34 soufflages par journée de douze heures, soit approximativement 17 p. 100 de moins que le nombre des soufflages des convertisseurs de 24 tonnes.

La production hebdomadaire d'un atelier de convertisseurs de 24 tonnes, étudiée dans ce chapitre, est basée sur $10\frac{1}{2}$ journées de douze heures,

¹ *Revue universelle des Mines*, vol. XV, pp. 1-26.

² Chiffre confirmé par une personnalité industrielle.

³ *Iron and Coal Trades Review*, vol. 77 (2), p. 1455.

ce qui correspond à $10,5 \times 1000 = 10500$ tonnes. En travaillant quarante-huit semaines par an, la production annuelle est de : $48 \times 10500 = 504000$, soit en chiffres ronds 500 000 tonnes.

Prix de l'installation. — Le capital employé pour le matériel et les bâtiments nécessaires pour atteindre la production ci-dessus, est assez difficile à indiquer, si l'on ne considère pas les conditions de situation. Les fondations d'une telle installation peuvent coûter deux fois plus cher dans un endroit que dans un autre, selon la nature du sol. Les prix du matériel et des bâtiments sont plus faciles à indiquer, et grâce aux documents que nous possédons, nous pouvons donner comme parfaitement acceptable, le prix approximatif de 5 000 000 de francs. Ce prix comprend le matériel suivant, livré, monté et prêt à fonctionner :

1. Trois mélangeurs de 350 tonnes chacun ;
2. Trois poches de 20 tonnes montées sur truck, manœuvrées par locomotive, pour transporter le métal, depuis les hauts fourneaux, jusqu'aux mélangeurs ;
3. Deux ponts roulants électriques de 40 tonnes, dans le bâtiment des mélangeurs, avec les appareils de renversement ;
4. Deux poches de 25 tonnes montées sur truck fonctionnant électriquement tant pour la manœuvre sur rails, que pour le renversement de la poche, pour transporter la fonte depuis les mélangeurs jusqu'aux convertisseurs ;
5. Deux ponts-bascules pour peser la fonte venant des hauts fourneaux aux mélangeurs, ainsi que le métal livré par les mélangeurs aux convertisseurs ;
6. Quatre convertisseurs de 24 tonnes, montés sur paliers avec crémaillère hydraulique, robinets et valves à vent, etc. ;
7. Deux machines soufflantes à vapeur de 4 000 chevaux chacune, y compris condenseurs, générateurs, surchauffeurs, économiseurs, tuyauterie, cheminée, pont-roulant et bâtiments ;
8. Deux poches de 25 tonnes, manœuvrées électriquement, pour prendre le métal des convertisseurs et le verser dans les moules ;
9. Un pont électrique de 35 tonnes pour le service des convertisseurs ;
10. Deux trucks spéciaux pour le montage des fonds des convertisseurs ;
11. Six cuves à scories, montées sur roues, pour conduire les scories aux moulins à scories ;
12. Deux cubilots pour fondre les spiegels ;
13. Deux ventilateurs à basse pression pour les cubilots ;
14. Trois poches basculantes montées sur trucks, de 2 tonnes chacune, pour verser le spiegel fondu dans les convertisseurs ;
15. Un four pour la chaux et le ferro-manganèse.
16. Deux monte-charges pour la plate-forme des cubilots ;
17. Toutes les plates-formes et la charpente des convertisseurs et des cubilots, tuyauterie, robinets ou valves, matériel, outils, transporteurs, etc. ;
18. Deux ateliers pour les pompes hydrauliques et leurs accumulateurs, pour alimenter les convertisseurs, les trucks et tous les appareils fonctionnant avec l'eau sous pression ;
19. Les bâtiments des convertisseurs, des mélangeurs et de l'atelier de la dolomie ;

20. Tous les appareils de broyage, de malaxage et de séchage de l'atelier de la dolomie ;

21. Toutes les fondations des bâtiments et des machines ou appareils ;

22. Les divers services de l'installation (bureaux, laboratoire, etc.) ;
Dans ce prix ne figurent pas les hauts fourneaux.

Amortissements et intérêts. — Nous admettrons ici, les mêmes taux d'amortissements et d'intérêts, que dans les installations plus petites soit : 10 p. 100 sur le matériel, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations. En y ajoutant 5 p. 100 d'intérêts du capital immobilisé, les charges annuelles se décomposeront comme suit :

	francs.
Amortissement sur le matériel : 10 p. 100 de 3 250 000 fr.	325 000
— les bâtiments : 5 p. 100 de 1 250 000 fr.	62 500
— les fondations : 2 $\frac{1}{2}$ p. 100 de 500 000 fr.	12 500
Intérêts du capital : 5 p. 100 de 5 000 000 fr.	<u>250 000</u>
Dépenses annuelles pour amortissements et intérêts,	650 000

D'où l'on tire : dépenses pour amortissement et intérêts par tonne d'acier liquide :

$$\frac{650\ 000}{500\ 000} = 1,30 \text{ fr.}$$

Frais de fabrication par tonne d'acier liquide. — Les chapitres des dépenses de fabrication des grandes installations sont analogues, quoique différents quant à leur importance, à ceux des installations moindres. Si l'on se rappelle que l'on transforme aussi rapidement en acier, 24 tonnes de métal que 10, la main-d'œuvre employée ramenée à la tonne d'acier est considérablement réduite, alors même que ces deux types d'installations seraient équipés de la même façon pour la manœuvre des matériaux et du convertisseur. Dans un atelier bien organisé, un seul ouvrier peut faire manœuvrer un pont de 100 tonnes, avec autant de facilité qu'un pont de 10, et, bien entendu, on peut obtenir des résultats analogues sur toutes les machines servant à manipuler les matériaux sans qu'il soit nécessaire d'augmenter le personnel ouvrier. Il faut cependant prendre une main-d'œuvre supplémentaire, pour faire fonctionner les machines supplémentaires servant à la préparation ou à la manutention des matériaux employés pour la réparation des cornues ; — main-d'œuvre qui, dans bien des cas, n'entre pas dans une proportion de 24 à 10.

Il ne nous est pas possible de donner des détails sur l'opération du convertisseur de 24 tonnes, mais nous savons de source autorisée que les frais de transformation s'élèvent de 10^{fr},08 à 12^{fr},62 par tonne d'acier et comprennent les chapitres suivants :

1° Toutes les réparations des convertisseurs, des cubilots, des mélangeurs et autres appareils accessoires, y compris la préparation des matériaux basiques employés pour les revêtements et les fonds des convertisseurs, les revêtements et les réparations des cubilots et des mélangeurs, des fours et des poches. Les réparations du matériel mécanique, hydrau-

lique et électrique, ainsi que celles des appareils divers servant à l'entretien et au fonctionnement de l'atelier. Tous les approvisionnements y sont également compris ;

2° Tous les combustibles employés au chauffage tels que la houille, le coke, le gaz des gazogènes, l'huile, le bois et autres combustibles employés au chauffage des convertisseurs et des mélangeurs, des fours à cuire et des fours à sécher les matériaux réfractaires et tous les autres combustibles employés dans la fabrication de l'acier. La quantité de combustible employée pour ces usages est moindre par tonne d'acier produite que celle employée dans les installations moindres, car la production d'acier est beaucoup plus grande pendant la même période durant laquelle l'atelier est en marche constante ;

3° La main-d'œuvre comprend tous les salaires et un pourcentage de ceux-ci. Avec un appareil de 24 tonnes, la main-d'œuvre est de 30 à 50 p. 100 meilleur marché que celle d'un appareil de 10 tonnes ;

4° Toute la force nécessaire : à produire le vent utilisé par les convertisseurs, les cubilots et les mélangeurs, par les pompes hydrauliques, les grues électriques, les transporteurs, les poches-trucks à vapeur ou électriques, les appareils de renversement, etc. Le principal chapitre de la force est évidemment celui qui concerne la production du vent pour les convertisseurs, il représente environ une dépense de 0,63 fr. à 0,94 fr. par tonne d'acier fabriquée selon le type de machine soufflante employé ;

5° Toutes les matières premières telles que la chaux, le spath-fluor, les minerais, les déchets et les scraps ainsi que les additions faites sous forme de ferro-manganèse, de spiegel, etc. ;

6° L'amortissement et les intérêts de l'installation que nous avons déjà examiné précédemment.

En prenant alors le chiffre de 12 francs, comme prix de transformation par tonne d'acier liquide, le résumé suivant représente la dépense totale par tonne d'acier.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 5 000 000 de francs.	
Amortissements et intérêts	} 12,00 fr.
Entretien et approvisionnements	
Combustibles	
Main-d'œuvre.	
Force.	
Matières premières (autres que la fonte)	} 63,00 —
Fonte (liquide du haut fourneau).	
Dépense par tonne d'acier liquide	75,00 fr.
Plus 15 p. 100 de perte de fonte pendant la transformation	9,45 —
Prix total de fabrication.	84,45 fr.
Moins la valeur des scories	4,39 —
Prix net total par tonne d'acier liquide	80,06 fr.

CHAPITRE XVIII

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. — ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ DANS LES GRANDS ATELIERS BESSEMER

Convertisseurs à revêtement acide.

Pour la transformation de la fonte en acier par le procédé acide, il est indispensable de choisir des fontes qui contiennent suffisamment d'éléments thermiques, pour produire les réactions chimiques nécessaires à l'application du procédé, car il n'est pas ajouté de chaleur externe à la chaleur initiale du métal. Le tableau VIII, page 17, donne la composition analytique des différentes sortes de fontes Bessemer qui, seules ou mélangées ensemble, donnent d'excellents résultats dans le convertisseur à revêtement acide. Ces analyses doivent seulement être considérées comme des types, car il existe plus de cent sortes de fonte qui donnent d'excellents résultats dans ce procédé, bien que leur composition chimique soit, en général, assez différente. Les principaux éléments thermiques ou éléments produisant de la chaleur de la fonte sont : le carbone, le silicium et le manganèse, mais, comme le silicium et le manganèse sont oxydés pendant la première période du soufflage, alors que la température est relativement basse, il est absolument indispensable que ces éléments existent, en quantité suffisante, pour permettre une élévation de température capable d'oxyder le carbone sans toucher au fer. Donc, une fonte ne peut donner des résultats satisfaisants que si elle remplit certaines conditions, par exemple, si la teneur en silicium varie de 0,75 à 4 p. 100 et le manganèse de 4 à 0,5 p. 100. Ces chiffres montrent bien l'élasticité du procédé, qui tolère d'aussi grandes variations, dans la composition analytique des matériaux employés.

Comme le soufre et le phosphore ne sont pas oxydés dans le procédé acide, il est indispensable d'éviter d'employer des matériaux qui contiennent un pourcentage plus fort que celui nécessaire pour donner de la ductilité au métal fini. Durant le procédé de transformation il se produit de 7 à 9 p. 100 de pertes, qui tendent à augmenter plutôt qu'à diminuer, la quantité de phosphore et de soufre contenue dans la charge.

La seule différence principale qui existe entre le procédé acide et le procédé basique, c'est que les fontes phosphoreuses ne peuvent être utilisées que dans ce dernier procédé. Comme les minerais phosphoreux abondent dans le monde, par rapport aux minerais non phosphoreux, il s'ensuit que le procédé basique a rendu les plus grands services à cer-

tains pays, comme la France et l'Allemagne, dont les minerais contiennent une notable proportion de phosphore.

La fonte, à l'état liquide, utilisée par le convertisseur acide ou le convertisseur basique, est généralement amenée directement soit au convertisseur, soit au mélangeur où elle est désulfurée; puis de là au convertisseur. Dans certaines usines, on pratique encore la vieille méthode, qui consistait à refondre les différentes sortes de fontes dans des cubilots puis de verser celle-ci dans les convertisseurs. Dans chaque cas, il faut toujours préalablement chauffer le convertisseur avec du coke éventé, tout en soufflant légèrement avant d'y introduire le métal.

Emplois de l'acier Bessemer acide. — L'acier fabriqué avec le procédé Bessemer acide est maintenant employé au même titre et aux mêmes usages que l'acier Martin (voir Tableau XCI, Chapitre xxxvi). Les différentes objections que l'on pouvait faire relativement à son emploi se sont effacées petit à petit, car il convient de dire que celles-ci n'étaient basées que sur de vieilles expériences dont on était en droit de douter.

Composition des charges :

CHARGE I. — *Pauvre en manganèse.*

Les renseignements¹ que nous donnons ci-dessous sont ceux relatifs à une charge faite, le 13 novembre 1879, aux Bethlehem Steel Works, E. U., charge qui, sur nombre de points, ressemble à la moyenne des charges anglaises. La fonte liquide employée avait la composition suivante : C, 3,56 p. 100 ; — Si, 3,39 p. 100 ; — Mn, 0,49 p. 100 ; — P, 0,089 p. 100. On refondait au cubilot, pour faire la charge du convertisseur, différentes sortes de fontes (obtenues dans différents hauts fourneaux qui employaient divers minerais tels que la limonite, les hématites rouges ou brunes, les magnétites et le fer spéculaire). Le spiegel était fondu dans des fours, puis ajouté à la charge du convertisseur.

Poids de la charge :

Métal fondu de la poche.	7 257 kilogrammes.
Scraps (bouts de blooms)	363 —
Spiegel (16 p. 100 Mn).	907 —
Ferro-manganèse (36 p. 100 Mn).	18 —

Charge totale dans le convertisseur. 8 545 kilogrammes.

Poids de l'acier produit :

Lingots	7 583 kilogrammes.
Moulages	218 —
Scraps	136 —
Total	7 937 kilogrammes.

Perte de métal à la transformation : 7,13 p. 100.

¹ *Transactions American Inst. of Mining Engineers*, vol. IX, p. 259.

	C	Si	Mn	P	
Analyse de la fonte.	3,56	2,39	0,49	0,089	p. 100.
— des scraps.	0,264	0,117	1,229	—	—
— de l'acier fabriqué.	0,367	0,06	1,175	0,0897	—
Temps employé.					18 minutes.
Pression par centimètre carré.					2 à 1,6 kg.

CHARGE II

Les renseignements suivants sont relatifs à une charge américaine type, destinée à la fabrication des rails en acier, faite à l'Illinois Steel Company's Works, Chicago.

Poids du métal fondu, chargé dans le convertisseur	9 750 kg.
Scraps d'acier, ajoutés dans le convertisseur	454 —
Vapeur employée au refroidissement de la charge et remplaçant les scraps d'acier.	363 —
Spiegel.	1 134 —

	C	Si	Mn	P	
Analyse de la fonte.	3,10	0,98	0,40	0,06	p. 100.
— des scraps	0,36	0,08	0,97	0,08	—
— de l'acier fabriqué	0,45	0,038	1,15	0,059	—

Temps employé	9 minutes 20 secondes.
Pression	2 kg. par centimètre carré.

Nous pourrions donner beaucoup plus d'exemples de charges, mais ils ne varieraient pas beaucoup les uns des autres, sauf en ce qui concerne les compositions des additions faites et qui dépendent surtout de la qualité de l'acier à produire.

Convertisseurs à revêtement basique.

Contrairement à ce qui se passe dans la pratique du procédé acide, les fontes, convenant le mieux au procédé basique, sont celles à faible teneur en silicium et riches en phosphore. Le silicium qui, dans le procédé acide, joue le rôle d'un excellent agent thermique, est remplacé ici par une grande quantité de manganèse. Pour le procédé basique, on admet des teneurs assez considérables de phosphore et de manganèse, mais celle en silicium doit être aussi basse que possible. La composition analytique des fontes phosphoreuses, des différents pays, varie assez considérablement ainsi que le montre le tableau VII, p. 16.

En Allemagne, où l'on fabrique plus d'acier par le procédé basique que par tout autre procédé, les minerais d'origine se prêtent admirablement à la production d'une excellente fonte pour ce procédé. En Angleterre, on n'obtient pas aussi facilement des fontes basiques, car on est obligé d'y importer des minerais de manganèse étrangers, pour mélanger aux mine-

rais anglais, afin que la fonte produite soit suffisamment riche en phosphore et en manganèse pour pouvoir être utilisée par le procédé basique. Ces considérations mettent évidemment l'Angleterre en mauvaise posture pour lutter avec les pays étrangers, en ce qui concerne la fabrication de l'acier par ce procédé. En Amérique, le procédé Bessemer basique n'est pas employé du tout, les minerais ne s'y prêtant pas à cause du peu de phosphore qu'ils contiennent.

Emploi de l'acier Bessemer basique. — Pendant de nombreuses années, l'acier fabriqué soit par le procédé basique, soit par le procédé acide, n'était pas favorablement accueilli en Angleterre. Les minerais du pays ne s'y prêtant pas, l'irrégularité de la fonte que l'on produisait alors et l'incertitude des résultats obtenus aux fourneaux n'étaient pas pour favoriser l'utilisation de l'acier basique dans la construction des ponts, des navires, des voies ferrées et de la plupart des gros ouvrages d'art. Même lorsque l'acier Martin basique fut accepté par les ingénieurs et les consommateurs, on se méfiait encore des résultats du Bessemer basique ce qui ne contribuait guère à son développement. On montrait les résultats variables obtenus, prouvant l'incertitude du contrôle régulier de la teneur en phosphore, par ce procédé. Mais les perfectionnements apportés sur l'emploi des fondants, permirent d'obtenir un acier dans lequel on eut plus de confiance, ce qui eut pour résultat d'en augmenter considérablement sa fabrication durant ces dernières années.

En Allemagne, où l'on fabrique le plus d'acier Bessemer basique, la production de 1910¹ s'élevait à 8030571 tonnes.

On emploie maintenant l'acier Bessemer basique à tous les usages réservés autrefois à l'acier obtenu dans le procédé au creuset. Parmi ses nombreux emplois, nous pouvons citer les suivants : rails, bandages de roues, essieux, tôles pour générateurs et pour la marine, câble d'acier, boulons, tubes de chaudières pour locomotives et autres machines, tubes laminés et forgés, etc.

Composition des charges. — Les charges employées, dans le procédé Bessemer basique, consistent en fonte liquide amenée directement au convertisseur du mélangeur ou des cubilots, si l'on refond la fonte provenant des hauts fourneaux. Voir tableau VII, page 16 les analyses des différentes sortes de fonte. Selon Wedding, la meilleure fonte pour le procédé basique est fabriquée à Ilsede, en Allemagne. Elle a la composition analytique suivante :

Phosphore, 3 p. 100 ; manganèse, plus de 2 p. 100 ; silicium, 0,5 p. 100 ; soufre, moins de 0.1 p. 100.

On ajoute quelquefois des scraps d'acier à la charge de fonte, soit dans le cubilot pendant la seconde fusion, soit dans le convertisseur pendant le soufflage. La proportion de scraps d'acier, par rapport à la fonte, dépasse rarement 10 à 15 p. 100.

A chaque charge de fonte, il est nécessaire de faire des additions considérables de chaux. Dans les premières années de l'emploi du procédé, le

¹ *Mineral Industry*, 1911, p. 429.

TABLEAU LIX
Charges et analyses de l'acier fabriqué à Witkowitz.

N° DE LA CHARGE	NATURE DE L'ACIER	ANALYSE DE LA FONTE EMPLOYÉE				ADDITIONS RECARBURANTES			COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ACIER					ESSAIS MÉCANIQUES								
		Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Spiegel. Si %	Mn %	P %	Ferro- manganésée %	Mn %	Bessemer %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Tenacité. Tonnes par cm ² .	Allongement p. 100 sur 100 mil- limètres.	Diminution de surface %.		
1	Acier pour rails moyennement dur.	0,54	1,0	1,95	0,23	0,06	0,6 %	0,6 %	73 %	0,11 %	1,43 %	2,51 %	0,15 %	0,45	trace	—	0,04	0,06	0,07	5,8 à 6,2	20 à 20,5	51,5 à 36,9
2	Lingot d'acier pour tôles, essieux, cornières et rivets.	0,41	1,46	3,46	0,09	0,02	—	4 % de FeMn à 50 %	—	—	Quand plus de 1,0 p. 100 de Mn nécessaire par rails, employer 7 1/2 %.	—	—	0,19	trace	0,34	0,04	0,04	0,02	4,4 à 4,9	25 à 20	64 à 55
3	Lingot d'acier pour fil de télégraphe et pour pièces estampées.	0,62	1,38	2,0	0,08	0,09	—	—	—	—	—	—	0,06	0,00	0,3	0,02	0,03	—	3,5 à 4,0	37 à 33	77 à 72	

seul fondant employé était la chaux, qui en règle générale, était chargée dans le convertisseur chauffé au rouge, avant l'introduction de la fonte liquide. Mais dans ces dernières années, on a remarqué qu'il était préférable d'ajouter des quantités variables de chaux à différents moments du soufflage, et depuis récemment, on emploie, avec beaucoup de succès, des additions de chaux et d'oxydes de fer sous différentes formes et en quantité variable.

Les charges et analyses suivantes donneront une idée des matières premières employées dans les convertisseurs Bessemer basiques, ainsi que des produits obtenus.

1. Le tableau des charges, des analyses et des essais, donné page 233, a été extrait des registres de la plus ancienne usine, travaillant avec des convertisseurs à revêtement basique, située à Witkowitz en Autriche¹.

2. A Teplitz, en Bohême, la composition des charges était la suivante :

Fonte	6 500 kilogrammes.
Chaux (ajoutée avant le métal).	848 —
Scraps d'acier (ajoutés pendant le soufflage).	363 à 726 —

Dans le métal fondu, on ajoutait les additions recarburantes indiquées dans le tableau ci-dessous, par rapport à la qualité de l'acier.

TABLEAU LX

Additions ajoutées aux charges à Teplitz.

NATURE DE L'ACIER	ADDITIONS EMPLOYÉES Pourcentage du poids de la charge.		
	Spiegeleisen, 12 p. 100.	Ferro-manganèse, 70 p. 100 Mn.	Fonte blanche.
	p. 100.	p. 100.	p. 100.
Acier doux de différents degrés.	1	0,5	—
Acier pour rails	7	—	—
Acier pour moulages	3	0,5	4

Les additions chauffées au rouge et encore à l'état solide sont ajoutées : spiegel et fonte blanche, dans le convertisseur, — ferro-manganèse, dans la poche.

3. Charges où la chaux est ajoutée en deux fois.

Dans plusieurs aciéries allemandes on a, depuis plusieurs années, modifié avec succès la méthode ordinaire qui consistait à ajouter la chaux en une seule fois au commencement du soufflage. Cette modification fut apportée par C. Scheibler², en 1886, aux aciéries de Hörde, Ruhrort et de Meiderich, en Westphalie. Aux aciéries du Phénix, la chaux utilisée pour

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1881, II, p. 397.

² *Stahl und Eisen*, 1894, p. 4097.

une charge de 12 tonnes fut réduite de 1^T,800 à 1^T,280 soit environ 30 p. 100 en moins que l'on n'en employait autrefois. La chaux totale employée est ajoutée en deux fois, les 2/3 avant de verser le métal (la scorie formée étant coulée après trois ou quatre minutes de soufflage) et le restant de la chaux pendant la période de sur-soufflage.

Pour la charge de 12 tonnes de métal employée aux aciéries du Phenix, lorsque l'on ajoutait la totalité de la charge en une seule fois, le poids moyen des scories produites pour 10^T,2 de lingots était de 2^T,7, dont la teneur était de 15 p. 100 d'acide phosphorique total, ayant une valeur de 25 francs la tonne. En ajoutant la chaux en deux fois, on réduisait la quantité totale des scories, mais on en augmentait la valeur.

Dans le tableau suivant, nous donnons non seulement la composition analytique mais encore la valeur, ce qui est intéressant, des premières et des secondes scories.

TABLEAU LXI

Composition analytique des scories. Aciéries du Phœnix.

	QUANTITÉ de tonnes.	P ² O ⁵ p. 100.	SiO ² p. 100.	CaO p. 100.	Mn p. 100.	Fe p. 100.	VALEUR	
							Par tonnes.	Total.
Premières scories . .	0,725	23,79	5,17	50,89	6,16	6,54	49	francs. 35,61
Secondes scories. . .	1,465	16,69	3,11	47,06	5,02	19,29	27,80	40,67
Total	2,190							

L'économie par tonne de lingots se résume ainsi :

Economie de chaux, 51 kg. à 13,88 la tonne.	0,705 fr.
- Diminution de perte, 4 ^k ,800 à 75,60 —	0,363 —
Augmentation de la valeur de la scorie	0,793 —
Economie totale par tonne de lingot	1,861 fr.

4. Les renseignements suivants, donnant la composition de la charge et l'analyse chimique de l'acier fabriqué aux aciéries de Kladno, Bohême, ont été donnés par M. C. Stöckl¹ :

Fonte	12 tonnes.
Scraps.	1 tonne.

Additions dans le con- vertisseur.	Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn). 41 à 59 kg.
Additions dans la poche.	Spiegel (10 p. 100 Mn) 132 kg.

La quantité de chaux employée n'a pas été donnée par M. Stöckl, mais Wedding a indiqué qu'aux aciéries de Kladno, celle-ci était, pour une charge de 6 tonnes, de 907 kilogrammes mélangé à 136-163 kilogrammes de houille.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1890, I, p. 323.

L'acier produit par 5 charges successives avait les compositions analytiques suivantes :

CARBONE	MANGANÈSE	PHOSPHORE
0,07	0,107	0,047
0,08	0,217	0,057
0,08	0,126	0,023
0,07	0,229	0,051
0,08	0,143	0,018

5. Charges de fonte phosphoreuse, riche en silicium.

Comme conséquence des indications du D^r O. Massenez de Wiesbaden en ce qui concerne l'emploi des fontes ordinaires de Cleveland dans le convertisseur basique, M. Arthur Windsor Richards¹ a fait plusieurs essais aux aciéries de MM. Bolckow, Vaughan et C^o, Ltd., qui ont fort bien réussi et montré que l'on pouvait économiquement employer les fontes grises de Cleveland. Celles-ci contenaient :

Silicium	1,5 à 3	p. 100.
Manganèse	0,5 à 0,75	—
Phosphore	1,45 à 1,55	—
Soufre	0,04 à 0,06	—

Au lieu d'introduire une grande quantité de chaux dans le convertisseur avant d'y charger le métal, comme cela se pratique généralement avec les fontes basiques riches en manganèse, on lui substitue un mélange d'oxydes de fer avec une petite quantité de chaux. Par ce moyen, il se forme au début du soufflage, par suite de l'oxydation du silicium, une scorie suffisamment liquide qui peut être versée au moment où apparaît la flamme de combustion de carbone. La composition de cette première scorie est la suivante :

Fer, 3 p. 100 ; Silice, 35 à 45 p. 100 ; Phosphore, néant.

et la scorie finale présente la composition analytique suivante :

Fer, 8 à 11 p. 100 ; acide phosphorique, 14 à 20 p. 100 (dont 95 à 100 p. 100 de soluble au citrate) ; silice, 11 à 12 p. 100.

M. Richards dit que l'on a réalisé d'énormes économies, durant les huit mois d'application de son procédé, aux usines de MM. Bolckow, Vaughan et C^o Ltd. La perte pendant le soufflage était en moyenne de 12,5 p. 100. Le fer, employé sous forme d'oxyde, passe presque entièrement dans la charge d'acier.

Alors que M. Richards prétend que les fontes phosphoreuses basiques, riches en silicium, conviennent parfaitement par sa méthode au convertisseur basique, le D^r Arthur Cooper² de la « North Eastern Steel Works » n'a pu l'employer avec succès.

6. Briquettes d'oxyde de fer pour les charges (procédé de Dudelage).

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, I, p. 406.

² *Ibid.*, 1907, I, p. 409.

M. J. Flohr¹, aux aciéries de Dudelage, utilise avec succès des briquettes composées de battitures broyées ou autres oxydes de fer, mélangées avec de la chaux éteinte. Ce mélange est pressé, puis abandonné à lui-même pendant quelques jours. Il a la composition chimique suivante :

Fer métal	1,06 p. 100.
Oxyde ferrique.	31,40 —
Oxyde ferreux	44,70 —
Chaux.	9,89 —
H ² O.	4,16 —
CO ²	0,68 —

Ces briquettes, remplacent les scraps et la chaux ou autres substances, employées pour le refroidissement de la charge pendant le soufflage, car les scraps et la chaux employés, non seulement refroidissent la charge, mais réduisent la teneur en acide phosphorique de la scorie, lorsque la chaux est en excès.

Les fontes employées contiennent : P, 2,0 p. 100 ; Mn, 1,3 p. 100 ; Si, 0,5 p. 100, nécessitant environ 13 p. 100 de chaux pour assurer la déphosphoration complète. Cette chaux est chargée, comme habituellement, dans le convertisseur avant l'introduction de la charge.

Les briquettes pèsent environ de 3^k,400 à 3^k,600 chacune, elles sont projetées dans le convertisseur vers la fin de la période de décarburation, et réagissent énergiquement tout en réduisant la durée du sursoufflage, pour déphosphorer la charge. Il suffit de quelques secondes pour terminer complètement cette opération.

Le D^r Goeren, qui a étudié de très près les modifications préconisées par Flohr, prétend que l'on réalise une grande économie en employant ces briquettes.

7. Charges de fontes pauvres en silicium et en manganèse.

Ci-dessous, nous donnons deux exemples de ces sortes de charges étudiés par MM. F. Wüst et Laval, qui montrent bien les variations de la quantité des matériaux employés

CHARGE N° 1		CHARGE N° 2	
Fonte	10 473 kg.	Fonte	10 757 kg.
Chaux.	133 —	Chaux	1 760 —
Ferro-manganèse	70 —	Ferro-manganèse	60 —
Ferro-silicium	20 —	Ferro-silicium	néant.
Scraps.	néant.	Scraps.	280 —
Spiegel	700 —	Spiegel	néant.

Additions en métal soufflé. — Lorsque le métal du convertisseur basique est arrivé à la même constitution, à la fin du soufflage, que le métal soufflé du convertisseur à revêtement acide, la quantité et le caractère des additions physiques finales, nécessaires pour produire l'acier désiré

¹ *Iron Age*, vol. LXXXI, p. 1706.

sont les mêmes dans les deux procédés. D'une façon générale, le métal soufflé ne contient plus que des traces de carbone et de manganèse, plus de silicium, tandis que les teneurs en soufre et phosphore sont réduites respectivement à 0,03 et 0,06 p. 100 et 0,05 et 0,08 p. 100, selon la nature de la fonte basique employée dans la charge.

Les matériaux employés, pour produire les lingots d'acier doux ou plus dur, sont le spiegel et le ferro-manganèse. Ceux-ci sont ajoutés au métal soufflé dans le convertisseur, sous forme solide et préalablement chauffés comme dans le procédé acide. On a remarqué, en effet, que la réaction n'était pas si violente quand on ajoutait le spiegel à l'état solide plutôt qu'à l'état fondu, de sorte que l'addition, sous la première forme, s'est généralisée petit à petit. Le ferro-manganèse est aussi préalablement chauffé, puis ajouté dans la poche, préalablement remplie du métal du convertisseur,

Perte en matériaux pendant le soufflage. — Celle-ci dépend de la qualité de la fonte basique, de la chaux et autres agents fondants, de la durée et des conditions du soufflage. Dans la fonte basique, le carbone s'y trouve généralement à l'état combiné, et en moindre quantité, que dans la fonte non basique. La teneur ne dépasse pas souvent 3,5 p. 100 et est habituellement de 3 p. 100. En admettant que la teneur en carbone soit de 3,5 p. 100, et que la composition chimique du métal basique contenu dans le convertisseur soit la suivante avant le soufflage, la perte provenant de l'élimination des métalloïdes sera de :

Carbone	3,5 p. 100.
Silicium	0,5 —
Manganèse	2,0 —
Phosphore	2,5 —
Total	8,5 p. 100.

Pendant l'élimination de ces éléments, il se produit également d'autres pertes provenant de l'oxydation du fer dans la scorie, et des projections de fer, pertes qui représentent de 4 à 5 p. 100 du poids de la charge. La perte totale est donc d'environ 13 à 14 p. 100, en pratique on trouve qu'elle varie de 13 à 18 p. 100. Mais en compensation de cette perte, il y a le gain provenant des scories phosphoreuses, qui sont vendues pour être utilisées en agriculture comme engrais.

CHAPITRE XIX

ATELIERS MODERNES DE CONVERTISSEURS BESSEMER DE 2 TONNES, SOUFFLÉS PAR LE FOND, POUR FONDERIES D'ACIER

Atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes.

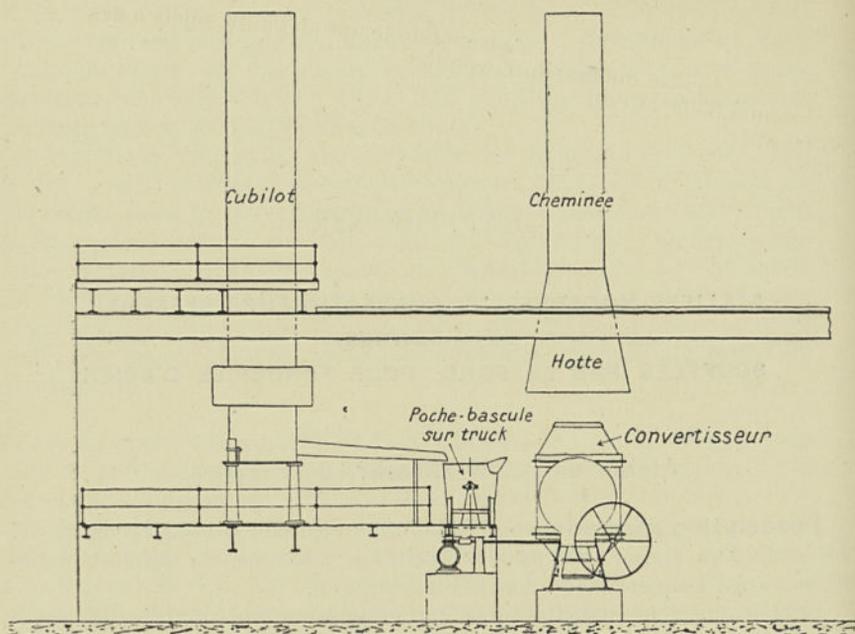
Description générale. — L'installation représentée par la figure 97 est celle d'un atelier de 2 convertisseurs de 2 tonnes. En doublant celle-ci on aura 4 convertisseurs sur une seule ligne.

Les cornues des convertisseurs sont montées sur des supports. Elles sont manœuvrées soit à la main, soit au moyen d'un moteur électrique convenablement disposé, mais généralement, on dispose à la fois de ces deux procédés de manœuvre. (Comme accessoire, on ajoute, quelquefois, une crémaillère hydraulique.) Les appareils de manœuvre sont placés en face des convertisseurs, de sorte que l'opérateur a toujours ceux-ci sous les yeux.

Disposition de convertisseurs. — Les convertisseurs sont placés sur une même ligne, en face de l'étage du cubilot, de sorte que le métal fondu qui s'écoule de celui-ci se rend directement dans les convertisseurs après avoir été pesé. Chaque paire de convertisseurs est reliée à la conduite principale de vent de la machine soufflante.

Une valve centrale, placée sur la conduite, permet d'envoyer le vent dans l'un ou l'autre des convertisseurs, le vent se rendant dans la boîte à vent de la façon habituelle. Les tuyaux de vent sont munis de valves de retenue et de valves d'arrêt.

Machine soufflante. — Il n'y a besoin que d'une seule machine soufflante pour le service des quatre convertisseurs, car la durée du soufflage étant beaucoup moins longue que celle des convertisseurs soufflés à la surface, il n'est pas nécessaire de faire marcher deux convertisseurs en même temps. On remarquera que dans cette installation, on préfère employer une machine soufflante plutôt qu'un ventilateur à haute pression car la pression doit être plus forte par centimètre carré que celle utilisée pour le soufflage par surface. Dans l'étude du prix de revient ci-dessous, on a compris la dépense d'installation d'une machine soufflante à vapeur, quoique l'on puisse utiliser les machines soufflantes à gaz ou marchant électriquement. (Voir au Chapitre XVI les descriptions des diffé-



Vue en élévation.

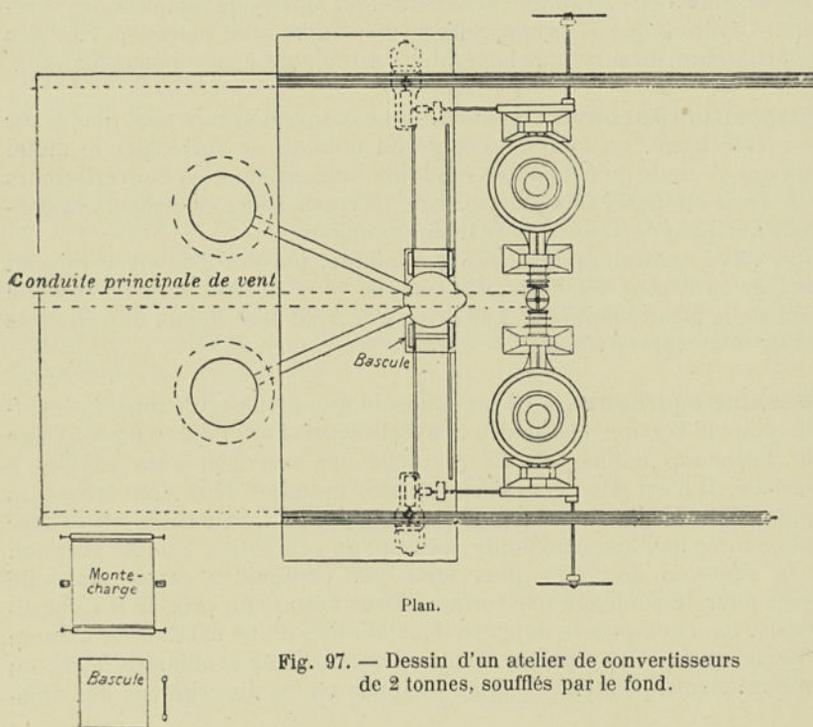
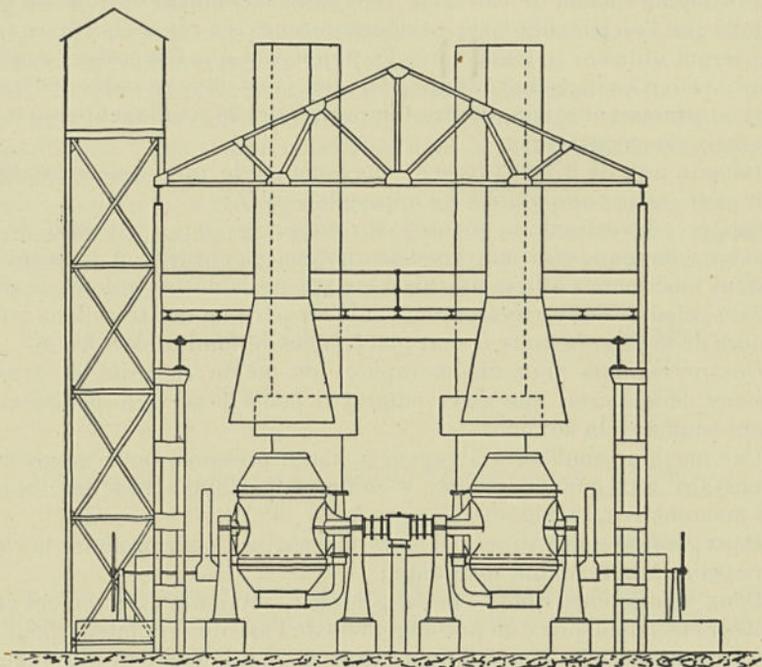


Fig. 97. — Dessin d'un atelier de convertisseurs de 2 tonnes, soufflés par le fond.

rents types de machines soufflantes pour convertisseurs.) Pour les cubilots, on emploie les ventilateurs à basse pression, système Roots.

Cubilots. — Les quatre cubilots sont placés sur un étage spécial et sont munis de poches-bascules et autres appareils analogues, en forme et en capacité, à ceux utilisés dans les ateliers de convertisseurs soufflés à la surface, décrits dans le Chapitre xx, à l'exception de la poche-bas-



Vue en coupe.

Fig. 97.

cule, que l'on peut incliner, au lieu d'en couler le contenu par une ouverture de coulée.

Fonctionnement de l'installation. — Celui-ci est, sur beaucoup de points, analogue à celui des ateliers de convertisseurs soufflés à la surface, sauf en ce qui concerne le mode de chargement des convertisseurs et la durée du soufflage. Puisque les tuyères sont dans le fond de la cornue, le métal fondu y est versé lorsqu'elle est couchée dans la position horizontale. Après avoir pesé le métal, dans la poche-basculé spéciale, on le verse dans le convertisseur et l'on envoie le vent dès que le convertisseur reprend sa position verticale et l'opération du soufflage commence aussitôt. Les progrès du soufflage diffèrent de celui des convertisseurs soufflés à la surface, par la vitesse d'oxydation du carbone, du silicium et du manganèse, laquelle est d'autant plus rapide que l'air qui traverse le métal est sous une pression plus élevée.

Le temps nécessaire pour le soufflage complet varie de dix à vingt minutes.

Production et prix de l'installation. — Le prix de l'acier est basé sur la production maximum moyenne d'un atelier travaillant dix heures par jour. Deux cornues travaillent constamment l'une après l'autre, c'est-à-dire que l'on en charge une, pendant que l'on souffle l'autre. Au moyen d'un système spécial de valves, le vent passe facilement de l'une à l'autre. Tandis que l'on travaille avec ces deux cornues, on répare les deux autres qui seront utilisées le lendemain. En supposant que l'opération complète dure de vingt à vingt-cinq minutes chacune, il est donc possible, en travaillant constamment et sans contre-temps, de faire 28 soufflages par jour avec les deux convertisseurs.

Dans le prix de 275 000 francs, représentant le prix d'une installation complète, nous comprenons les appareils suivants :

Quatre convertisseurs, montés sur supports, avec dispositif de manœuvre commandé au moyen d'un moteur électrique, et pouvant également fonctionner à la main, avec les appareils de contrôle et de distribution ; chaque convertisseur recevant l'air par l'un des tourillons pour se rendre de là dans la boîte à vent placée sous le fond de la cornue.

Quatre cubilots pour fusion rapide, de même capacité et avec les mêmes accessoires que ceux employés pour le service des convertisseurs soufflés à la surface ;

Une machine soufflante à vapeur à haute pression, pour envoyer l'air nécessaire aux convertisseurs, y compris les tuyauteries, les robinets, les manomètres, etc. ;

Deux générateurs à vapeur et leurs accessoires, pour produire la vapeur nécessaire à la machine soufflante ;

Deux ventilateurs Roots à basse pression, actionnés directement par un moteur électrique placé en prolongement de l'axe du ventilateur, pour fournir l'air nécessaire aux cubilots. Chaque ventilateur travaille indépendamment de l'autre ;

Un appareil à basculer complet, manœuvrant électriquement, avec moteur et engrenages ;

Un pont-bascule avec dispositif moderne de pesage des matériaux ;

Une bascule pour peser les charges des cubilots ;

Une poche et son wagonnet, avec moteur et engrenages, pour le service des cubilots, de la bascule et des convertisseurs ;

Une grue suspendue à bras, fonctionnant en face des fosses des poches ;

Deux ponts roulants, pour amener l'acier fondu à la fonderie ;

Toutes les charpentes, y compris les plates-formes des cubilots et les toitures ;

Quatre hottes et cheminées pour les convertisseurs ;

Un four de fusion à creusets, chauffé au coke, avec 4 laboratoires de 4 creusets chacun, pour fondre les additions faites à la charge ;

Un petit cubilot pour fondre les additions, avec la tuyauterie nécessaire pour le relier à la conduite principale de vent des grands cubilots ;

Un petit four, pour chauffer les ferro-alliages, quand ceux-ci sont ajoutés à la charge à l'état solide ;

Un assortiment de poches comprenant deux poches de 10 tonnes et six de 3 tonnes ;

Le bâtiment de la soufflante, avec les appareils de distribution nécessaires ;

Tous les accessoires électriques complets, avertisseurs, distributeurs, appareils de mise en route, etc. ;

Toutes les tuyauteries à vent et de décharge, wagonnets à scories et à coke, trucks spéciaux, outils, etc.

Toutes les maçonneries, les fondations en ciment, les fosses, les revêtements des convertisseurs, des cubilots et des poches.

Bref, l'atelier complètement installé et prêt à fonctionner.

On suppose que la force électrique pour les moteurs arrive au tableau de distribution d'une source extérieure dont le prix ne figure pas dans le chiffre ci-dessus.

Dans ce chiffre ne figure également qu'un des deux ponts roulants.

En supposant un amortissement de 10 p. 100 sur le matériel complet de l'installation, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations, les dépenses annuelles d'amortissement sont donc de :

200 000 francs à 10 p. 100	20 000 fr.
25 000 — à 5 —	1 250 —
50 000 — à 2 1/2 —	1 250 —
Total	<u>22 500 fr.</u>
Intérêts du capital = 5 p. 100 de 275 000 francs.	<u>13 750 —</u>
Dépense annuelle pour amortissements et intérêts.	36 250 fr.

Pour une production annuelle de 15 000 tonnes d'acier à la poche, la dépense d'amortissement et d'intérêts par tonne d'acier liquide est de :

$$\frac{36\ 250}{15\ 000} = 2,41 \text{ fr.}$$

Prix de fabrication (par tonne d'acier liquide pour moulages d'acier au carbone).

Prix d'entretien et d'approvisionnements. — Celui-ci englobe toute la main-d'œuvre et les matériaux utilisés pour les réparations des convertisseurs et des fonds, des cubilots, du four à creusets, des poches, des générateurs de vapeur et de l'entretien général de l'installation. Il comprend également les divers approvisionnements employés.

Le prix moyen d'entretien et d'approvisionnement durant une période de douze mois, y compris les matériaux et la main-d'œuvre, est de 5,67 fr. par tonne d'acier liquide.

Prix du combustible. — Puisque les matériaux fondus dans les cubilots sont les mêmes que ceux employés pour les convertisseurs soufflés à la surface, la quantité de coke consommée dans les cubilots est la même par tonne de métal fondu. On emploie des quantités égales de coke pour

le chauffage des convertisseurs et pour la fusion des additions physiques dans l'une et l'autre installation. La quantité totale moyenne est de 178 kilogrammes par tonne d'acier liquide de la poche.

En supposant que le prix du coke soit de 28,37 fr. la tonne, la dépense en combustible par tonne d'acier liquide sera de 4,98 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — Tous les ouvriers occupés au travail de l'atelier sont compris dans ce chapitre, à l'exception de ceux qui figurent déjà au chapitre « Entretien ». Les hommes employés sont :

- Quatre ouvriers aux convertisseurs ;
- Deux fondeurs aux cubilots ;
- Deux chargeurs aux cubilots ;
- Huit rouleurs de charge aux cubilots ;
- Un machiniste à la machine soufflante, aux ventilateurs, etc. ;
- Un ouvrier pour les additions aux cubilots ;
- Un chauffeur aux générateurs à vapeur ;
- Deux ouvriers au four à creusets ;
- Cinq ouvriers pour la réparation et la manœuvre des poches ;
- Un ouvrier à la grue suspendue et deux ouvriers sur les ponts roulants ;
- Un opérateur pour la conduite du soufflage.

Salaires totaux pour une semaine	1 424,94 fr.
Acier coulé dans la poche en une semaine	320 tonnes.
Prix par tonne d'acier liquide.	$\frac{1\ 424,94}{320} = 4,45$ fr.

En ajoutant 50 p. 100 de cette somme comme représentant les appointements du chimiste et du directeur, soit 2,22 fr. par tonne, on a

Prix total de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 6,67 fr.

Prix de la force motrice. — Le prix de la force comprend la vapeur consommée par la machine soufflante et la grue suspendue, l'énergie électrique pour les moteurs des ventilateurs, pour les appareils de manœuvre des cubilots et la moitié du courant consommé par les ponts roulants.

Force électrique consommée chaque semaine = 4800 unités = 15 unités par tonne.

Avec un courant à 0,052 fr. l'unité, la dépense de force électrique par tonne est de	0,78 fr.
Dépense de vapeur par tonne	2,47 —
Prix total de la force par tonne d'acier liquide.	3,25 fr.

Matières premières. — En prenant les mêmes poids et les mêmes prix des matières premières employées dans les ateliers de convertisseurs soufflés à la surface, la dépense totale des matières premières par semaine est de 29 707,06 francs.

Avec une production hebdomadaire de 320 tonnes d'acier liquide, le prix des matières premières est de 91,90 fr.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 275 000 francs.

Amortissements et intérêts	2,41 fr.
Entretien et approvisionnements	5,67 —
Combustible	4,98 —
Main-d'œuvre plus 50 p. 100 pour direction.	6,67 —
Force motrice.	3,25 —
Matières premières	91,90 —
Dépense totale par tonne d'acier liquide	114,88 fr.

Le prix de la tonne d'acier liquide, fabriqué dans un atelier de convertisseurs soufflés à la surface, de même capacité, utilisant et transformant les mêmes matériaux est de 113,29 fr. au lieu de 114,88 fr. Il faut remarquer que cette augmentation provient des prix plus élevés de réparations, de main-d'œuvre et de force motrice. Si l'on utilisait des cornues de plus grande capacité, ce prix serait proportionnellement réduit.

Atelier de deux convertisseurs de deux tonnes.

Dans un atelier de deux convertisseurs de 2 tonnes, comme celui représenté par la figure 97, on n'utilise que deux cubilots au lieu de quatre. Les étages et les bâtiments sont donc proportionnellement réduits. L'installation n'emploie également qu'un seul pont roulant au lieu de deux, mais sur d'autres points, l'équipement est le même et a les mêmes dimensions que celui employé dans un atelier de quatre convertisseurs, de sorte que le prix d'une installation de deux convertisseurs est de beaucoup plus élevé que la moitié du prix d'une installation de quatre convertisseurs. Il y a, toutefois, une légère compensation dans la production, qui peut être portée par journée de travail de dix heures, de 14 à 28 soufflages par convertisseur. En établissant cependant les calculs sur la première base, les chiffres suivants donnent le prix de fabrication d'une tonne d'acier liquide dans la poche.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Capacité de production de l'atelier : 160 tonnes par semaine.

Prix de l'installation : 200 000 francs.

Amortissements et intérêts.	2,99 fr.
Entretien et approvisionnements	5,88 —
Combustibles	5,67 —
Main-d'œuvre plus 50 p. 100 pour la direction.	8,50 —
Force motrice.	3,46 —
Matières premières	91,90 —
Prix total par tonne d'acier liquide	118,40 fr.

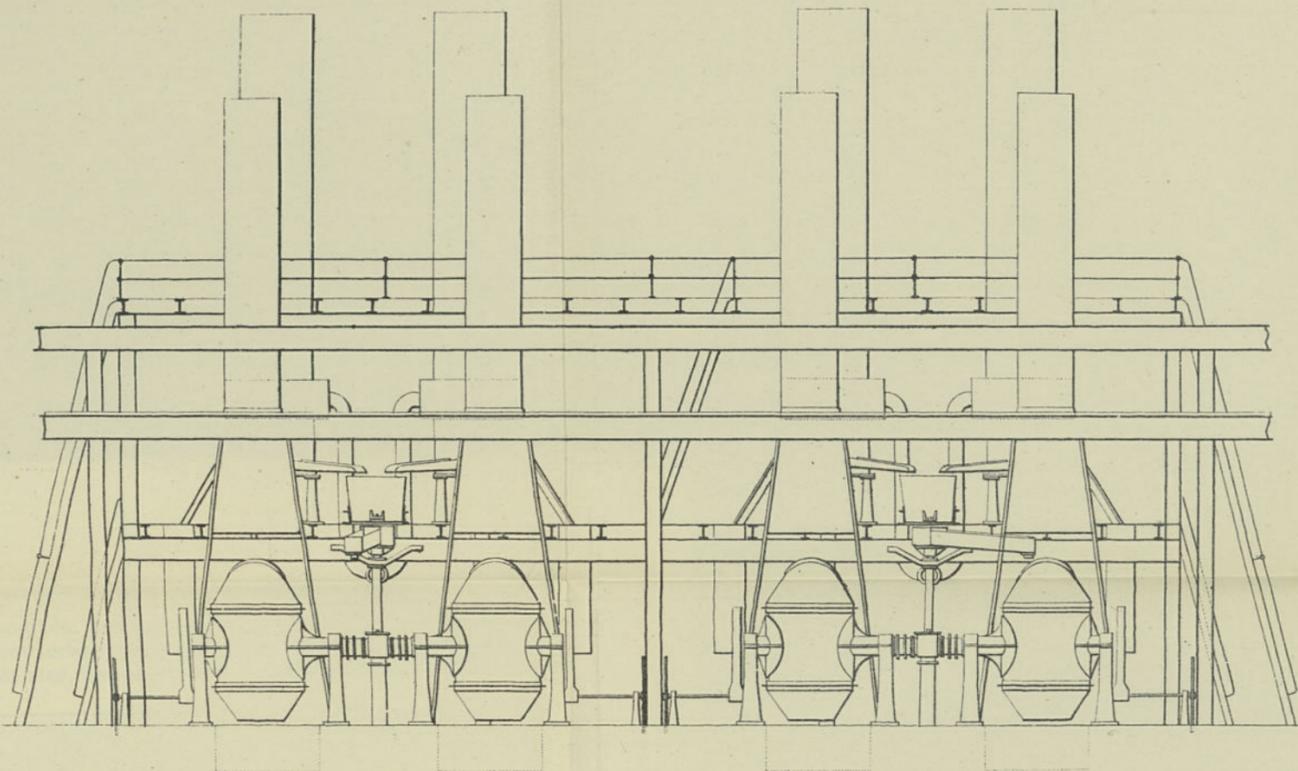
CHAPITRE XX

INSTALLATION MODERNE DE CONVERTISSEURS DE DEUX TONNES, SOUFFLÉS A LA SURFACE, POUR FONDERIES D'ACIER

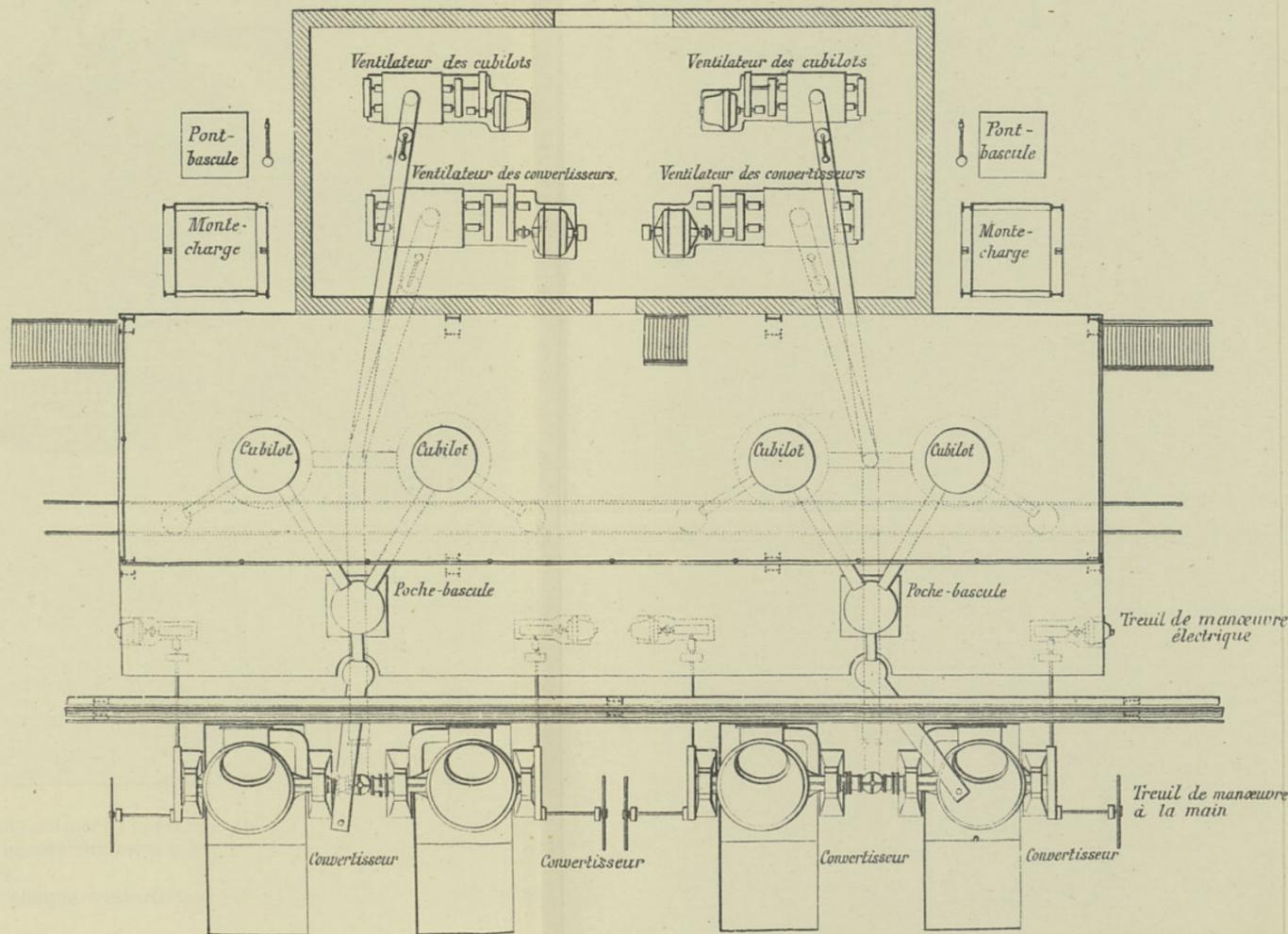
Description générale. — La planche V représente, en élévation et en plan, une installation moderne de convertisseurs, soufflés à la surface, se composant de quatre convertisseurs de deux tonnes chacun, montés sur support. Chaque cornue est munie d'une commande directe et séparée, et porte fixée sur l'un des tourillons, une roue dentée actionnée au moyen d'un moteur, pour donner à l'appareil l'inclinaison voulue. La figure 98 représente une photographie d'un convertisseur moderne complet. Au moyen d'un manchon d'accouplement, le moteur peut être découplé, de sorte que le convertisseur peut être manœuvré à la main. Les commandes électriques des moteurs sont disposées dans une petite salle ayant vue sur les convertisseurs, et peuvent être manipulées à volonté par l'opérateur. Dans le cas où il n'est pas possible d'appliquer la force électrique, les convertisseurs peuvent être manœuvrés hydrauliquement comme on le voit sur la figure 99. Pour cela, l'un des tourillons est muni d'une roue dentée sur laquelle est engrainée une chaîne à rouleaux, dont les extrémités sont fixées à la tige des pistons des cylindres hydrauliques.

Disposition des convertisseurs. — Les convertisseurs sont groupés par paire au moyen d'une tuyauterie centrale de vent venant des ventilateurs. Pour chaque groupe de convertisseurs, l'air passe des tourillons dans les boîtes à vent, et il y a un robinet à deux voies qui permet de n'envoyer l'air que dans un seul convertisseur à la fois. Sur chaque conduite de vent reliant les convertisseurs aux ventilateurs il y a trois sortes de robinets-valves. L'un est désigné sous le nom de robinet-valve de retenue et empêche le retour des gaz explosifs dans la conduite principale de vent du ventilateur, lorsque celui-ci ne marche pas; le second sert à l'admission de l'air dans le convertisseur: il est placé sous le contrôle de l'opérateur, placé dans la salle des appareils, enfin le troisième est un robinet de sûreté qui règle la pression dans les conduites d'air, dans le cas où il se produirait une obstruction. Le second robinet n'est pas indispensable, car l'on peut envoyer le vent au moyen du robinet placé entre les deux convertisseurs, mais celui-ci nécessite une valve construite différemment de la valve à deux voies indiquée ci-dessus, et la méthode d'opérer

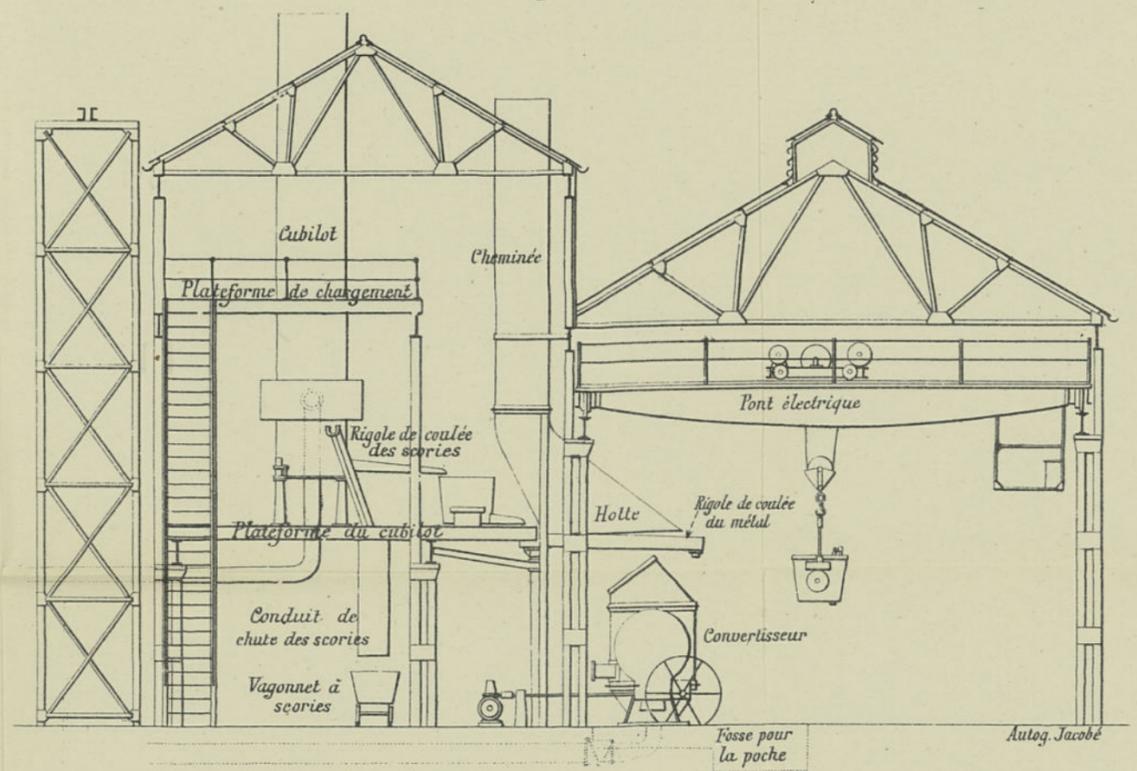
Vue en élévation.



Vue en plan.



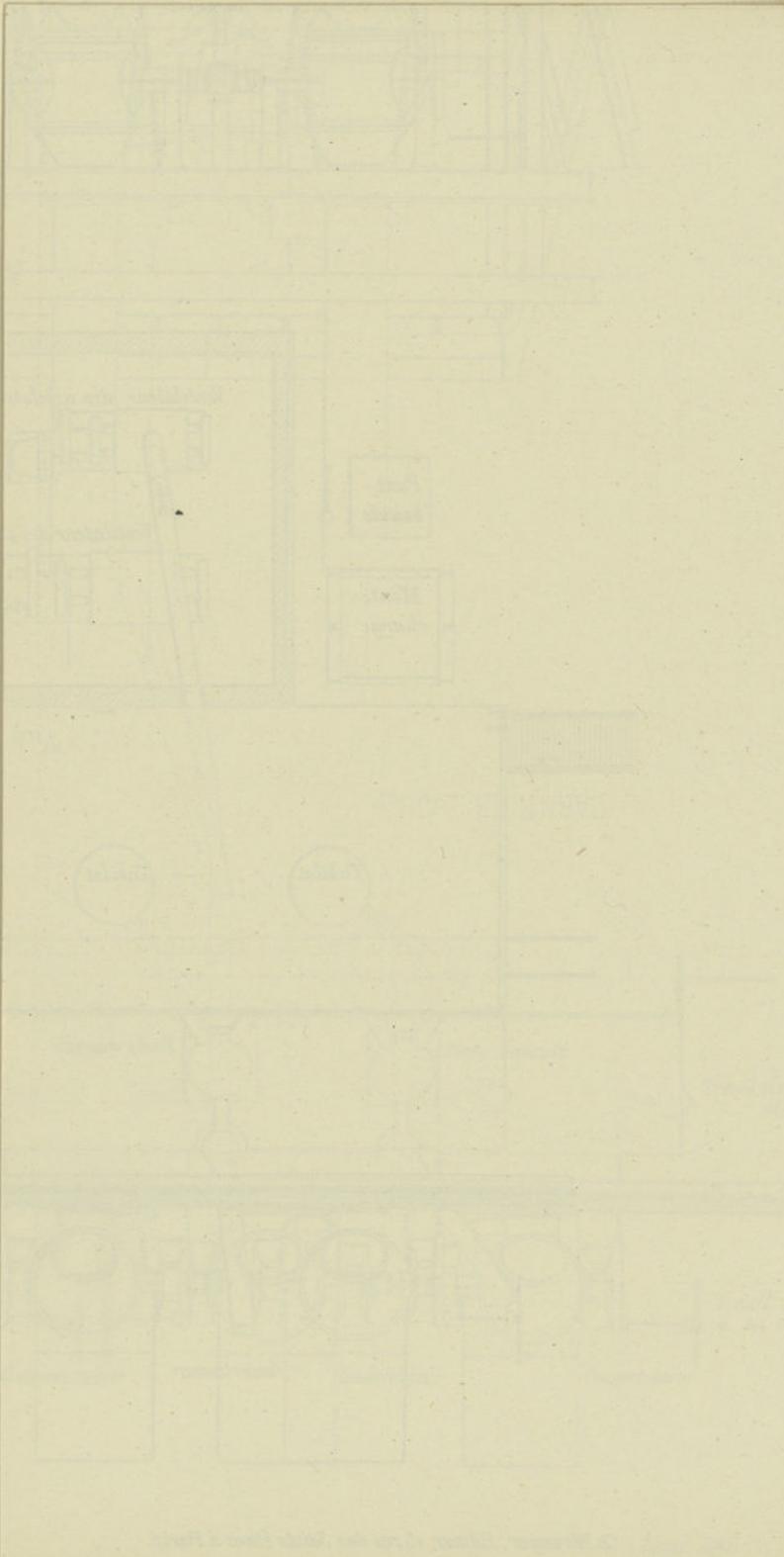
Coupe transversale



DISPOSITION GÉNÉRALE
D'UN ATELIER
DE QUATRE CONVERTISSEURS
SOUFFLÉS A LA SURFACE

Cette installation a été établie pour produire 320 tonnes d'acier par semaine en ne travaillant que de jour seulement. On peut y couler des moulages d'acier dont le poids peut varier depuis quelques kilogrammes jusqu'à plus de 20 tonnes.

Les matières premières sont pesées avant d'être transportées sur la plateforme de chargement des cupilots et le métal liquide sortant des cupilots est également pesé avant d'être versé dans les convertisseurs. Toute l'installation est actionnée par l'électricité.



est quelquefois modifiée. Les tuyaux à vent de chaque ventilateur, pour chaque paire de convertisseurs, peuvent être reliés ensemble et munis de valves d'arrêt spéciales, de sorte que si l'un des ventilateurs vient à s'ar-

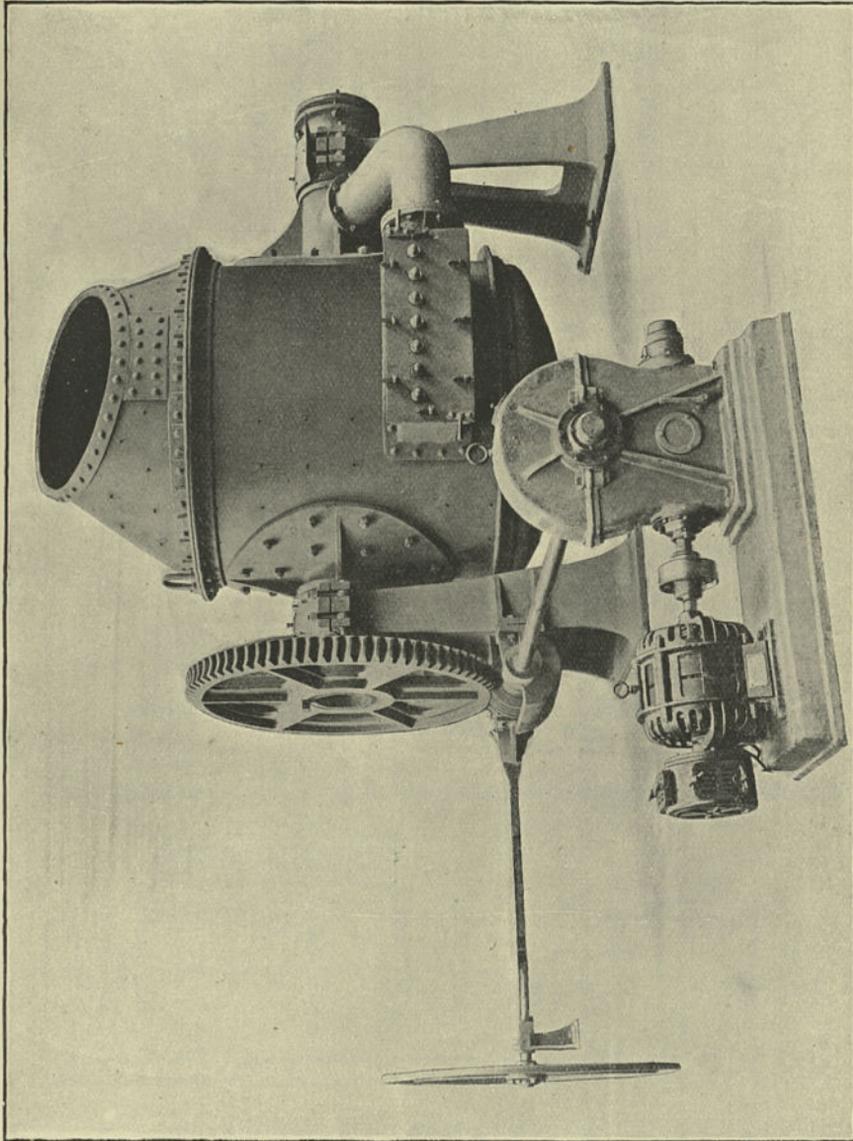


Fig. 98. — Convertisseur moderne, soufflé à la surface, disposé pour être manœuvré électriquement ou à la main (construit par MM. T. Davies et fils, Manchester).

rêter, l'autre peut continuer l'opération. De plus, dans le même but, ces tuyaux peuvent encore être branchés avec ceux qui relient les cubilots à leurs ventilateurs.

Au-dessus de chaque convertisseur, il y a une hotte et sa cheminée

qui traverse la toiture du bâtiment et qui facilite l'enlèvement des fumées désagréables qui s'échappent pendant le soufflage.

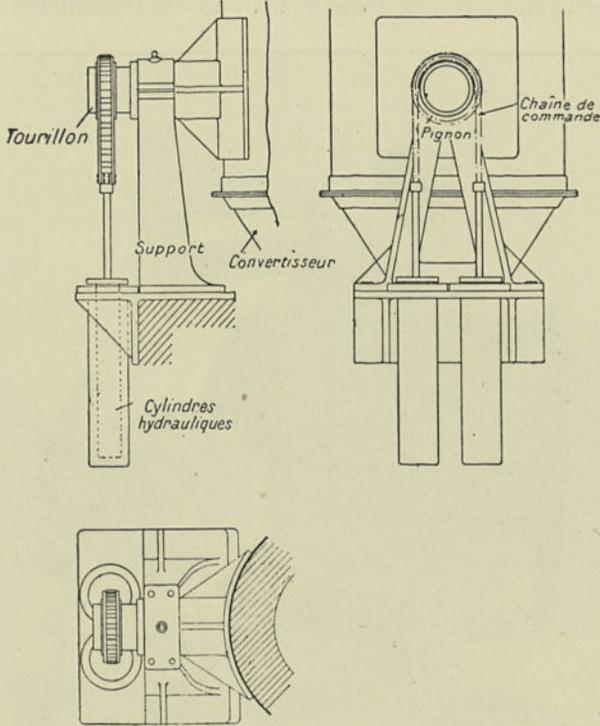


Fig. 99. — Crémaillère de manœuvre fonctionnant hydrauliquement pour les petits convertisseurs.

Ventilateurs. — Ces ventilateurs sont indépendants les uns des autres

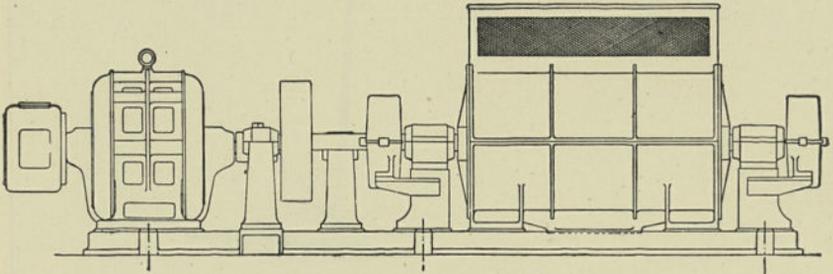


Fig. 100. — Ventilateur Roots à haute pression pour convertisseur actionné par un moteur électrique.

et chacun d'eux est accouplé directement à un moteur par des engrenages appropriés tournant dans un bain d'huile.

La figure 100 représente l'un de ces ventilateurs employés pour le ser-

vice des convertisseurs et des cubilots. Ils sont tous installés dans le bâtiment des ventilateurs et placés sous la surveillance d'un mécanicien qui est en communication constante avec l'opérateur de l'atelier.

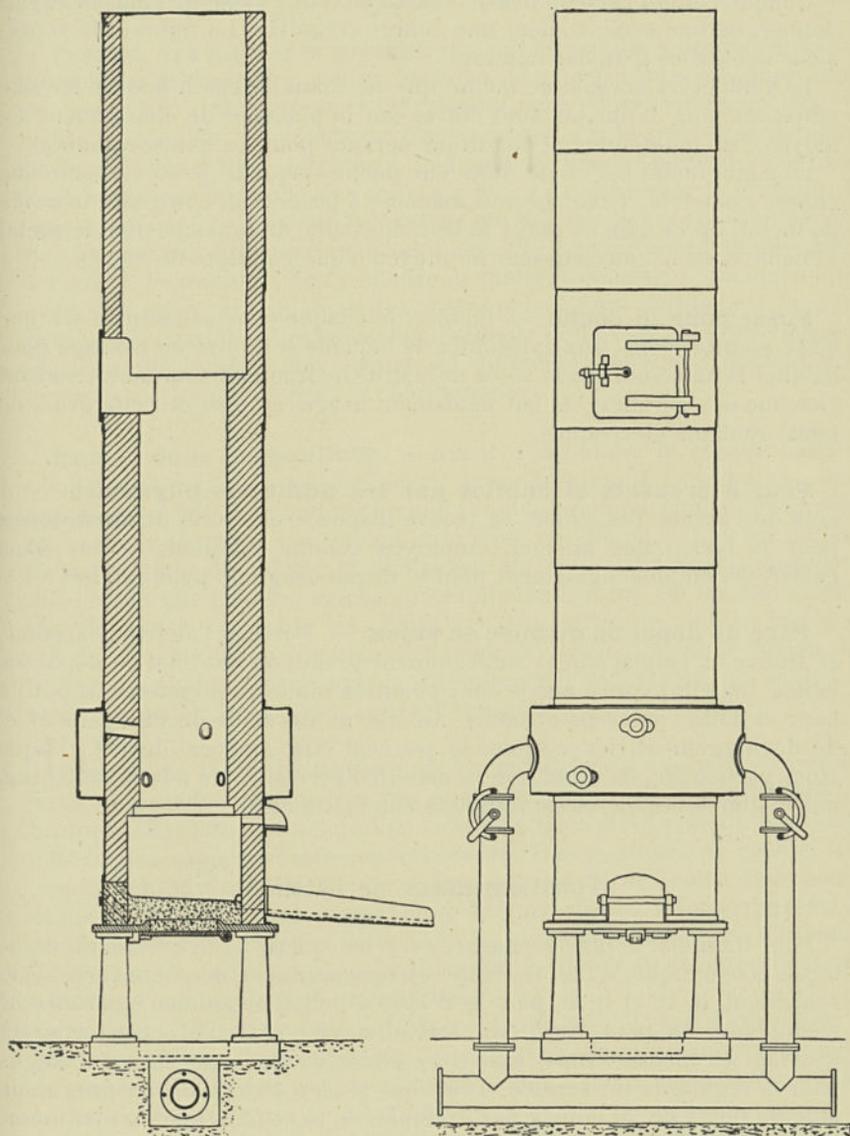


Fig. 101. — Type de cubilot pour fondre les charges des convertisseurs.

Les indicateurs de pression, enregistrant la pression du vent, sont installés dans le bâtiment des ventilateurs et dans la cabine de l'opérateur.

Cubilots. — Les quatre cubilots servant les convertisseurs sont placés au-dessus de ceux-ci et disposés convenablement pour faciliter les coulées.

Chaque cubilot est d'un dessin spécial et a une capacité suffisante pour donner, en une seule coulée, une charge complète. La figure 101 représente deux vues d'un des cubilots.

La fonte et les scraps, de même que la chaux, le spath-fluor et le coke employés pour la fusion, sont élevés sur le plancher de chargement au moyen d'un monte-charge électrique servant pour les quatre cubilots.

Le métal fondu est coulé dans une poche (laquelle peut contenir une charge complète) fixée sur une machine à peser, qui enregistre le poids du métal, après quoi on perce le trou de coulée de la poche dont le métal s'écoule dans le convertisseur au moyen d'une gouttière de coulée.

Fosse pour la poche. — En face de chaque convertisseur, il y a une fosse pour la poche, aux extrémités de laquelle se trouve un passage pour faciliter la manœuvre de la volée de la grue hydraulique tournante, servant chacune des cornues. On fait également usage, en plus de cette grue, de ponts roulants électriques.

Four à creusets et cubilot par les additions physiques. — A côté de l'atelier Bessemer, se trouve disposée une série de laboratoires pour la fusion des alliages employés comme additions finales dans l'acier. On emploie également pour le même usage un petit cubilot.

Parc de dépôt ou de mise en stock. — Derrière l'atelier Bessemer, se trouve un emplacement suffisamment grand, où l'on met en dépôt les fontes, les scraps ainsi que le coke et autres matières premières, et outillage pour en faire l'enlèvement facile. Au moyen de voies de chargement et de déchargement, les wagonnets peuvent être amenés devant chaque stock particulier, de sorte que la main-d'œuvre affectée à la manutention des matières premières est réduite à son minimum.

Fonctionnement de l'atelier.

Pour travailler à pleine charge, avec les quatre convertisseurs, d'une façon économique, il faut travailler chaque jour avec deux convertisseurs seulement, le 1^{er} et le 3^e, puis le 2^e et le 4^e, chaque groupe étant alterné chaque jour. On peut, il est vrai, travailler avec le 2^e et le 3^e convertisseur soufflant en même temps, mais le premier groupement convient mieux pour la régularité du service. Toutefois, si on a à exécuter un gros moulage du poids de 20 tonnes par exemple, on peut faire marcher en même temps les quatre convertisseurs. Pendant que l'on souffle dans deux, on coule le métal des cubilots dans les deux autres, de sorte qu'une fois que les deux premiers soufflages sont terminés, on y envoie immédiatement le vent. Ceci permet d'obtenir en très peu de temps, une quantité considérable d'acier liquide. Il n'est pas nécessaire de travailler toute la journée avec les quatre cornues car elles ne se refroidiraient pas suffisamment

pour être réparées durant la nuit, afin d'être prêtes pour le travail du lendemain. Il en est de même pour les cubilots qui, pour travailler économiquement, doivent marcher alternativement par paires afin de disposer d'un temps suffisant pour les réparations.

Pesage des matières premières. — Les matières premières constituées par la fonte, les scraps, le coke, le calcaire, le spath-fluor, etc., en proportions respectives, sont placées, par l'ouvrier du parc, sur de petits wagonnets basculants qui sont amenés sur le pont-bascule placé en face de chaque monte-charge. Les poids de chaque sorte de matériaux sont notés sur la feuille des charges, avant de renverser le contenu du wagonnet sur le plateau de l'élévateur qui doit le élever à la plate-forme de chargement. Les ouvriers s'habituent vite à juger approximativement à l'œil de l'exactitude de la charge et mettent celle-ci, à quelques kilogrammes près, sur le plateau des wagonnets, ce qui facilite beaucoup les pesées. Un ouvrier est responsable d'ailleurs de l'exactitude des charges, ainsi que de l'ordre dans lequel les différents matériaux doivent être envoyés sur la plate-forme de chargement.

Fusion dans les cubilots. — Avant d'introduire la charge dans le cubilot, on le chauffe préalablement à une très haute température, opération qui se fait deux ou trois heures avant la première coulée. Pour cela, après avoir réparé le revêtement et le fond, on allume un bon feu de bois dans l'intérieur du cubilot et l'on ajoute du coke petit à petit jusqu'à ce que l'on ait une épaisse couche de coke incandescent. On bouche alors le trou de coulée, on ajoute les charges et l'on envoie le vent. La fusion se fait de la même façon que dans les fonderies ordinaires de 2^e fusion. Le réglage du vent est placé sous la surveillance d'un fondeur, qui active la fusion selon les besoins des convertisseurs.

Pesage de la fonte liquide. — Le métal fondu s'écoule du cubilot dans une poche de construction spéciale, garnie d'un revêtement en briques réfractaires et munie d'un trou de coulée placé près du fond et du côté le plus rapproché des convertisseurs. Une gouttière de coulée, suspendue au moyen de chaînes, est fixée à la rigole de coulée de la poche et conduit le métal dans chaque paire de convertisseurs. La poche reste en permanence sur un dispositif de bascule, placé du côté opposé à la rigole de coulée, et l'on note le poids du métal fondu contenu dans la poche avant de l'écouler dans le convertisseur.

La figure 102 représente le dispositif employé. Avant d'introduire la première charge dans la poche, on chauffe celle-ci au moyen d'un jet de gaz ou d'huile sous pression ou, plus simplement, avec un feu de bois et de houille activé par un jet d'air.

Après avoir vidé le contenu de la poche dans le convertisseur, on rebouche le trou de coulée, et la poche est alors prête à recevoir la charge suivante. Après avoir noté le poids de la première charge du jour, le surveillant des cubilots est en mesure de juger, dans des limites très rapprochées, ce qu'il vide du cubilot dans la poche, sans qu'il soit nécessaire de peser chaque fois le contenu de celle-ci. Ceci est très important

car le balayage du vent dans le cubilot a pour effet d'en augmenter sa capacité pendant une journée de travail. La ligne laissée par la scorie est un excellent guide et avec les autres indications apportées par l'expé-

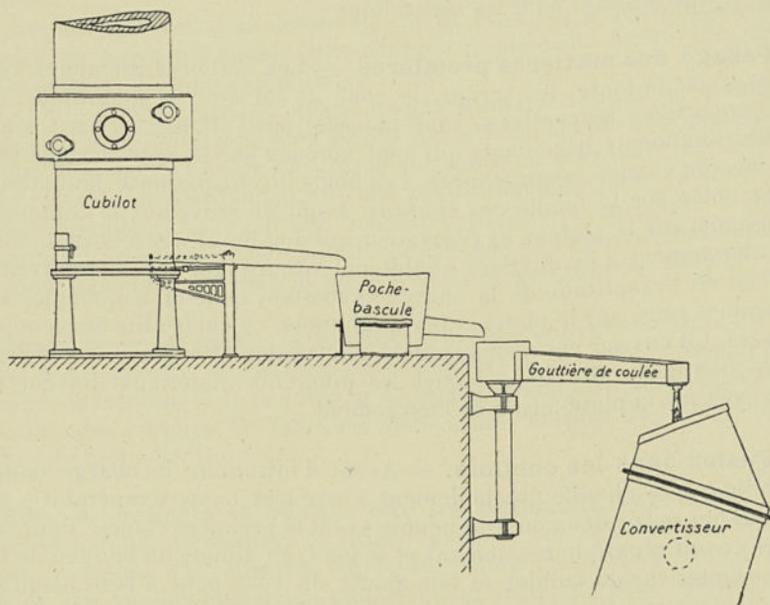


Fig. 102. — Dispositif pour couler le métal du cubilot dans le convertisseur.

rience, le fondeur bouche immédiatement le trou de coulée du cubilot, dès qu'il a retiré suffisamment de métal.

Préparation du convertisseur pour la charge. — La cornue à revêtement siliceux est soigneusement garnie avec des blocs, à haute teneur en silice, moulés de façon à épouser la forme intérieure du convertisseur. Les tuyères sont également faites avec la même substance et sont, ainsi que les blocs et autres briques, convenablement jointoyées ensemble, avec un excellent ciment de silice. Lorsque le revêtement est neuf, on le laisse sécher un jour ou deux, en laissant la boîte à vent ouverte afin qu'il se forme un courant d'air pour sécher le ciment. On allume alors un feu de bois, qu'on active lentement et progressivement. On augmente ensuite la température en faisant des additions de coke et en soufflant très doucement jusqu'à ce que le revêtement soit complètement chaud partout. En prenant ces précautions, on économise du temps et de l'argent. Il faut toujours tenir compte de la dilatation de la cornue, en faisant les revêtements, pour éviter de les voir s'endommager. Quand le revêtement est chauffé au rouge brillant, la cornue est prête à recevoir la charge.

En un jour de travail, le revêtement supporte de nombreuses déformations, de sorte qu'il faut le réparer journallement plus ou moins, d'autant plus que ces réparations, faites avec soin, prolongent la durée du revêtement et des tuyères. C'est d'ailleurs le cas de la plupart des types de

fours, mais il est cependant intéressant de remarquer qu'alors que les convertisseurs de 2 tonnes ne peuvent pas faire plus de 40 soufflages, sans qu'il soit nécessaire de remettre de nouvelles tuyères, les autres types de convertisseurs peuvent supporter plus de 200 soufflages. Il y a de nombreuses causes qui contribuent à la durée des revêtements, et les réparations quotidiennes ne sont pas les moins importantes. De plus, on doit chauffer chaque jour le convertisseur avant d'y introduire la charge. Enfin, on a constaté que les revêtements durent plus longtemps

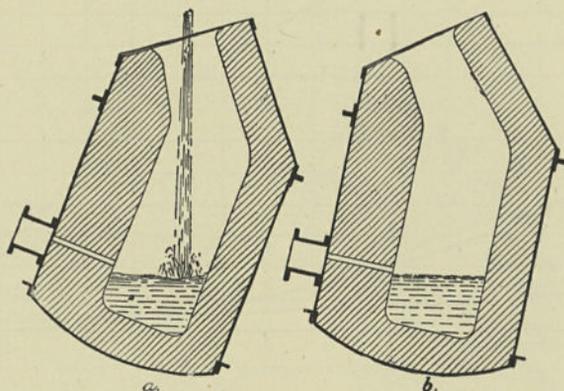


Fig. 103.

a, position du convertisseur pour recevoir la charge.

b, position du convertisseur prêt au soufflage. Inclinaison des tuyères sur l'horizontale 10° à 20° ,

lorsqu'on alterne les jours de travail, car cela lui donne le temps de se refroidir et d'être réparé.

Position du convertisseur quand on le charge. — Ainsi que le représente la figure 103 *a*, l'axe du convertisseur fait un angle avec la verticale quand il est en position de chargement, de sorte que les tuyères sont encore bien dégagées, lorsque toute la charge est versée. Pour mettre la cornue dans une position convenable pour le soufflage, on enlève les tampons des portes des boîtes à vent, ce qui permet d'examiner la surface du métal. Au moyen d'une petite tige de fer ou d'acier on peut aussi déterminer exactement le niveau exact et la position du métal.

On amène petit à petit le convertisseur dans sa position exacte, jusqu'à ce que son axe vertical fasse un angle de 10° à 20° avec la perpendiculaire comme le montre la figure 103 *b*. Si le niveau supérieur du métal est à la partie inférieure des tuyères quand la position ci-dessus est obtenue, on remplace les tampons de la boîte à vent et l'on commence le soufflage. Quelquefois, on fait des points de repère sur le tourillon et ses coussinets, une aiguille indiquant la position à prendre sur un cadran, et, pour chaque nouveau soufflage, on remet toujours la cornue dans la même position.

Conduite du soufflage. — La conduite du soufflage nécessite non seulement un certain jugement mais aussi la connaissance complète de ce

qu'indique les différentes coloration et longueur des flammes qui

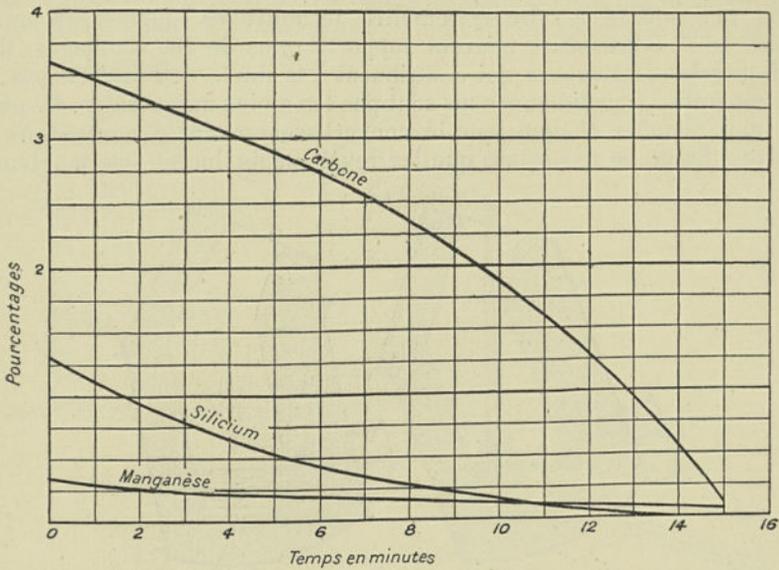


Fig. 104. — Vitesse d'oxydation du carbone, du silicium et du manganèse pendant le soufflage.

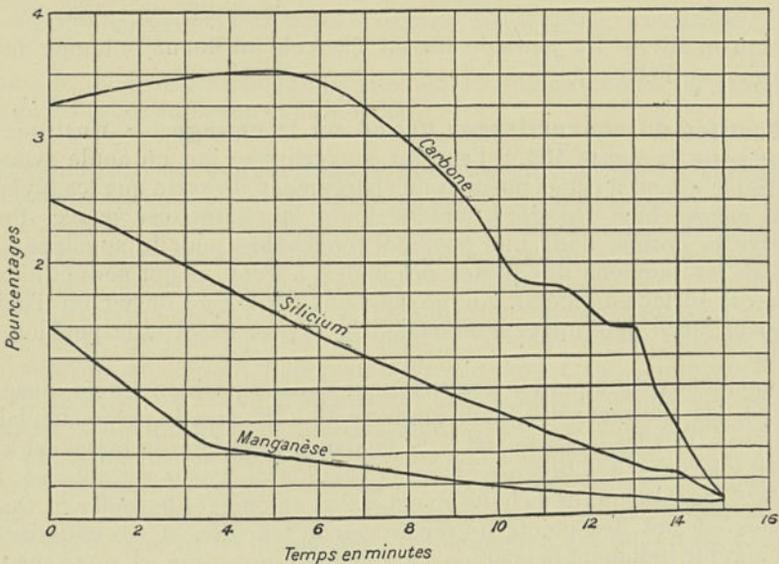


Fig. 105. — Vitesse d'oxydation du carbone, du silicium et du manganèse pendant le soufflage.

s'échappent des cornues pendant l'oxydation des éléments principaux :

silicium, manganèse et carbone. La pratique rend habile l'opérateur intelligent, qui sait observer les réactions qui se produisent.

La première chose à observer est la combustion des gaz généralement désignée sous le nom d' « éclair ». Avant qu'il se produise, le carbone graphitique du métal est transformé en carbone combiné, en même

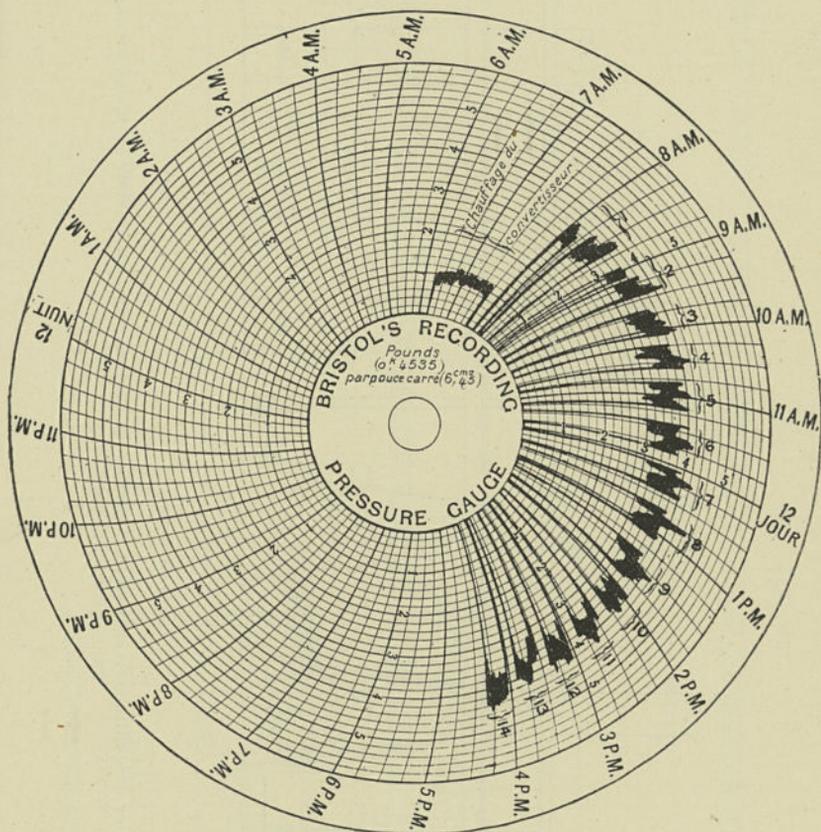
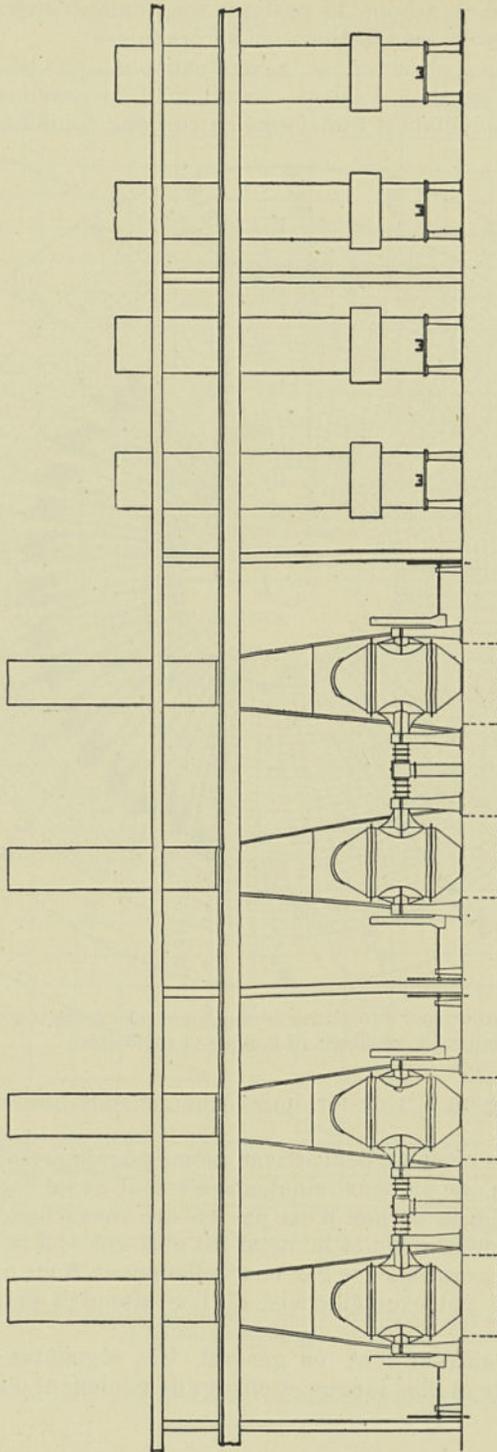


Fig. 106. — Carton pour enregistrer le diagramme des pressions de l'air pendant le soufflage. (Il indique 14 soufflages.)

temps qu'il s'oxyde un peu de fer, qui s'échappe sous forme de fumées brunes très denses.

Si le métal est très chaud, il peut arriver, même pour la première charge, qu'il ne s'écoule qu'une ou deux minutes seulement avant l'apparition de l'« éclair » alors que la cornue n'est pas encore aussi chaude que pour les charges ultérieures, mais si le métal est plus épais, il peut s'écouler plusieurs minutes, avant que les gaz ne s'enflamment. Nous avons même vu des cas, tout à fait exceptionnels, où l'on attendait près de trente minutes.

Les phases qui suivent sont, en général, très régulières; la flamme devient plus chaude et plus longue et change de couleur et d'intensité, ce



Vue en élévation.

Fig. 107. — Disposition d'un atelier de quatre convertisseurs, soufflés à la surface, avec les cubilots au même niveau que les convertisseurs.

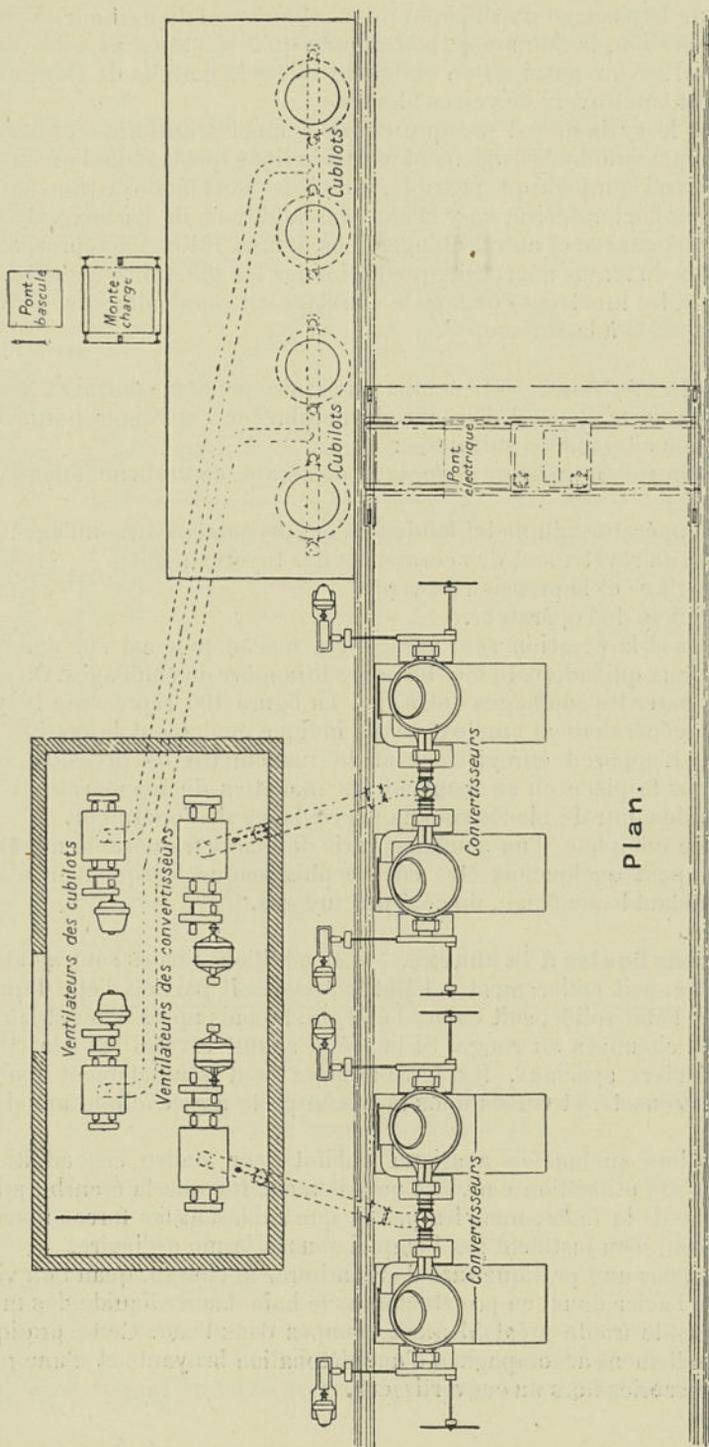


Fig. 107.

qui indique le passage du silicium, du manganèse et du carbone. Vers la fin de l'opération, la flamme est si brillante qu'il n'est pas possible de la regarder à l'œil nu, aussi est-on obligé de suivre la marche de l'opération en regardant au travers de verres bleutés.

Lorsque le carbone est presque complètement transformé en CO et CO², la flamme tombe brusquement, ce qui indique que la réduction du carbone est aussi complète que possible, et qu'il est alors facile de transformer le métal, en l'acier désiré, en y faisant des additions de carbone, de silicium, de manganèse et autres alliages. Les figures 104 et 105 représentent les courbes du temps nécessaire pour éliminer les différents constituants du métal. Elles montrent combien le soufflage est rapide dans les convertisseurs soufflés à la surface.

Durée du soufflage. — Le temps nécessaire pour transformer 2 tonnes de fonte en acier, dépend d'un certain nombre de conditions parmi lesquelles nous citerons les suivantes :

1. La richesse du mélange de fonte et de scraps, en carbone, silicium et manganèse ;
2. La température du métal fondu au commencement du soufflage ;
3. L'état du revêtement des cornues et des tuyères ;
4. Le réglage et la pression de vent ;
5. L'habileté de l'opérateur.

Le temps et la pression sont enregistrés mécaniquement sur des cartons spéciaux qui indiquent tous les jours le nombre de soufflages. On peut ainsi comparer les soufflages entre eux. La figure 106 représente le type de carton généralement employé et qui indique également la marche du soufflage. L'appareil enregistreur et le manomètre de pression sont placés dans la pièce où se trouvent les manettes de manœuvre et les appareils de contrôle placés sous la surveillance de l'opérateur.

La durée complète d'un soufflage varie de quinze à quarante minutes, mais elle peut quelquefois être encore plus longue lorsque l'on a des ennuis pendant le soufflage, du côté des tuyères.

Additions finales à la charge. — Les additions finales sont ajoutées à la charge, soit entièrement à l'état liquide, soit partie à l'état liquide et partie à l'état solide, soit enfin à l'état solide mais après avoir été préalablement chauffées au rouge. Si le métal soufflé est destiné à la fabrication d'aciers spéciaux, les ferro-alliages sont généralement fondus dans des creusets, et versés dans la poche prête à recevoir le métal de la cornue.

On emploie quelquefois aussi un cubilot pour fondre ces additions finales, et son utilisation convient parfaitement lorsque la recarburation se fait avec de la fonte, mais les pertes que subissent les ferro-alliages, par la fusion, n'en justifient pas l'emploi sous la forme ordinaire.

Ce n'est pas une pratique rare de recarburer la charge, quand on veut obtenir de l'acier doux, en projetant dans le bain d'acier liquide des morceaux de fonte froide préalablement trempés dans l'eau. Cette pratique est habituellement accompagnée d'une détonation bruyante et d'une projection de scories hors du convertisseur.

Lorsque l'on a fait les additions à l'état solide, on brasse convenablement le métal avec une barre de fer pour bien mélanger le tout. Dans le même but, on abaisse et relève plusieurs fois la cornue.

Coulée du métal. — La coulée du métal est surveillée, depuis la salle des appareils de manœuvre, par l'« opérateur » qui peut voir le conver-

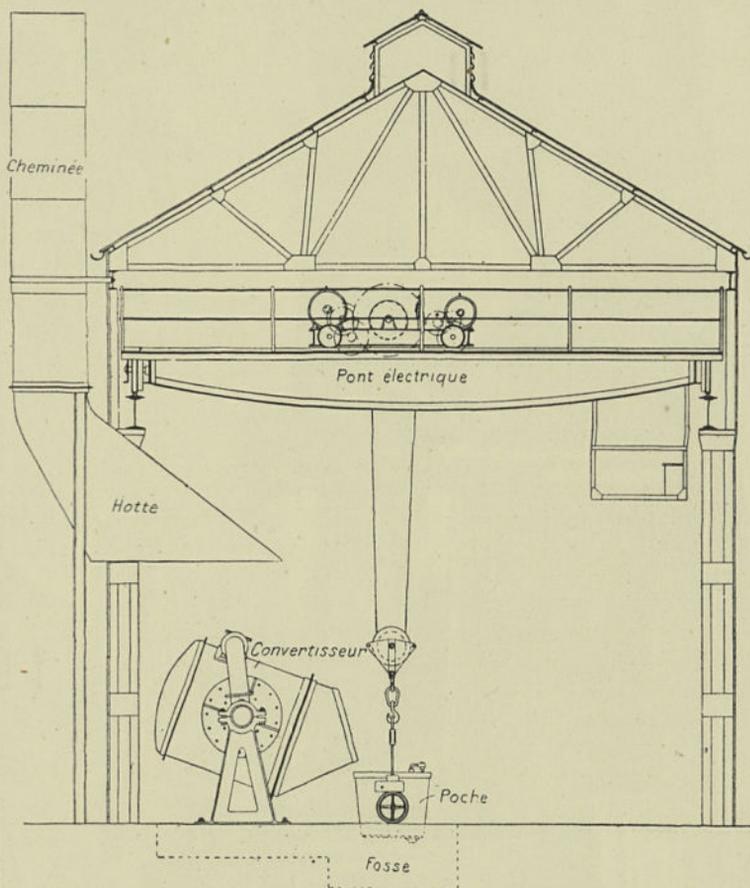


Fig. 108. — Atelier de convertisseurs de 2 tonnes, Position de la poche pour recevoir la charge finie.

tisseur et la poche et par conséquent régler la vitesse d'écoulement de l'acier. Lorsque la totalité de la charge est versée dans la poche, on pèse celle-ci au moyen d'une bascule du type Denison ou autre, fixée au pont roulant ou à la grue pivotante. Le poids est pris avant et après la coulée du métal dans la poche et on note celui-ci.

Quand on verse directement la charge du convertisseur dans des poches de coulée à main, on découple le moteur électrique et la manœuvre du convertisseur se fait à la main. Une rigole en briques est placée à

l'orifice du convertisseur et y est maintenue au moyen d'une bride et de deux tirants fixés à la plate-forme de la cornue.

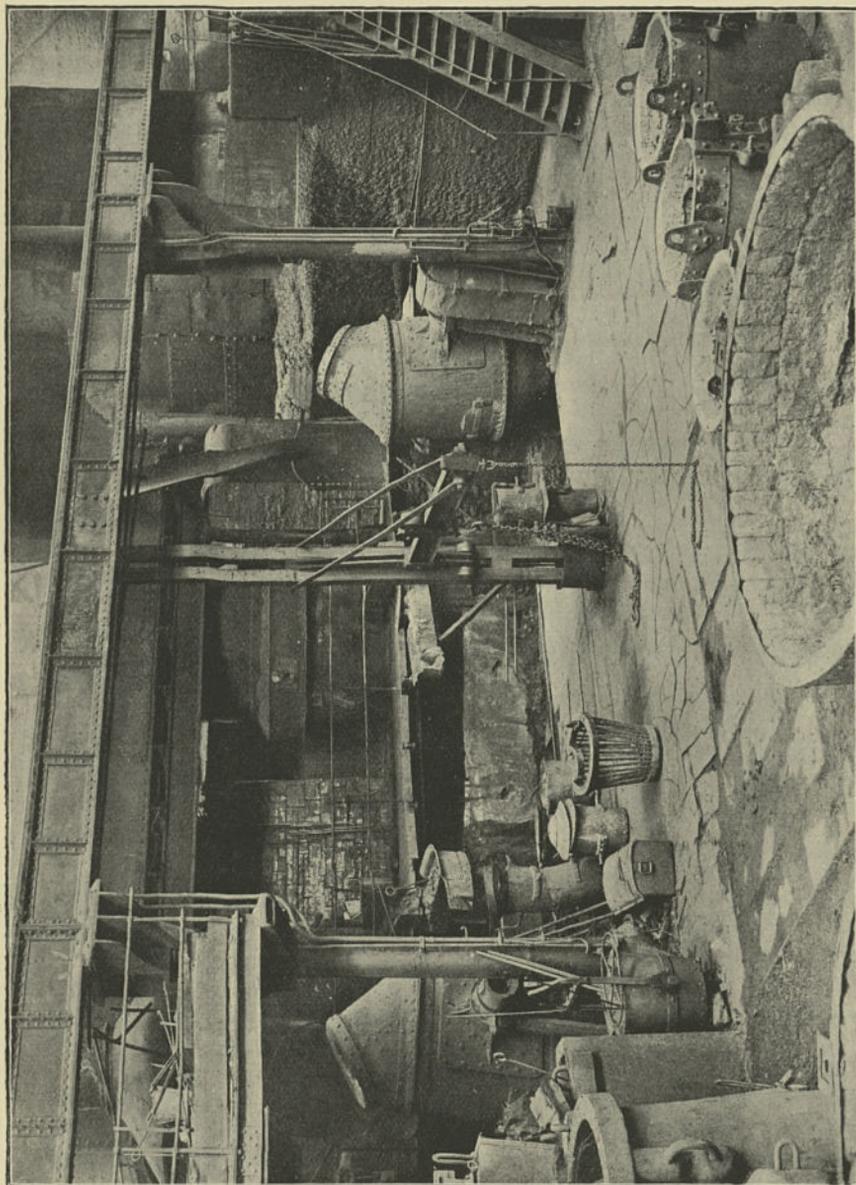


Fig. 109. — Atelier des convertisseurs Tropenas de 2 tonnes, soufflés à la surface, de la « Lancashire and Yorkshire Railway Works », Horwich.

Ponts roulants. — Les ponts roulants sont suffisamment puissants pour enlever des poches contenant plusieurs charges d'acier. La grue pivotante sert surtout à l'enlèvement rapide des scories des convertisseurs.

qui s'écoulent dans les fosses des poches. La scorie des cubilots s'écoule directement dans des wagonnets tandis que celle des convertisseurs tombe dans les fosses. Pour transporter la poche d'acier de l'une ou l'autre des cornues dans les différents chantiers, la grue pivotante est indispensable.

Autres dispositions d'ateliers de convertisseurs. — La figure

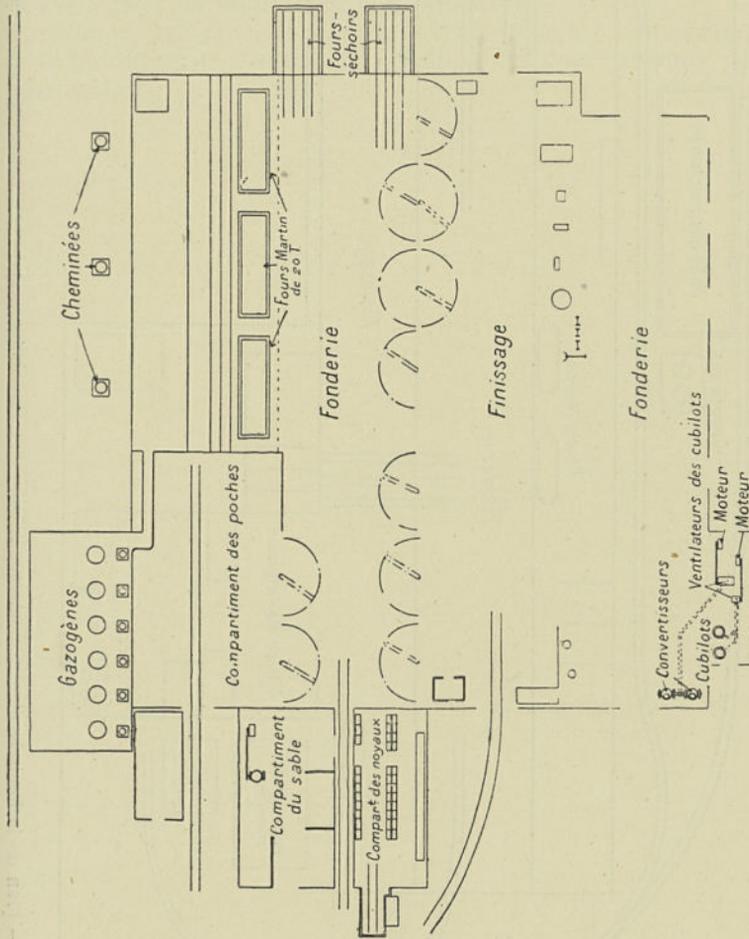


Fig. 110. — Plan partiel de la fonderie d'acier de la « Scullin-Gallagher Iron and Steel Co », à Saint-Louis (E.-U.), montrant l'atelier des convertisseurs.

107 représente une disposition de convertisseurs et cubilots placés directement sur le sol de l'atelier, car il est quelquefois plus facile de travailler aux cubilots ainsi disposés, que lorsqu'ils sont élevés sur une plate-forme. Le métal est transporté des cubilots dans les convertisseurs au moyen d'une poche manœuvrée par le pont roulant. Le même pont est aussi utilisé pour reprendre le métal fini du convertisseur. La figure 108 représente la poche accrochée au pont roulant et prête à recevoir la charge.

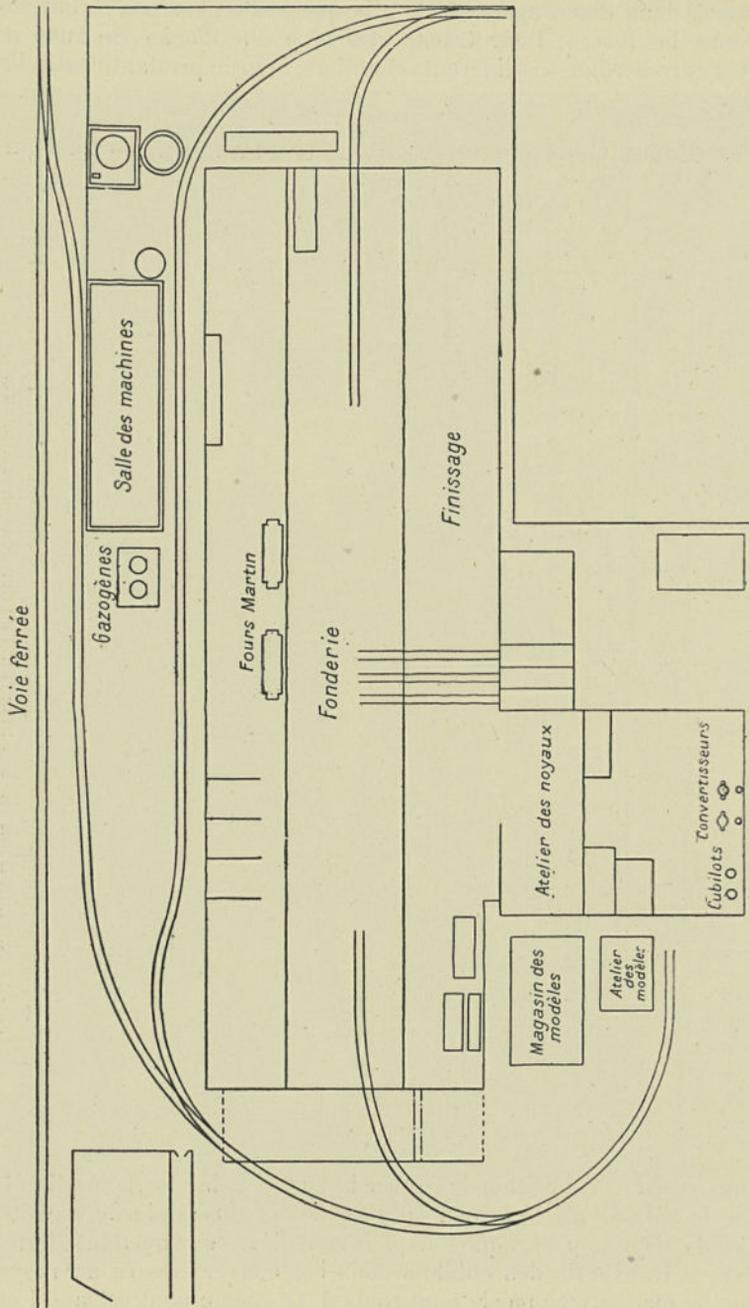


Fig. 111. — Plan de la fonderie d'acier (montrant l'atelier des convertisseurs) de la « Detroit Steel Casting Co » (E.-U.).

La figure 109 représente une photographie de l'atelier des deux convertisseurs de deux tonnes de la « Lancashire and Yorkshire Railway Works » Horwich. Les deux convertisseurs se font face l'un à l'autre, et sont alimentés par des cubilots d'où le métal chaud s'écoule directement dans les convertisseurs

La disposition générale de l'atelier des convertisseurs de trois tonnes, représentée par la figure 110, est celui de la « Scullin-Gallagher Iron and Steel Co », Saint-Louis (E.-U.). On remarquera que les cubilots sont placés à angle droit par rapport aux convertisseurs.

La figure 111 donne le plan de la fonderie de la « Detroit Steel Casting Co » Detroit (E.-U.), et donne la position des convertisseurs par rapport aux cubilots.

CHAPITRE XXI

PRIX DE L'ACIER FABRIQUÉ DANS LES ATELIERS DE CONVERTISSEURS SOUFFLÉS A LA SURFACE POUR FONDERIES D'ACIER

Atelier de quatre convertisseurs de deux tonnes.

Production et prix de l'installation. — Le prix de l'acier fabriqué, dans un atelier de quatre convertisseurs de 2 tonnes du genre de ceux décrits et représentés dans le chapitre précédent, est basé sur l'emploi continu de deux convertisseurs produisant 56 tonnes d'acier par jour, c'est-à-dire que chaque convertisseur souffle 14 charges, par journée de dix heures. L'acier liquide obtenu est employé pour faire des moulages d'acier dont le poids peut varier depuis quelques kilogrammes jusqu'à 10 tonnes chacun, l'atelier précédemment décrit étant conditionné pour faire face à tous ces travaux.

Le prix de l'atelier, comprenant le matériel suivant, est approximativement de 250 000 francs, prix variant naturellement avec les conditions de situation.

Cet atelier comprend le matériel suivant :

Quatre convertisseurs de 2 tonnes montés sur supports, munis d'un dispositif de manœuvre fonctionnant hydrauliquement et à la main, suivant les nécessités du service, y compris les appareils électriques de contrôle et de distribution.

Quatre cubilots, munis des derniers perfectionnements pour la fusion rapide, et spécialement équipés pour fondre et maintenir la charge complète à une haute température, avec les robinets-valves à vent et les manomètres de pression.

Deux ventilateurs à haute pression, système Roots, montés chacun sur des fondations spéciales et accouplés directement à un moteur électrique fixé dans le prolongement du bâti du ventilateur. Chaque ventilateur peut envoyer le vent nécessaire aux convertisseurs par les tuyaux en fonte et les robinets qui les relie entre eux. Cette installation comprend également les manomètres de pression, les robinets de manœuvre et l'équipement électrique;

Deux ventilateurs à basse pression, système Roots, avec moteurs montés et disposés de la même manière que les moteurs et ventila-

teurs ci-dessus. Ils sont destinés à fournir l'air nécessaire aux cubilots ;

Une grue électrique complète, avec moteur, engrenages, etc. ;

Un pont-bascule, muni des derniers perfectionnements, pour peser les matériaux ;

Une bascule pour peser la charge des cubilots ;

Une poche et son wagon avec moteur pour le service des cubilots, des ponts-bascules et des convertisseurs ;

Une grue pivotante pour travailler en face des fosses des poches ;

Deux ponts roulants, pour amener à la fonderie, l'acier fondu provenant des convertisseurs ;

Toutes les charpentes y compris la plate-forme des cubilots et les toitures ;

Quatre hottes et cheminées pour les convertisseurs ;

Un four à creusets chauffé au coke, avec 3 laboratoires de 4 creusets, pour fondre les additions à la charge ;

Un petit cubilot, pour fondre les additions, avec la tuyauterie nécessaire le rattachant à la conduite principale de vent des gros cubilots ;

Un petit four, pour chauffer les ferro-alliages ajoutés à la charge à l'état solide ;

Un assortiment de poches, comprenant 2 poches de 12 tonnes et 6 de 3 tonnes ;

Une salle des soufflantes avec le tableau de distribution de l'atelier ;

Tous les câbles et accessoires électriques complets ;

Toutes les tuyauteries, rigoles de coulée, wagonnets à coke et à scorie, trucks, outils, etc. ;

Toutes les maçonneries, fondations, puits, revêtement des convertisseurs, cubilots et poches ;

Bref l'installation toute montée et prête à fonctionner.

On suppose que la force prise au tableau de distribution, provient d'une autre source, dont le prix de l'installation ne figure pas ici.

Il est évident que, où les ponts roulants sont absolument nécessaires pour la manutention de l'acier produit par les convertisseurs, leurs prix ne doivent pas être entièrement supportés par la fabrication de l'acier, car dans une journée complète de travail, le pont est occupé la moitié du temps à l'aciérie et l'autre moitié à la fonderie. Il ne faut donc attribuer que la moitié de leur prix à l'aciérie.

En supposant un amortissement de 10 p. 100 sur le matériel complet de l'aciérie, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations, les dépenses annuelles d'amortissement seront de

175 000 francs à 10 p. 100.	17 500 fr.
25 000 — à 5 p. 100.	1 250 —
50 000 — à 2 1/2 p. 100	1 250 —
Total.	<u>20 000 fr.</u>

La production de l'atelier, s'il travaille quarante-sept semaines complètes par an = $320 \times 47 = 15\,040$ tonnes par an, soit 15 000 tonnes en chiffres ronds. On a :

Frais d'amortissements par tonne d'acier liquide

$$= \frac{20\ 000}{15\ 000} = 1,33 \text{ fr.}$$

Intérêts de 250 000 francs à 5 p. 100 = 12 500 francs.

$$\text{Dépenses d'intérêts par tonne d'acier liquide} = \frac{12\ 500}{15\ 000} = 0,83 \text{ fr.}$$

Donc on a :

Dépenses totales d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier liquide = 2,16 fr.

Frais de fabrication (par tonne d'acier liquide pour moulages d'acier au carbone).

Frais d'entretien et d'approvisionnements. — L'entretien comprend : toutes les dépenses des matériaux et de main-d'œuvre pour les réparations journalières des convertisseurs, cubilots et fours ; le regarnissage périodique des convertisseurs, des cubilots, et des poches en maçonnerie, toutes les réparations du matériel mécanique et électrique de l'atelier pour le maintenir en état de travailler, et tous les outils employés pour le service de l'atelier. Les approvisionnements comprennent l'huile, la graisse, le déchet, l'amiante, les brosses et les autres ustensiles divers.

La dépense moyenne d'entretien et d'approvisionnement, calculée sur une période de douze mois et comprenant les frais de revêtement des convertisseurs, est de 5,04 fr. par tonne d'acier liquide.

Dépenses de combustibles. — Sous le nom de combustible, on désigne le coke employé pour le chauffage des cubilots, des convertisseurs, des fours à creusets et pour la fusion.

Le poids moyen de coke employé par tonne d'acier liquide fabriquée est de 1 780 kilogrammes, en supposant que le prix du coke est de 28,37 fr. la tonne, la dépense en combustible, par tonne d'acier liquide, sera donc de 4,99 fr. On emploie également une petite quantité de combustible pour le chauffage des ferro-alliages ajoutés à l'état solide aux convertisseurs, mais cette quantité ne représente qu'une fraction de centimes par tonne d'acier.

Prix de la main-d'œuvre. — Cette main-d'œuvre comprend tous les ouvriers occupés au travail de l'atelier, à l'exclusion de celle comprise au chapitre « Entretien » déjà étudié.

Les hommes nécessaires sont :

Quatre ouvriers aux convertisseurs ;

Deux ouvriers aux cubilots ;

Deux ouvriers pour charger les cubilots ;

Huit rouleurs de charges pour les cubilots ;

Un ouvrier pour surveiller les ventilateurs et autres appareils ;

Un ouvrier pour le cubilot des additions finales ;

Deux ouvriers au four à creusets ;

Cinq ouvriers pour la réparation et la manœuvre des poches ;

Un ouvrier à la grue pivotante et partie du salaire des deux ouvriers des ponts roulants ;

Un opérateur.

Salaires totaux pour une semaine 1 387,10 fr.

Acier coulé dans les poches en une semaine 320 tonnes.

Frais de main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = $\frac{1\,387,10}{320} = 4,33$ fr.

En ajoutant 50 p. 100 représentant les appointements du chimiste et du directeur = 2,16 fr., on a :

Dépenses totales de main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 6,49 fr.

Prix de la force motrice. — Le prix de la force motrice comprend toute l'énergie électrique consommée par les ventilateurs des convertisseurs et des cubilots, pour la manœuvre des convertisseurs et du monte-charge et la moitié de la force employée par les deux ponts roulants électriques. Il comprend aussi le combustible et l'eau consommés par la grue pivotante à vapeur.

En supposant que le prix du courant, pris au tableau de distribution, soit de 0,052 fr. la dépense est la suivante :

Courant par semaine 8 960 unités = 28 unités par

tonne d'acier à 0,052 fr. = 1,45 fr.

Combustible et eau pour la grue = 0,10 —

Prix de la force motrice par tonne d'acier liquide. = 1,55 fr.

Prix des matières premières. — Le poids et le prix des matières premières consommées, en une semaine, pour produire 320 tonnes d'acier liquide sont les suivants :

MATÉRIAUX EMPLOYÉS POUR LA FABRICATION ACTUELLE
(NON COMPRIS LES ADDITIONS)

Fonte	149 ^h ,814 à 81,90 fr. la tonne de 1 015 kg.	12 098,04 fr.
Scraps	195 ^h ,489 à 69,30 — — —	13 357,78 —
Calcaire	14 ^h ,921 à 5,25 — — —	77,23 —
Spath-fluor	3 ^h ,349 à 20,18 — — —	66,63 —
Ferro-silicium	3 ^h ,654 à 107,40 — — —	385,86 —
	Total	25 985,54 fr.

ADDITIONS FINALES

Fonte	17 ^h ,915 à 81,90 fr. la tonne de 1 015 kg.	1 446,67 fr.
Scraps	11 ^h ,064 à 69,30 — — —	755,97 —
Ferro-manganèse	2 ^h ,816 à 10,71 — les 50 ^k ,78	594,88 —
Ferro-silicium	2 ^h ,370 à 14,72 — — —	687,87 —
Aluminium	139 kg. à 0,73 — les 0 ^k ,4534	228,87 —
Spath-fluor	374 — à 20,18 fr. la tonne de 1 015 kg.	7,45 —
	Total	3 721,71 fr.

Prix des matières premières par tonne d'acier liquide

$$= \frac{29\,707,25}{320} = 92,83.$$

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 250 000 francs.	
Amortissements et intérêts	2,16 fr.
Entretien et approvisionnements	5,04 —
Combustibles	4,99 —
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour direction.	6,49 —
Force motrice	1,55 —
Matières premières	92,83 —
Dépense totale par tonne d'acier liquide. . .	113,06 fr.

Pertes de matières premières. — Il faut aussi tenir compte des pertes à la fusion et au soufflage, qui varient de 15 à 20 p. 100 de la charge totale. La nature des scraps, fondus avec la fonte, joue un rôle important sur le chiffre des pertes. On obtient les meilleurs résultats en utilisant des scraps lourdes et propres.

Atelier de deux convertisseurs de deux tonnes.

La figure 112 (pp. 270-271) représente un atelier de convertisseur de deux tonnes. C'est en somme la même disposition, avec des dimensions réduites de moitié, que celui représenté par la planche V.

Production et prix de l'installation. — La production de cet atelier est basée sur un chiffre de 14 soufflages par journée de dix heures, chaque charge étant calculée pour donner deux tonnes de métal dans la poche. Un convertisseur, marchant toute la journée, produit donc 28 tonnes d'acier liquide. L'acier produit peut être employé pour des moulages, dont le poids peut varier de quelques kilogrammes jusqu'à 7 tonnes chacun.

Le prix de cette installation, en comprenant le matériel ci-dessous, est approximativement de 150 000 francs.

Deux convertisseurs de 2 tonnes ;

Deux cubilots ;

Un ventilateur à haute pression ;

Un ventilateur à basse pression ;

Un monte-charge électrique ;

Un pont-bascule pour peser les matières premières ;

Une bascule pour peser le métal fondu ;

Une poche pour la bascule ci-dessus ;

Une grue pivotante à vapeur ;

Un pont roulant électrique ;

Toutes les charpentes y compris les plates-formes et les toitures ;

Deux hottes et deux cheminées pour les convertisseurs ;

Un four à creusets, chauffé au coke, avec 3 laboratoires de 2 creusets ;

Un petit cubilot pour fondre les additions ;
 Un petit four à chauffer ;
 Une poche de 10 tonnes et 4 de 3 tonnes ;
 Une salle des ventilateurs ;
 Tout l'équipement mécanique et électrique complet ;
 Toute la tuyauterie à vent ;
 Toutes les fondations et les maçonneries ;
 En un mot l'installation toute montée et prête à fonctionner ;
 Les remarques explicatives, relatives à un atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes, signalées dans la première partie de ce chapitre, s'appliquent également à l'installation ci-dessus.

Dépenses annuelles pour amortissement de l'installation :

Matériel de l'atelier . . .	112 500 à 10 p. 100 =	11 250 fr.
Maçonnerie	12 500 à 5 — =	625 —
Fondations	25 000 à 2 $\frac{1}{2}$ — =	625 —
Dépense annuelle d'amortissements =		12 500 fr.

Intérêt du capital 150 000 fr. à 5 p. 100 = 7 500 francs.
 Dépense annuelle d'amortissements et d'intérêts = 20 000 francs.

La production par année d'acier liquide est de 7 500 tonnes, c'est-à-dire la moitié de celle d'un atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes. On a donc :

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier liquide

$$= \frac{20\,000}{7\,500} = 2,66 \text{ fr.}$$

*Frais de fabrication (par tonne d'acier liquide)
 pour moulages en acier au carbone.*

Frais d'entretien et d'approvisionnements. — Toutes les dépenses comprises sous ce titre sont les mêmes que celles énumérées pour l'atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes. Tous les prix des matériaux et des approvisionnements sont établis sur les mêmes bases.

Dépenses totales du matériel, de main-d'œuvre et d'approvisionnement par tonne d'acier liquide = 5,67 fr.

Prix du combustible. — Le poids moyen de coke consommé est de 203 kilogrammes par tonne d'acier dans la poche, ce qui est en augmentation, comparativement au même chapitre de l'étude précédente, car les fours à creusets et le cubilot pour les additions ne produisent pas autant chaque jour que quand ils sont adjoints à 4 convertisseurs de 2 tonnes et consomment par conséquent beaucoup plus de combustible. On est obligé de chauffer un four, que la production soit grande ou petite. En admettant que le prix du coke soit comme dans l'exemple précédent de 28,37 fr. la tonne, la dépense en combustible par tonne d'acier liquide est de 5,67 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — L'équipe employée se décompose ainsi :

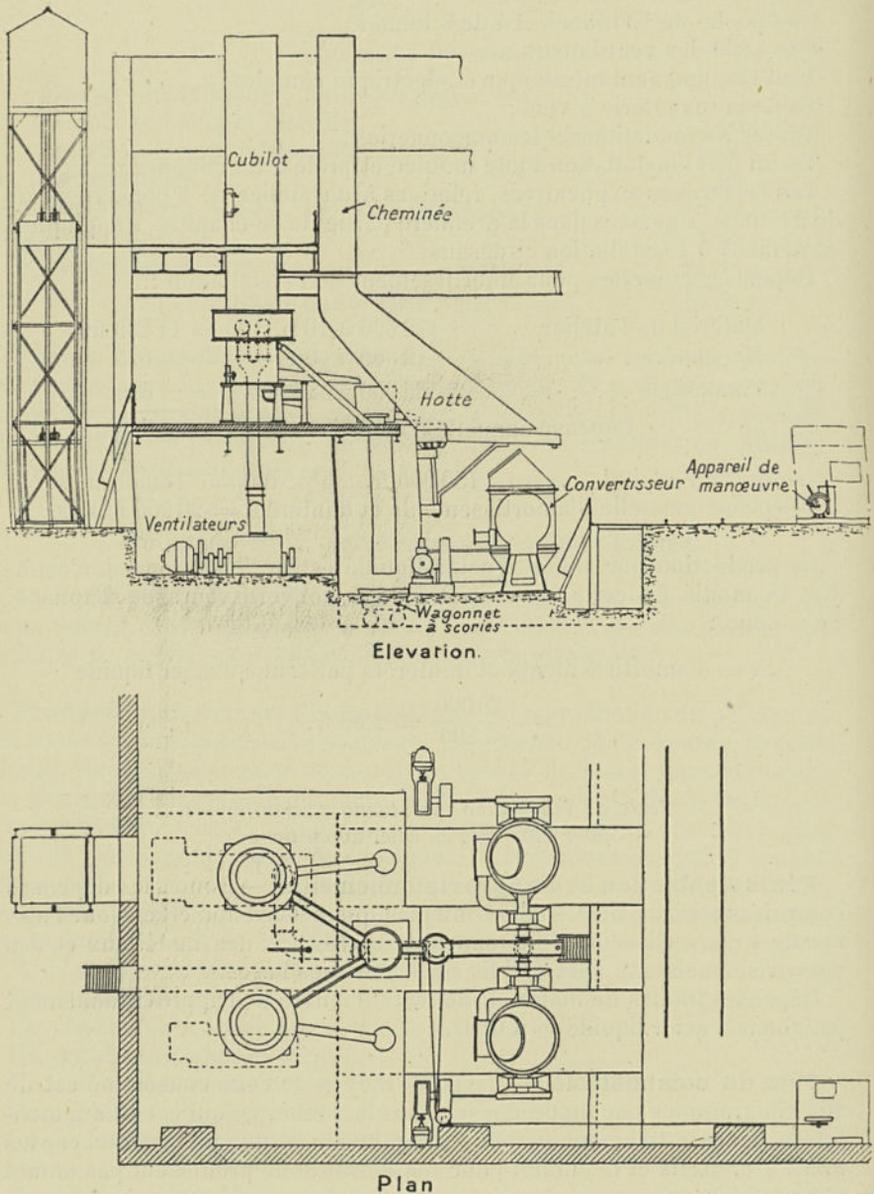
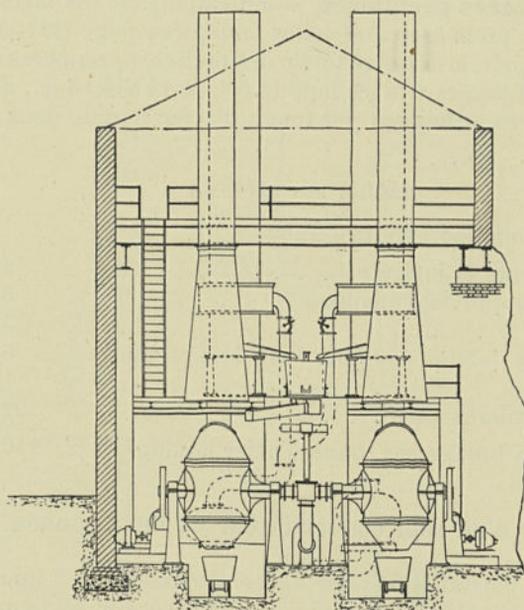


Fig. 112. — Disposition générale d'un atelier de deux convertisseurs de 2 tonnes soufflés à la surface.

Deux ouvriers aux convertisseurs ;
Un aide au cubilot ;

- Un chargeur au cubilot ;
- Quatre rouleurs de charge pour les cubilots ;
- Un homme pour surveiller les ventilateurs et autres appareils ;
- Un ouvrier pour les charges additionnelles ;
- Un ouvrier au four à creusets ;
- Trois ouvriers pour l'entretien, la réparation et la manœuvre des poches ;



Vue de face.

Fig. 412.

- Un ouvrier sur la grue pivotante et la moitié du salaire de l'ouvrier du pont roulant ;
- Un opérateur.

Salaires totaux pour une semaine 882,70 fr.
 Acier coulé dans la poche en une semaine 160 tonnes.

$$\text{Salaires par tonne d'acier} = \frac{882,70}{160} = 5,51 \text{ fr.}$$

En ajoutant 50 p. 100 pour représenter les émoluments du chimiste et du directeur = 2,75 fr. par tonne, nous aurons :

Dépense totale de main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 8,27 fr.

Prix de la force motrice. — En supposant que le prix du courant, pris au tableau de distribution est de 0,052 fr. l'unité, la dépense de force motrice s'établit comme suit :

Consommation du courant par semaine, y compris celle du pont roulant = 4 480 unités, soit 28 unités par tonne d'acier :

28 unités à 0,054	1,45 fr.
Combustible et eau pour la grue	0,16 —
Prix de la force motrice par tonne d'acier liquide	1,61 fr.

Prix des matières premières. — En employant les mêmes proportions de matières premières que celles indiquées page 267 et en appliquant les mêmes prix, la dépense totale des matières premières employées pour produire 160 tonnes d'acier liquide est de 14 854,16 fr., d'où

Prix des matières premières par tonne d'acier liquide dans la poche : 92,83 fr.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 150 000 francs.	
Amortissements et intérêts	2,66 fr.
Entretien et approvisionnements	5,67 —
Combustible	5,67 —
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour frais de direction	8,27 —
Force motrice	1,61 —
Matières premières	92,83 —
Dépenses totales par tonne d'acier liquide	116,71 fr.

Atelier d'un seul convertisseur de deux tonnes.

En comparant l'installation pour un convertisseur de 2 tonnes, représenté par la figure 113, avec celle représentée par la figure 112, on constate que les caractéristiques principales sont les mêmes et que l'on a conservé la même exactitude de détail pour la construction et l'application de la méthode de travail. Il est vrai que nous verrons plus loin d'autres dessins d'aciéries pour fonderies, dans lesquelles on n'a pas cru nécessaire de peser le métal fondu du cubilot et où on a placé les cubilots au même niveau que le convertisseur.

Production et prix de l'installation. — La production de l'installation que nous allons examiner est basée sur celle, par convertisseur, de l'installation de 2 convertisseurs que nous venons d'étudier, c'est-à-dire de 14 soufflages par journée de dix heures, le poids moyen de chaque charge d'acier coulé étant de 2 tonnes. Comme l'on n'emploie qu'un seul convertisseur, il ne peut travailler que trois jours par semaine, chaque jour de travail étant suivi d'un jour de repos, pendant lequel on fait les réparations nécessaires. La production par semaine, en acier liquide, s'élève donc à 84 tonnes, qui peuvent servir à faire des moulages dont le poids peut aller de quelques kilogrammes jusqu'à 4 tonnes chacun.

Le prix approximatif de l'installation représenté par la figure 113 et comprenant le matériel suivant, est approximativement de 87.500 francs.

Un convertisseur de 2 tonnes ;

- Un cubilot ;
- Un ventilateur à haute pression ;
- Un ventilateur à basse pression ;
- Un monte-charge électrique ;
- Un pont-bascule pour peser les matières premières ;

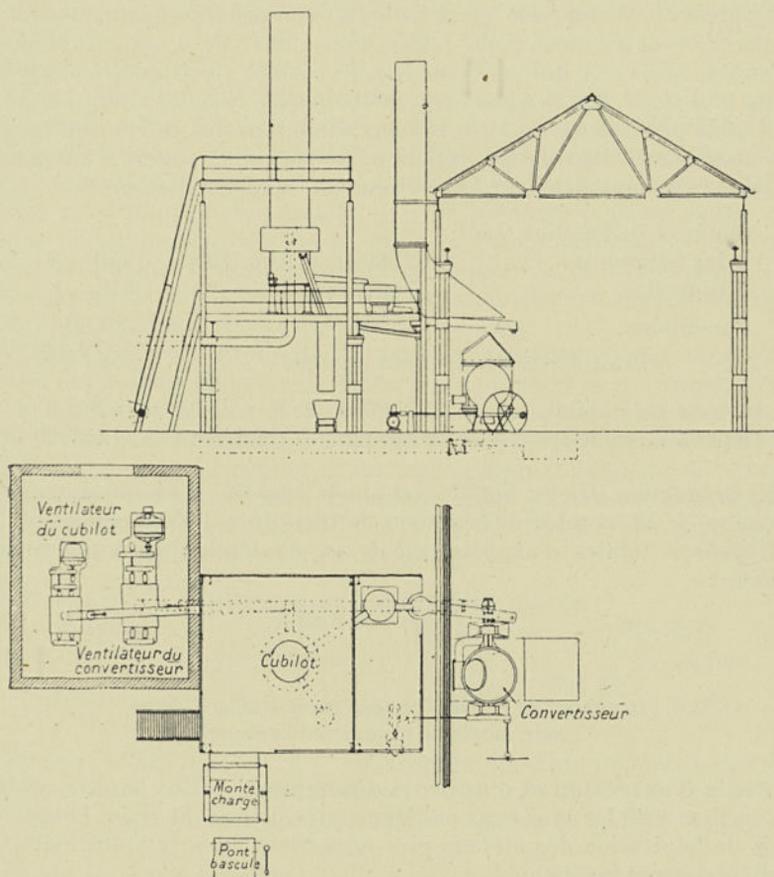


Fig. 443. — Disposition d'un atelier pour un convertisseur de 2 tonnes soufflé à la surface.

- Une bascule pour peser le métal fondu ;
- Une poche pour la bascule ci-dessus ;
- Une grue pivotante ;
- Un pont roulant électrique ;
- Toute la charpente métallique y compris les plates-formes et les toitures ;
- Une hotte et une cheminée pour le convertisseur ;
- Un four à creusets, chauffé au coke, avec 3 laboratoires de 2 creusets ;
- Un petit cubilot pour les additions ;
- Un petit four ;

Une poche de 6 tonnes et 3 de 3 tonnes ;
 Une salle des ventilateurs ;
 Tout l'équipement électrique et mécanique complet ;
 Toutes les tuyauteries ;
 Toutes les fondations, maçonneries, etc.
 Bref, l'usine toute montée, prête à fonctionner.

Quoique l'on n'emploie qu'un seul convertisseur, les dimensions des appareils sont les mêmes que celles d'un atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes, sauf en ce qui concerne le pont roulant électrique qui est beaucoup plus léger, les charges étant moins fortes. Nous ne comprenons pas ici l'usine génératrice de force et nous admettons que le courant est pris, à un tableau de distribution, venant d'une source étrangère à l'atelier.

Dépenses annuelles pour l'amortissement de l'installation :

Matériel de l'atelier, sauf			
les bâtiments	62 500 fr.	à 10 p. 100 =	6 250 fr.
Bâtiments	7 500 —	à 5 — =	375 —
Fondations	17 500 —	à 2 $\frac{1}{2}$ — =	437,50 —
Frais d'amortissements annuels			<u>7 062,50 fr.</u>

Intérêts du capital 87 500 fr. à 5 p. 100 = 4 375 fr.

Dépenses annuelles d'amortissements et d'intérêts = 11 437,50 fr.

La production d'acier liquide par année sera de = 84 (production par semaine) \times 48 (nombre de semaines de travail) = 4 032 tonnes.

Dépenses totales d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier liquide :

$$\frac{11\,437,50}{4\,032} = 2,83 \text{ fr.}$$

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide, pour moulages en acier au carbone).

Frais d'entretien et d'approvisionnement. — Ce chapitre contient les mêmes articles que ceux indiqués précédemment dans l'étude des frais de fabrication des ateliers plus importants. Les prix des matériaux sont également les mêmes.

Frais moyen d'entretien et d'approvisionnement par tonne d'acier liquide = 6,30 fr.

Prix du combustible. — La consommation du coke, par tonne, est à peu près la même que celle du convertisseur de 2 tonnes, de l'atelier de 2 convertisseurs, c'est-à-dire de 203 kilogrammes, qui au prix de 28,37 fr. la tonne, correspond à une dépense moyenne de combustible par tonne d'acier liquide de 5,67 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — Les ouvriers employés sont les suivants :
 Deux ouvriers au convertisseur ;
 Un aide au cubilot ;

- Un chargeur au cubilot ;
- Trois rouleurs de charges au cubilot ;
- Un ouvrier pour surveiller les ventilateurs et autres appareils ;
- Un ouvrier pour faire les charges additionnelles ;
- Un ouvrier au four à creusets ;
- Deux ouvriers pour l'entretien, la réparation et la manœuvre des poches ;
- Un ouvrier à la grue pivotante et moitié des salaires de l'ouvrier du pont roulant ;
- Un opérateur.

On remarquera que l'on emploie, pour les trois jours de travail du convertisseur, le même nombre d'ouvriers que dans le cas d'une installation double, à l'exception du nombre de rouleurs de charge et des ouvriers occupés à la manœuvre des poches. Cette diminution du nombre de ces ouvriers est d'autant plus possible, que les premiers peuvent mettre en stock un certain nombre de charges près du cubilot pendant les jours où l'on ne travaille pas, tandis que les autres disposent, les mêmes jours, de beaucoup plus de temps pour faire leur entretien et leurs réparations des poches, que lorsque l'usine est en fonctionnement.

D'ailleurs, le travail intermittent d'une entreprise quelconque augmente toujours les frais de main-d'œuvre. Au lieu de réparer le convertisseur et le cubilot pendant la nuit, comme c'est le cas dans un atelier double ou même encore plus important, ce travail se fait de jour par les ouvriers chargés du service du cubilot et du convertisseur. Pendant ce temps, les autres ouvriers travaillent à la fonderie, mais les salaires ne sont pas alors réguliers, car il est difficile d'occuper à des travaux peu importants et sans valeur, des ouvriers fortement salariés.

Salaires payés chaque semaine par l'atelier du convertisseur.	529,62 fr.
Acier fabriqué en une semaine.	84 tonnes.
Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier =	$\frac{529,62}{84} = 6,30$ fr.

A ce prix, il faut ajouter 50 p. 100, représentant les appointements du chimiste et du directeur = 3,15. D'où :

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 9,45 fr.

Prix de la force motrice. — En supposant que, comme précédemment, le prix du courant pris au tableau de distribution est de 0,052 fr.¹ l'unité, le prix de la force motrice est le suivant :

Courant consommé par semaine y compris la consommation du pont roulant électrique = 2 332 unités = 28 unités par tonne d'acier.

28 unités à 0,052 fr.	1,45 fr.
Combustible et eau pour la grue	0,21 —
Prix de la force motrice par tonne d'acier liquide .	<u>1,66 fr.</u>

¹ Nous maintenons le même prix, pour permettre de comparer entre eux, les prix de revient des 3 types d'atelier que nous étudions dans ce chapitre, mais il est bien évident que dans certaines fonderies, le courant employé est d'au moins un tiers plus élevé que celui que nous indiquons ici.

Prix des matières premières. — En supposant que le prix des matières premières soit le même que celui admis précédemment, et qu'elles soient employées en même proportion, la dépense totale de matières premières pour 84 tonnes d'acier liquide sera de 5 270,98 fr.

Prix des matières premières par tonne d'acier liquide = 92,90 fr.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 87 500 francs.	
Amortissements et intérêts	2,83 fr.
Entretien et approvisionnements	6,30 —
Combustible	5,67 —
Main-d'œuvre + 50 p. 100 de direction.	9,45 —
Force motrice.	1,66 —
Matières premières	92,90 —
Dépense totale par tonne d'acier liquide	118,91 fr.

Conclusions générales. — Dans les trois ateliers que nous venons d'étudier, le prix de l'acier liquide coulé dans la poche, est donc respectivement de

Atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes	113,13 fr.
— de 2 — de 2 —	116,78 —
— de 1 — de 2 —	118,91 —

On remarquera que l'économie, sur le prix de la tonne d'acier liquide, fabriquée dans un atelier de 4 convertisseurs, n'est pas très grande par rapport à celui de l'acier fabriqué, dans un atelier de 2 convertisseurs puisque, dans chaque atelier la production de chaque convertisseur reste la même. Le principal avantage des grands ateliers, se trouve dans la diminution du prix de la main-d'œuvre, ainsi que sur une petite économie du prix de l'entretien, du combustible et de la force motrice.

Pour comparer les prix de chacun des trois ateliers, le prix de l'acier fabriqué est basé sur une production semblable de chaque convertisseur. Il en est de même pour le prix des matières premières et des mélanges. On peut considérer que quatorze soufflages par jour, pendant une année, est un excellent rendement pour un convertisseur. Malheureusement, la plupart des fonderies d'acier ne sont pas favorisées toute l'année, par des commandes qui leur permettent de travailler aussi régulièrement. Le plus souvent, elles ont trop de commandes d'un seul coup pour livrer des marchandises conformes aux désirs de l'acheteur, ou elles doivent telle-ment « tirer sur la corde », qu'elles sont obligées d'arrêter l'aciérie un jour par semaine.

Lorsqu'une fonderie est très pressée, il est possible de faire 18 soufflages par jour avec chaque convertisseur, mais ce procédé nécessite l'obligation de faire faire des heures supplémentaires, aux ouvriers des cubilots et des convertisseurs. De plus, le revêtement des convertisseurs est également fort endommagé et comme il faut faire les réparations plus rapidement, elles sont moins résistantes de sorte que l'on diminue la durée du revêtement et des tuyères. L'économie réalisée par une surproduction

obtenue dans de telles conditions n'est pas toujours appréciable sur le prix de revient de la tonne d'acier coulé dans la poche quoique dans d'autres cas la production rapide procure toujours des avantages.

Comparaison des prix. — Ci-dessous nous faisons une comparaison du prix réalisé par chacun des trois types d'atelier faisant 10 soufflages par jour au lieu de 14. Pour cette comparaison on a appliqué les mêmes prix de matières premières, d'approvisionnement et de main-d'œuvre.

Atelier de 4 convertisseurs de 2 tonnes.

Prix de l'installation : 250 000 francs.

	14 soufflages par jour.	10 soufflages par jour.
Amortissements et intérêts	2,16	2,83
Entretien et approvisionnements	5,04	6,30
Combustible	4,99	5,67
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction .	6,49	8,24
Force motrice	1,55	1,68
Matières premières	92,90	92,90
Total	113,13	117,62

Atelier de 2 convertisseurs de 2 tonnes.

Prix de l'installation : 150 000 francs.

	14 soufflages par jour.	10 soufflages. par jour.
Amortissements et intérêts	2,66	3,15
Entretien et approvisionnements	5,67	6,93
Combustible	5,67	5,98
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction .	8,27	9,97
Force motrice	1,61	1,68
Matières premières	92,90	92,90
Total	116,78	120,61

Atelier de 1 convertisseur de 2 tonnes.

Prix de l'installation : 87 500 francs.

	14 soufflages par jour.	10 soufflages par jour.
Amortissements et intérêts	2,83	4,09
Entretien et approvisionnements	6,30	7,24
Combustible	5,67	5,98
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction .	9,45	11,36
Force motrice	1,66	1,73
Matières premières	92,90	92,90
Total	118,91	123,30

CHAPITRE XXII

ATELIER DE CONVERTISSEURS POUR PETITES FONDERIES

Les ateliers Bessemer de petite capacité, sont devenus rapidement très populaires, dans les petites fonderies d'acier et de fonte malléable, aussi bien que dans les usines plus importantes, ayant besoin de beaucoup de petits moulages en acier. Le prix de l'acier fabriqué dans ces petits ateliers, est considérablement plus élevé que celui de l'acier fabriqué dans les convertisseurs de 2 ou 3 tonnes, mais leur aptitude à faire les petits moulages que l'on serait obligé de commander ailleurs, et qui seraient peut-être défectueux, constitue pour beaucoup d'usiniens un argument en faveur de leur installation.

Le convertisseur d'une demi-tonne, quelquefois désigné sous le nom de convertisseur « bébé », se trouve généralement installé chez les usiniens désignés ci-dessus et quelquefois aussi, dans de plus grandes fonderies comme accessoire de leur grand atelier. On en trouve, dans plusieurs fonderies, dont les dimensions sont comprises entre celles du convertisseur d'une demi-tonne et de 2 tonnes.

Atelier de convertisseur de 1 tonne, soufflé à la surface.

Description générale. — Ces ateliers sont conçus et construits d'après la méthode représentée par la figure 114, le cubilot étant placé sur une plate-forme surélevée, disposée derrière le convertisseur, ou d'après la méthode représentée par la figure 115, où le cubilot et le convertisseur sont situés au même niveau. Cette dernière méthode n'est pas la moins commune, car elle est très en faveur dans les fonderies américaines, ainsi que dans celles du continent et de l'Angleterre. Le choix de la disposition de l'atelier est souvent déterminé par les conditions d'installation de la fonderie et de la région où elle est située. Lorsque le cubilot peut être surélevé, il est plus facile d'écouler directement le métal fondu dans le convertisseur à l'aide d'une rigole, ou comme cela se fait dans les installations modernes, après l'avoir pesé sur la plate-forme. Si, au contraire, le cubilot est directement construit sur le sol de l'atelier, il faut couler le métal dans une poche et vider ensuite celle-ci dans le convertisseur. Il s'en suit naturellement, que le prix initial du premier type d'atelier sera moindre, quoique le prix de l'acier produit dans les deux cas, soit approximativement le même.

Comme variante des dessins représentés par les figures 114 et 115, le ventilateur à haute pression peut être arrangé pour servir, à la fois, le convertisseur et le cubilot, au moyen d'un tuyau fixé sur la conduite principale de vent, et allant au cubilot comme le représente la figure 116, p. 281. Cette manière de faire n'est cependant pas utile, car le plus long

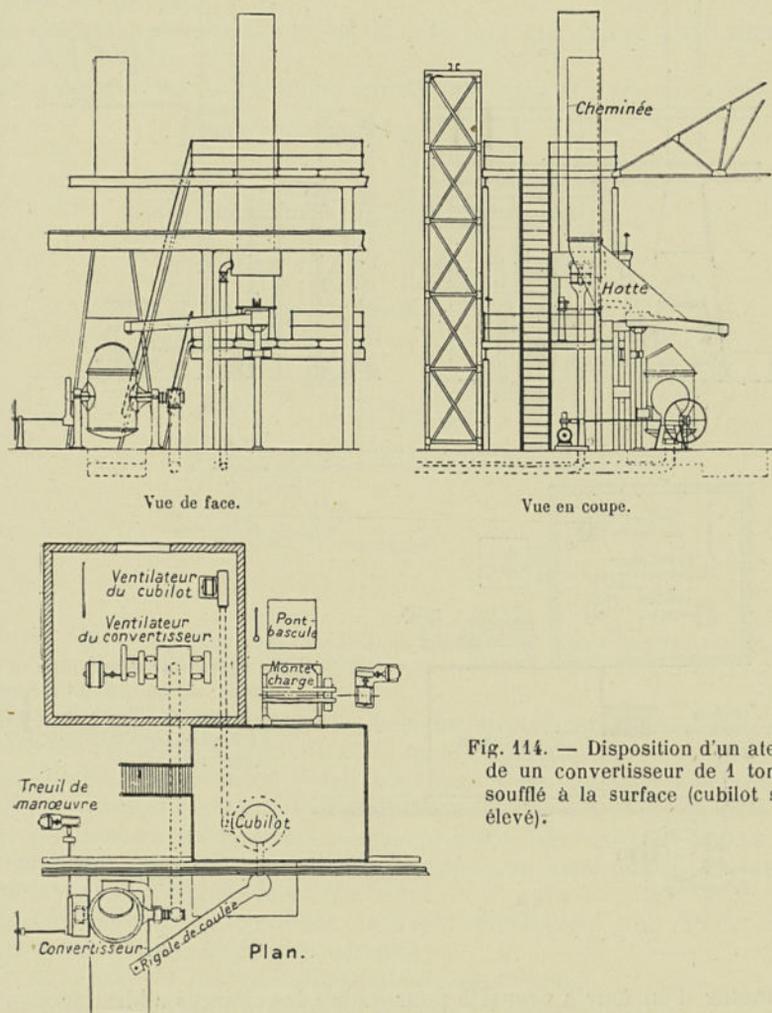


Fig. 114. — Disposition d'un atelier de un convertisseur de 1 tonne, soufflé à la surface (cubilot sur-élevé).

soufflage est celui du ventilateur à basse pression, pendant le temps que l'on fabrique l'acier. Dans les deux types d'installation, les convertisseurs sont manœuvrés au moyen d'un moteur électrique. Quand on ne dispose pas de force électrique, on peut employer un appareil hydraulique.

Quelquefois les ventilateurs sont actionnés par une machine à vapeur au lieu d'être actionnés par un moteur électrique. Il n'est pas rare également, d'employer la vapeur dans les fonderies d'acier, au fonctionnement

des monte-charges concurremment à la force hydraulique. Le mode de fonctionnement de ces appareils se faisant selon les besoins dont on dispose, mais en général il y a tendance à les faire fonctionner électriquement. Quoiqu'il ne soit pas représenté sur les figures, chaque installation

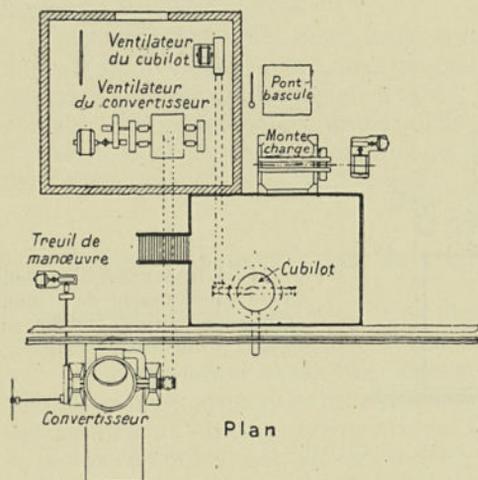
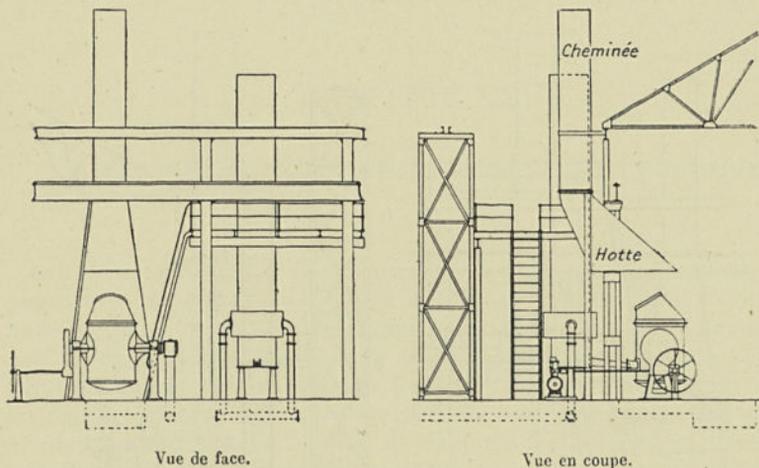


Fig. 115. — Disposition d'un atelier de un convertisseur de 1 tonne, soufflé à la surface (cubilot et convertisseur sur le même niveau).

est munie d'un four à creusets pour fondre les charges additionnelles et dont le prix figure dans le devis d'installation.

Fonctionnement de l'atelier. — L'atelier travaille un jour sur deux, car les réparations du convertisseur et du cubilot se font le lendemain du jour où ils ont travaillé. La marche de l'opération dans un atelier d'un convertisseur de 1 tonne, est la même que dans les ateliers plus importants. Nous l'avons décrite au Chapitre xx. Cependant, la durée moyenne du soufflage, est généralement moins longue.

Production et prix de l'installation. — La production maximum moyenne, de l'une ou l'autre des installations représentées par les figures 114 et 115, est de 14 soufflages de 1 tonne chacun, par journée de dix heures.

Cette production correspond à une fabrication de 42 tonnes d'acier liquide par semaine, soit approximativement 2 000 tonnes par année de 48 semaines de travail.

Le matériel suivant est compris dans le prix qui s'élève approximativement à 48 750 francs.

Un convertisseur de 1 tonne monté sur support avec dispositif de

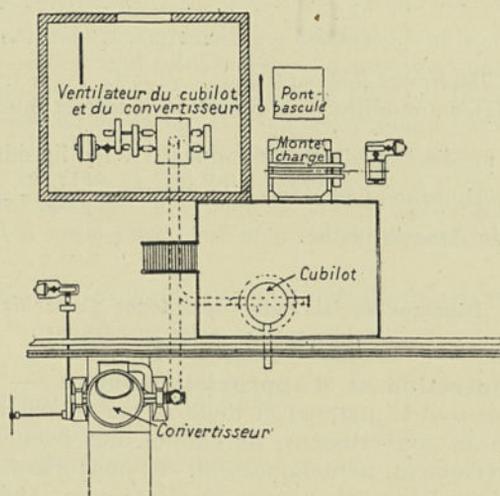


Fig. 116. — Disposition d'un atelier de un convertisseur de 1 tonne, soufflé à la surface. La même soufflerie servant au convertisseur et au cubilot.

manœuvre fonctionnant suivant les besoins, électriquement ou à la main, et tous les appareils de contrôle et de mise en marche ;

Un cubilot d'un dessin spécial, pour fusion rapide, avec tuyauterie, robinets-valves et manomètres de pression ;

Un ventilateur système Roots, à haute pression, pour envoyer le vent au convertisseur, avec toute la tuyauterie nécessaire ainsi que les robinets, le moteur et tout l'équipement électrique.

Un ventilateur pour le cubilot, accouplé directement à un moteur ;

Un pont-basculé électrique complet ;

Un pont-basculé pour peser les matières premières ;

Une plate-forme pour le cubilot et toutes les charpentes ;

Une hotte et une cheminée pour le cubilot ;

Un four à creusets, chauffé au coke, avec un laboratoire de 4 creusets ;

Un pont roulant électrique (moitié de sa valeur) ;

Trois poches de 200 kilogrammes ;

Un bâtiment pour les ventilateurs avec tableau de distribution et équipement électrique ;

Tous les câbles, appareils de manœuvre et accessoires électriques ;

Toutes les tuyauteries, outils, wagonnets à coke et à scories, etc. ;

Toutes les maçonneries, fondations, fosses, revêtements des convertisseurs, cubilots et poches ;

Bref l'usine toute montée et prête à fonctionner.

En admettant un amortissement de 10 p. 100 sur le matériel, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations, le taux annuel d'amortissement est de :

41 250 francs à 10 p. 100.	4 125 fr.
2 500 — à 5 —	125 —
5 000 — à 2½ —	125 —
Total.	<u>4 375 fr.</u>

Intérêt de 48 750 francs à 50 p. 100 2 437,50 fr.
 Dépenses totales annuelles pour amortissements et intérêts. 6 812,50 fr.

Pour une production de 2 000 tonnes d'acier liquide par an, le taux annuel d'amortissement et d'intérêts est de $\frac{6\,812,50}{2\,000} = 3,40$ par tonne d'acier liquide dans la poche.

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Frais d'entretien et d'approvisionnement. — L'entretien comprend celui de tout le matériel et toute la main-d'œuvre employée pour la réparation du convertisseur, du cubilot, des poches, des rigoles de coulée, le revêtement, périodiquement, du convertisseur et du cubilot, toutes les réparations mécaniques et électriques, enfin tous les outils utilisés. L'approvisionnement comprend tout les matériaux employés.

Les frais moyens d'entretien et d'approvisionnement, y compris la main-d'œuvre et les matériaux est de 9,45 fr. par tonne d'acier liquide.

Prix du combustible. — Le poids moyen de coke employé pour le chauffage du cubilot, du convertisseur, du four à creusets et pour la fusion des charges additionnelles est de 254 kilogrammes par tonne. En admettant que le prix du coke soit de 28,35 fr. la tonne, le prix du combustible par tonne d'acier liquide est donc de 7,09 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — On emploie les ouvriers suivants :

Un ouvrier au convertisseur ;

Un ouvrier et un aide au cubilot et au ventilateur ;

Un chargeur pour le cubilot ;

Deux rouleurs de charges ;

Un ouvrier au four à creusets ;

Deux ouvriers pour les poches ;

Un opérateur ;

Une partie du salaire de l'ouvrier chargé de la manœuvre du pont roulant.

Salaires totaux pour le temps employé en une semaine = 271,12 fr.

Acier fabriqué durant la même période = 42 tonnes.

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 6,45 fr.

En ajoutant 50 p. 100 de cette somme pour les émoluments du chimiste et du directeur soit 3,22 fr., le prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide est donc de 9,67 fr.

Prix de la force motrice. — En payant le courant 0,052 fr. l'unité au tableau de distribution, ce prix se décompose comme suit :

Courant consommé pendant la semaine : 1 344 unités.

$$\text{Prix de la force motrice} = \frac{1\,344 \times 0,052}{42} = 1,66 \text{ fr.}$$

Prix des matières premières. — En admettant le même prix pour les matières premières que celui que nous avons précédemment indiqué, et en employant les mêmes proportions, le prix par tonne d'acier coulé dans la poche sera de 92,90 kg. Il ne faut cependant pas oublier, que les fontes et les scraps ne peuvent pas être vendues au même prix, en petites quantités qu'en grandes, et que dans les fonderies où les voies ferrées ne peuvent conduire les matériaux jusqu'au parc de déchargement, le prix de ces matériaux est nécessairement plus élevé, par suite d'un supplément de manœuvre.

Pour permettre la comparaison nous admettons néanmoins le même prix.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 48 750 francs.

Amortissements et intérêts	3,40 fr.
Entretien et approvisionnements	9,45 —
Combustible	7,09 —
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction	9,67 —
Force motrice	1,66 —
Matières premières	92,90 —
Dépense totale par tonne d'acier liquide	124,17 fr.

PRIX AVEC PRODUCTIONS VARIABLES

Le tableau suivant, donne les prix par tonne d'acier liquide, quand l'atelier précédent fait 14, 10 et 6 soufflages chaque deux jours et produit par conséquent 42, 30 et 18 tonnes d'acier par semaine.

	14 SOUFLAGES	10 SOUFLAGES	6 SOUFLAGES
	francs.	francs.	francs.
Prix de l'installation : 48 750 francs.			
Amortissements et intérêts	3,40	4,77	7,98
Entretien et approvisionnements	9,45	10,71	11,99
Combustible	7,09	7,56	8,19
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction	9,67	11,36	13,88
Force motrice	1,66	1,89	2,10
Matières premières	92,90	92,90	92,90
Prix de la tonne d'acier liquide.	124,17	129,19	137,04

Petits convertisseurs Bessemer. Pratique allemande.

DÉPENSES DE FABRICATION

M. F. Gebauer, de Berlin, a donné les particularités suivantes obtenues d'après la pratique allemande. On remarquera que les prix des matières premières ne sont pas les mêmes que ceux que nous avons admis dans nos précédents calculs. Comme de plus, il examine la production journalière et non la production par semaine, il s'en suit qu'il ne tient pas compte de toutes les dépenses. Voici ci-dessous les indications données :

	kilogrammes.	
Tonnage du cubilot et du convertisseur	20 313	
Production : 12 charges de 1 372 kilogrammes	16 452	
Perte et déchets du cubilot et du convertisseur	3 859 (19 p. 100).	
	kilogrammes.	francs.
17 265 de fonte à 88,20 fr. la tonne		1 522,77
2 743 de scrap d'acier à 63 francs la tonne		172,81
305 { ferro-manganèse à 220,5 fr. la tonne		67,25
{ ferro-silicium à 126 fr. la tonne		38,43
244 de coke (12 p. 100 de la charge)	} à 27,72 fr. la tonne.	20,84
508 de coke pour le chauffage du convertisseur.		
<hr/>		<hr/>
20 313		1 822,10
		francs.
Force électrique pour le convertisseur à 3,15 fr. par charge		37,84
Force électrique pour le cubilot		7,56
Réparation du convertisseur		32,78
Salaires : 1 surveillant		12,62
1 fondeur au cubilot		6,30
1 manœuvre au cubilot		5,04
2 manœuvres au convertisseur		10,08
1 manœuvre au convertisseur (manœuvre inexpérimenté)		3,78
1 manœuvre au convertisseur (frappeur)		5,04
2 hommes pour conduire la fonte		10,08
1 homme pour conduire le coke		5,04
1 machiniste		5,04
1 maçon		5,04
5 p. 100 d'intérêt et 10 p. 100 d'amortissements sur 2 000 charges		56,74
		<hr/>
Report		203,04
		<hr/>
Prix de 16 452 kilogrammes d'acier fondu		2 025,14
Prix par tonne d'acier fondu = 124,74 fr.		

Convertisseur Zenzes de 1 tonne. — Avec un atelier d'un convertisseur Bessemer de 1 tonne, soufflé à la surface, modifié suivant sa méthode, M. A. Zenzes estime¹ que le prix de l'acier coulé dans la poche est le suivant, en se basant sur une production de 5 soufflages par jour et en travaillant trois jours par semaine.

Matières premières :

tonnes.		francs.
10,5	de fonte hématite à 100,88 fr. la tonne	1 059,24
4,5	de scraps d'acier à 75,66 — —	340,47
<u>15,0</u>		<u>1 399,71</u>
2,7	de perte au cubilot et au convertisseur = 18 p. 100.	

Soit : 12,3 d'acier liquide dans le convertisseur.

Combustible employé :

1,1	de coke pour le chauffage du cubilot.	}
1,1	— — — — — du convertisseur et	
	des poches.	
1,5	de coke pour la fusion dans le cubilot (10 p. 100	}
	de la charge).	
<u>3,7</u>	de coke à 30,24 fr. la tonne.	111,89
0,03	de calcaire par tonne de charge.	6,30
0,615	pour les additions de fonte	69,80
0,125	de ferro-manganèse	31,52

Force motrice :

Dépense en force motrice pour souffler dans le convertisseur	37,84
Dépense en force motrice pour souffler dans le cubilot.	9,45
Réparations du cubilot et du convertisseur.	31,52
Salaires du contremaître et des ouvriers.	37,84
Dépenses totales	<u>1 733,87</u>

Poids total d'acier dans la poche = 13,04 t.

Prix par tonne d'acier liquide = 133,13 fr.

Dans le prix ci-dessus, les frais d'amortissement de l'installation et les intérêts du capital ne sont pas comptés.

Atelier de convertisseur d'une demi-tonne, soufflé à la surface.

Description générale. — Dans les petits ateliers utilisant des convertisseurs « bébé », à cause de leurs petites dimensions, on retrouve les mêmes faits que dans les ateliers plus conséquents. Le convertisseur est placé sur des supports et la manœuvre se fait au moyen d'une roue à main actionnant les engrenages au lieu de se faire soit hydrauliquement, soit électriquement, quoique cependant dans certains cas elle se fait au moyen

¹ Foundry Trade Journal, 1911, p. 700.

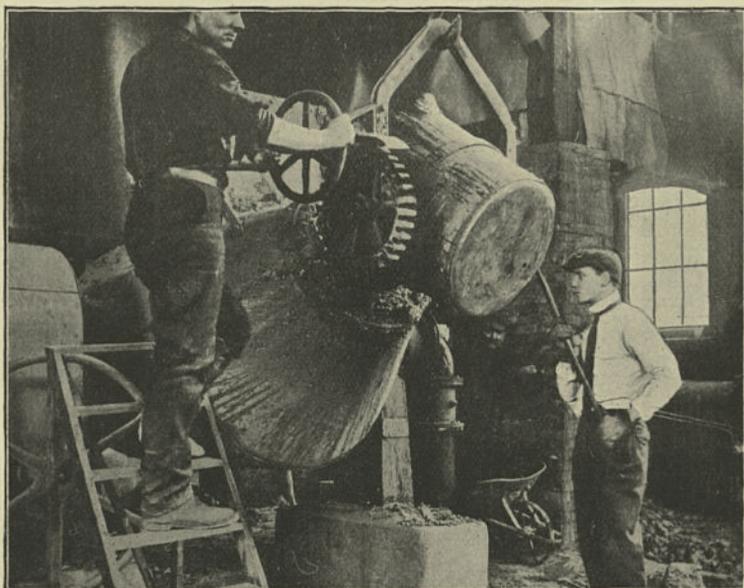


Fig. 117. — Convertisseur Tropenas d'une 1/2 tonne, en chargement.

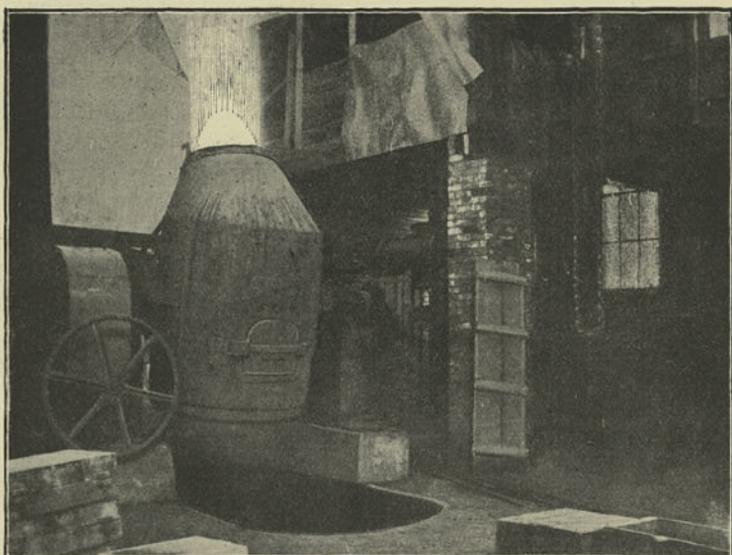


Fig. 118. — Convertisseur Tropenas de 1/2 tonne, pendant le soufflage.

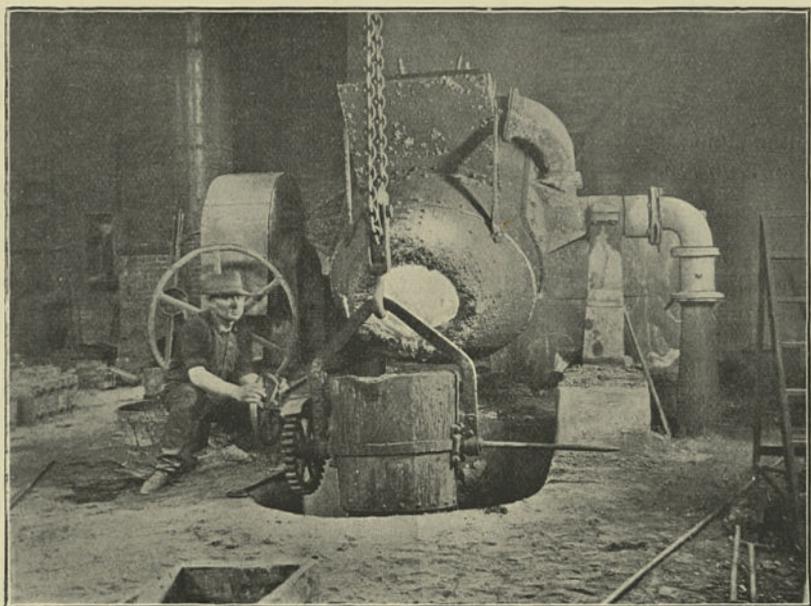


Fig. 119. — Convertisseur Tropenas de 1/2 tonne. Coulée de la charge dans une grosse poche.

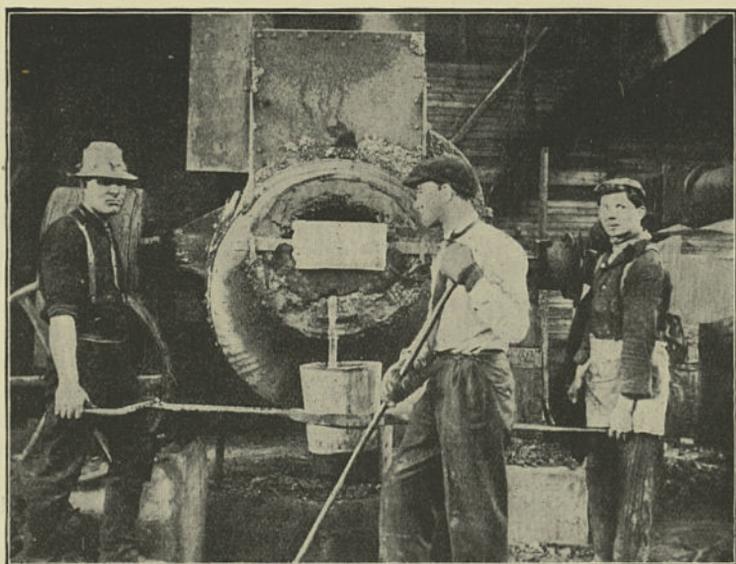


Fig. 120. — Convertisseur Tropenas de 1/2 tonne. Coulée de la charge dans une poche à main.

d'un moteur. Les convertisseurs sont si petits que l'on peut les enlever de leurs supports après la fin du soufflage et en verser directement le contenu dans les moules. Toutefois, cette façon d'opérer n'est pas courante, à moins que le pont roulant soit suffisamment fort pour enlever le convertisseur et sa charge. Le plus généralement, on coule le métal dans des poches à main et dans ce cas il n'est pas nécessaire de disposer d'un pont roulant. Le cubilot pour fondre la fonte est placé soit au même niveau que le convertisseur (c'est la disposition la plus généralement employée), soit sur une plate-forme. Le petit ventilateur à haute pression pour le convertisseur et celui du cubilot, sont du type ordinaire, précédemment décrit. Ils sont généralement placés aussi près que possible du convertisseur et du cubilot.

Marche de l'atelier. — Les figures 117, 118, 119 et 120, représentent les photographies d'une opération avec un convertisseur Tropenas d'une demi-tonne. La figure 117, montre comment on introduit la charge de la poche dans le convertisseur.

Le pont roulant est employé pour conduire la fonte liquide dans le convertisseur. La figure 118, représente le convertisseur pendant le soufflage, lequel demande de dix à vingt minutes, selon la température et la nature de la fonte employée. Les figures 119 et 120, représentent les deux méthodes employées pour la coulée de la charge du convertisseur. Dans l'une, la poche est suspendue au pont roulant et prend la totalité de la charge, tandis que dans l'autre, on la coule par portions dans de petites poches à main. Sur la figure 120, on remarquera que l'ouverture de la cornue est presque entièrement bouchée avec du ganister, maintenu en place au moyen d'une plaque et d'une barre transversale, l'acier s'écoulant dans les poches par une petite ouverture. Ce dispositif a pour but d'empêcher les scories de s'écouler en même temps que le métal, et de permettre aux ouvriers d'approcher les poches contre l'orifice de la cornue.

Production et prix de l'installation. — La production d'un atelier disposant d'un convertisseur d'une demi-tonne, analogue à celui que nous représentons, est de 12 soufflages par journée de dix heures. En travaillant tous les deux jours, on produit donc 18 tonnes d'acier par semaine, soit 864 tonnes par an.

Le prix approximatif de cette installation est de 27500 francs. Elle comprend le matériel suivant :

Un convertisseur avec supports et paliers, muni d'un dispositif de manœuvre à la main ;

Un ventilateur à haute pression, pour le soufflage dans le convertisseur, directement accouplé à un moteur électrique. Toutes les tuyauteries et robinets entre le ventilateur et le convertisseur ;

Un cubilot de construction spéciale, pour la fusion de la fonte et des scraps d'acier ;

Un ventilateur pour le cubilot, actionné par un moteur ;

Un four à creusets, chauffé au coke, avec laboratoire pour 2 creusets, pour la fusion des additions finales ;

Une bascule pour peser les charges ;
 Deux poches de 760 kilogrammes ;
 Un pont roulant électrique (moitié prix) ;
 Une hotte et une cheminée, pour le convertisseur ;
 Toutes les charpentes y compris la plate-forme du cubilot et la toiture ;
 Un bâtiment pour les ventilateurs avec l'équipement nécessaire ;
 Toutes les tuyauteries, les robinets et l'équipement électrique ;
 Toutes les maçonneries, les fondations, les puits, les revêtements du convertisseur et du cubilot ;
 Bref l'atelier tout installé et prêt à fonctionner.

En admettant un amortissement de 10 p. 100 sur le matériel complet de l'aciérie, 5 p. 100 sur les bâtiments et 2,5 p. 100 sur les fondations, la dépense totale annuelle d'amortissement est de :

23 750 francs à 10 p. 100	2 375,00 fr.
1 250 — à 5 p. 100	62,50 —
2 500 — à 2 1/2 p. 100	62,50 —
Total	2 500,00 fr.
Intérêts de 27 500 francs à 5 p. 100	1 375,00 —
Dépenses annuelles totales	3 875,00 fr.

Pour une production annuelle de 864 tonnes d'acier liquide, les frais d'amortissement et d'intérêts sont donc de $\frac{3\ 875}{864} = 4,48$ fr. par tonne d'acier liquide.

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide pour moulages en acier au carbone).

Frais d'entretien et d'approvisionnements. — Les revêtements de ces petits convertisseurs sont faits, quelquefois, avec une composition, de sable très réfractaire, aussi n'est-il pas certain que les frais de réparations soient moindres. Le prix ci-dessous, est basé sur l'emploi d'un revêtement en briques de silice, réparé avec le ganister habituel. Nous y comprenons également toutes les réparations du cubilot, du convertisseur, du four à creusets et des poches, ainsi que les réparations mécaniques et électriques avec, bien entendu, les approvisionnements. Le prix d'entretien et d'approvisionnement est de 10,71 fr. par tonne d'acier liquide.

Prix du combustible. — Le poids moyen de coke employé pour le chauffage du cubilot, du convertisseur et du four à creusets, ainsi que le coke destiné à la fusion des matériaux est de 280 kilogrammes par tonne d'acier. En supposant que le prix du coke soit de 28,35 fr. la tonne, la dépense de combustible par tonne d'acier sera de 7,77 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — La main-d'œuvre comprend les ouvriers suivants :

Un ouvrier au convertisseur ;
 Un ouvrier au cubilot ;

Un rouleur de charges ;
 Deux ouvriers aux poches et au four à creusets ;
 Un opérateur ;
 Une partie du salaire de l'ouvrier chargé de la manœuvre du pont roulant.
 Salaires totaux payés pour le temps employé pendant la semaine =
 181,58 fr.

Acier fabriqué pendant le même temps pendant la semaine =
 18 tonnes.

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier liquide = 10 francs.

En ajoutant 50 p. 100 pour les appointements du chimiste et du directeur, le prix total de la main-d'œuvre par tonne d'acier est donc de 15 francs.

Prix de la force motrice. — En supposant que le courant soit payé 0,052 fr. l'unité, au tableau de distribution, le prix de la force motrice sera le suivant :

Courant consommé pendant la semaine, 600 unités = 1,78 fr. par tonne d'acier.

Prix des matières premières. — En supposant une perte de 18 p. 100 pendant la fusion et la transformation, et le prix des fontes à 81,90 fr. et les scraps à 63 francs la tonne, la dépense en matières premières et en matériaux d'additions, par tonne d'acier liquide coulé dans la poche, en supposant qu'il y ait 30 p. 100 de scraps dans la charge, sera de 97,73 fr.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 27 500 francs.

Amortissements et intérêts	4,48 fr.
Entretien et approvisionnements	10,71 —
Combustible	7,77 —
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction	15,00 —
Force motrice	1,78 —
Matières premières	97,73 —

Dépense totale par tonne d'acier liquide 137,47 fr.

Atelier de convertisseur Tropenas « Bébé ».

Prix de l'acier par tonne. — Les prix suivants, ont été communiqués par la « Tropenas Converter Co » New-York, et sont ceux d'un convertisseur de 453^k,4 de capacité, travaillant deux jours seulement par semaine, et faisant 12 soufflages par jour. On n'emploie aucun four pour fondre les additions faites à la charge après les soufflages, celles-ci se faisant à l'état solide. C'est d'ailleurs la façon générale d'opérer dans cette région, lorsque l'on fait des aciers à faible teneur en carbone.

Cependant, il est indispensable de chauffer le ferro-manganèse avant de l'introduire dans la charge, car on risquerait de trop abaisser la température de l'acier.

La fonte employée répond à la composition chimique suivante :

Carbone	3,8 à 4,5	p. 100.	
Silicium	0,5 à 2,0	—	
Manganèse.	1,8 à 3,0	—	
Phosphore	0,06	—	
Soufre	0,05	—	(maximum).

Dépenses de fabrication :

	francs.
4 398 kilogrammes de fonte à 110,25 fr. la tonne . . .	484,88
2 222 — de scraps d'acier à 78,75 fr. la tonne.	174,98
952 — de coke pour le cubilot à 21 francs la tonne	199,92
281 — de calcaire à 13,14 fr. la tonne	3,69
2 ouvriers au cubilot.	21,02
10 H. P. pour la ventilation du cubilot à 0,26 fr. le kilowatt-heure.	9,97
136 kilogrammes de coke pour le convertisseur . . .	3,15
30 H. P. pendant trois heures pour le soufflage du convertisseur à 0,26 fr. le kilowatt-heure	17,87
2 ouvriers au convertisseur.	23,64
662 kilogrammes de ferro-silicium à 146 francs la tonne.	96,65
98 kilogrammes de ferro-manganèse à 235,62 fr. la tonne.	25,48
Aluminium.	3,67
Revêtements du cubilot et du convertisseur	26,27
Force motrice pour l'élévateur et pour manœuvrer le cubilot.	5,77
Frais généraux de fabrication.	131,35
Total	<u>1 228,31</u>

Prix de l'acier liquide dans la poche : 173,49 fr. par tonne américaine (906^k,8) ou 194,83 fr. par tonne anglaise (1 015^k,6).

On remarquera que les prix par tonne, de fonte et de scraps, sont beaucoup plus élevés que les prix anglais, sur lesquels on a basé les autres prix de revient précédemment étudiés. Ces prix ne semblent pas, en outre, comprendre les frais d'amortissement de l'installation et les frais d'intérêts du capital.

Convertisseur breveté Stock, chauffé à l'huile lourde.

Description générale. — Le point caractéristique principal du convertisseur Stock, est que celui-ci peut être employé pour fondre la charge, au lieu de se servir d'un cubilot ou d'un four de fusion quelconque, puis d'être utilisé ensuite comme convertisseur, lorsque la charge est fondue, le vent étant chauffé par les gaz perdus du combustible employé pendant

la fusion. L'emploi de l'huile lourde, pour la fusion, est un perfectionnement important, car cela permet d'être certain que l'on n'introduit pas de

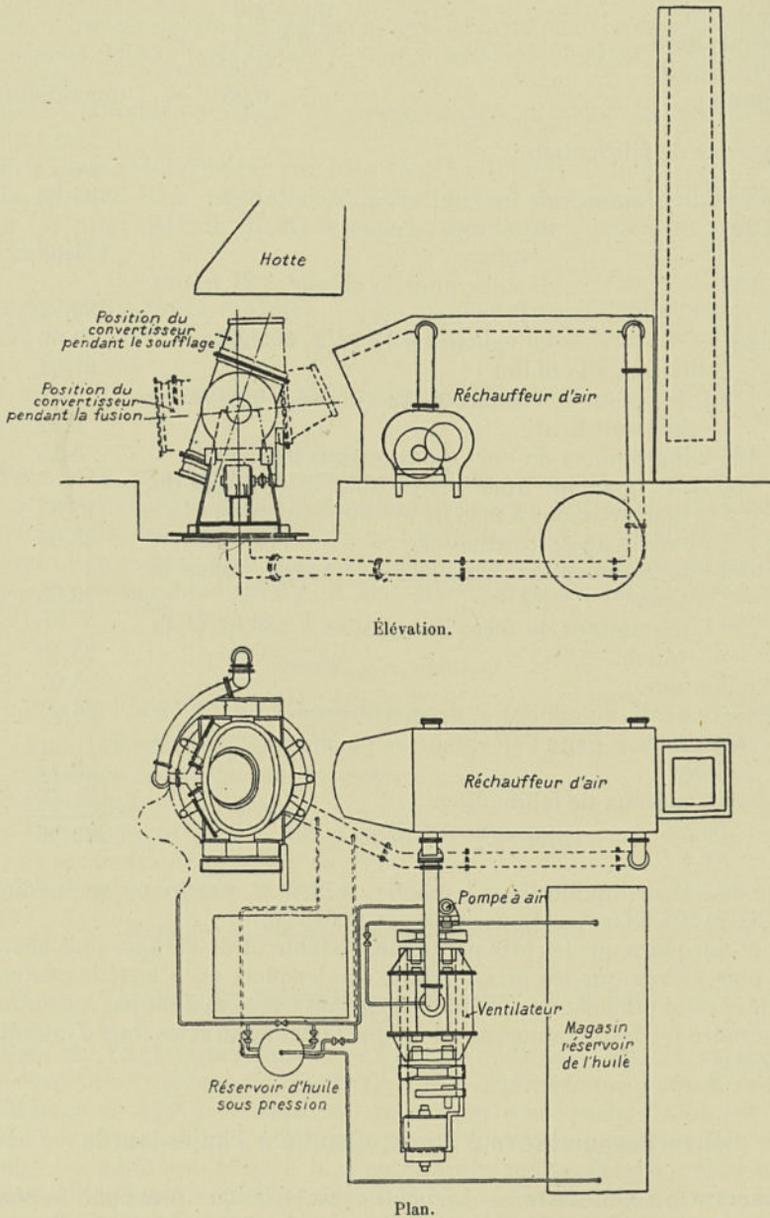


Fig. 121. — Disposition d'un atelier de convertisseur Stock.

soufre dans le métal fondu, comme c'est le cas quand on fond les fontes et les scraps dans un cubilot chauffé au coke.

L'installation se compose d'un convertisseur monté sur supports et paliers, avec un dispositif spécial, capable de l'amener non seulement dans la position horizontale, mais encore de le faire tourner dans un plan horizontal. Ces deux mouvements s'obtiennent au moyen de moteurs électriques qui actionnent des engrenages. Le convertisseur de 3 tonnes, a un seul rang de tuyères, au nombre de 7, ayant chacune 4 centimètres de diamètre. La boîte à vent est disposée d'une façon telle, que l'on peut placer les sept jets d'huile dans les tuyères, en moins d'une minute. Lorsque la fusion est complète, on les retire des tuyères, on bouche les orifices de la boîte à vent et l'on met le convertisseur en position de soufflage, en moins de deux minutes. Le convertisseur est garni comme d'habitude de briques de silice.

Une soufflante à haute pression, système Roots, est employée, pour fournir l'air nécessaire à la fusion et à la transformation. Elle est directement accouplée à un moteur électrique, monté dans le prolongement du bâti de la soufflante. Au lieu que la tuyauterie relie directement le ventilateur au convertisseur, elle communique directement à une des extrémités d'une série de tuyaux placés, dans une chambre en maçonnerie, qui reçoit la chaleur perdue du convertisseur pendant la fusion et qui vont de là dans la cheminée. L'autre extrémité est en communication directe avec le convertisseur.

Cette chambre de chauffage ressemble en quelque sorte à l'économiseur Green, avec cette seule différence que c'est de l'air au lieu de l'eau, qui parcourt les tuyaux. Les tuyaux de cette chambre et leurs joints, sont construits de façon à permettre la dilatation et la contraction dues aux changements de température.

Dans la partie de la chambre où pénètre le gaz, il y a une chicane en briques, de sorte que l'air qui se rend au convertisseur s'échauffe rapidement pendant son passage dans le réchauffeur. La température du vent, à son entrée au convertisseur, peut atteindre 260°C.

Dans la disposition¹ générale de l'installation, représentée par la figure 121, on remarquera que le réservoir d'huile est placé à proximité de la chambre des ventilateurs. Il est préférable de placer ce réservoir à proximité des voies pour permettre de faire facilement le remplissage. L'huile est amenée du réservoir jusqu'au convertisseur, au moyen de tuyaux flexibles, qui aboutissent aux brûleurs disposés dans la boîte à vent du convertisseur.

Les appareils de contrôle de l'électricité et du soufflage, sont placés dans la salle des ventilateurs, de sorte qu'il est facile à l'opérateur de suivre la marche du soufflage.

Marche de l'atelier.

Chauffage du convertisseur. — Puisque la fusion de la fonte et des scraps se fait dans le convertisseur, il est indispensable de chauffer la cornue avant d'y introduire ces matières premières. Cette opération se fait comme habituellement, en allumant un feu de bois et de coke jusqu'au moment où le revêtement de briques est bien chaud. Le coke est alors

¹ Publication gracieusement autorisée par M. M. Thwaites Bros. Ltd., Bradford.

enlevé, on met en place les jets d'huile et on commence le soufflage.

Pendant le chauffage on envoie l'air sous une pression de 35 grammes à 52 grammes par centimètre carré et elle dure environ une heure. Après une heure de chauffage, la température de la cornue est de 1 500 à 1 600°C. On consomme pendant cette heure de 227 à 250 litres d'huile environ. Pendant cette opération, le convertisseur est couché dans une position horizontale, et les gaz chauds qui s'échappent par son orifice sont envoyés dans la chambre de chauffage.

Chargement des matières premières. — Les matériaux sont chargés dans le convertisseur tandis qu'il est couché horizontalement, c'est-à-dire à angle droit par rapport à sa position de soufflage. On emploie trois hommes pour faire cette opération, un ouvrier conduit une enfourneuse, restant toujours fixée à la partie supérieure du convertisseur, et servant à pousser en avant les morceaux déposés à l'orifice par les deux autres ouvriers. Il faut environ six minutes pour charger 2 285 kilogrammes. Lorsque le chargement est terminé, on replace le convertisseur de façon à ce que son orifice soit bien en face de l'entrée du gaz, dans la chambre de chauffage, et la fusion commence.

Fusion. — Pendant la fusion, la pression de l'air est d'environ 52 grammes par centimètre carré et la quantité d'huile consommée, est environ de 136 litres, par tonne de métal fondu. Pendant cette opération, il est d'usage de faire osciller un peu la cornue pour examiner la charge et agiter le métal quand il commence à être fluide. Pour fondre 2 285 kilogrammes de fonte, il faut environ de une heure et demie à une heure trois quarts. Immédiatement après que la fusion est terminée, on retire les jets d'huile de l'intérieur de la boîte à vent, on remet les bouchons de la boîte à vent et l'on commence le soufflage. Ce changement se fait au maximum en deux minutes.

Soufflage. — Au début du soufflage, la pression de l'air est d'environ 176 grammes par centimètre carré et il faut attendre de huit à dix minutes, selon la température de la charge et sa composition, avant de voir apparaître l'éclair. L'oxydation du silicium, du manganèse et du carbone se fait de la manière habituelle, la pression variant entre 176 grammes et 246 grammes par centimètre carré jusqu'à la fin du soufflage. Cette opération demande de dix-huit à vingt-cinq minutes, temps après lequel on abaisse le convertisseur pour y ajouter les additions physiques en quantité, forme et composition voulues, selon la qualité de l'acier à obtenir.

Coulée. — L'acier est coulé dans une poche, suspendue aux griffes d'un pont roulant, et ensuite, si c'est nécessaire, dans des poches à main. D'une façon générale, sa température est égale à celle de l'acier au creuset employé pour faire les moulages d'acier les plus épais. Cette température est d'autant plus nécessaire, que les poches à main sont parfois transportées assez loin, et il faut que la température soit suffisante, tant que la coulée du moule n'est pas terminée.

Conclusions générales. — 1. En suivant les opérations de cet atelier,

depuis le commencement du chauffage de la cornue jusqu'à la coulée de l'acier fabriqué, on est frappé de la simplicité et de la rapidité du procédé ainsi que du peu de main-d'œuvre employée. La rapidité des mouvements du convertisseur vers l'horizontale ou la verticale, sous l'action des commandes électriques placées sous la main de l'opérateur, l'ébullition facile de la scorie pendant le soufflage, enfin l'aisance avec laquelle les trois ouvriers exécutent leur travail, font remarquer ce procédé.

2. Lorsque l'on emploie dans ce procédé, une fonte ayant la composition chimique suivante, on peut obtenir régulièrement, après recuit, un acier donnant de 28 à 30 tonnes de ténacité et 30 p. 100 d'allongement.

Carbone	3,5 à 4,0	p. 100.
Silicium	2,0 à 2,3	—
Manganèse	1,0 à 1,5	—
Phosphore	0,03 à 0,04	—
Soufre	0,03 à 0,04	—

3. La seule objection que l'on puisse faire pour l'adoption générale de ce procédé, se trouve dans le temps nécessité pour chaque opération. Cependant, dans les cas où il faudrait obtenir de grands rendements, on peut tourner cette difficulté en employant 2 et même 3 convertisseurs qui produiraient de 10 à 15 soufflages par jour, au lieu de 5, comme c'est le cas avec un seul convertisseur.

Production et prix de l'installation. (Convertisseur de 3 tonnes). — En employant un convertisseur de 3 tonnes et un convertisseur de rechange, pour alterner les jours de travail, on peut obtenir 52 tonnes d'acier liquide par semaine, en soufflant des charges de 2 tonnes.

Le prix de l'installation, comprenant le convertisseur monté sur sa table de rotation et actionné par des moteurs pour le faire tourner ou le faire basculer, le ventilateur avec son moteur et les tuyauteries, une cornue de rechange, le réservoir d'huile, la cheminée, la hotte, le pont-bascule et le pont roulant, est approximativement de 82 500 fr.

Bâtiments	12 500 —
Fondations	5 000 —
Total	<u>100 000 fr.</u>

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Frais d'amortissements à 10 p. 100, 5 p. 100 et $2\frac{1}{2}$ p. 100	fr.
et d'intérêts à 5 p. 100.	5,56
Entretien et approvisionnements.	11,36
Huile (184 litres à 0,31 fr. les 4,54 l.)	10,60
Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction.	5,67
Force motrice pour l'installation et le pont roulant (44 unités à 0,052)	2,31
Matières premières (fonte, 81,90 fr. par tonne et 20 p. 100 de scraps à 63 francs par tonne)	98,36
Droits d'invention	4,20
Dépense totale par tonne d'acier liquide	<u>138,06</u>

La figure 122 représente le chargement de la fonte dans un convertisseur Stock d'une demi-tonne.

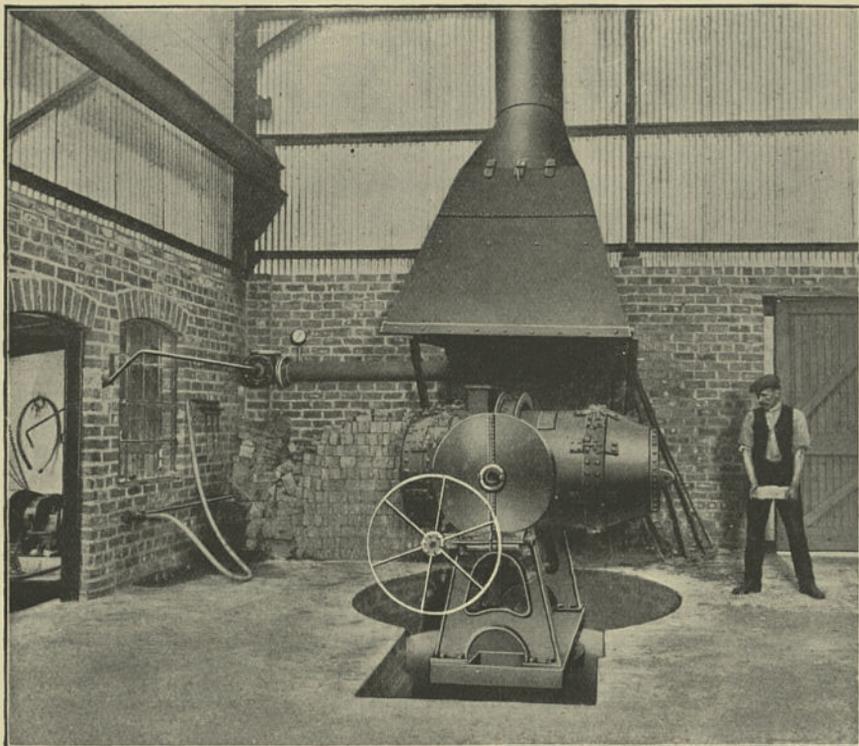


Fig. 122. — Chargement d'un convertisseur Stock d'une demi-tonne.

CHAPITRE XXIII

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ DANS LES ATELIERS DE PETITS CONVERTISSEURS BESSEMER

On fait régulièrement en Angleterre, en Allemagne, en France, en Belgique, en Amérique et dans d'autres pays, avec le métal des petits convertisseurs, des moulages en acier dont le poids peut varier de quelques centaines de grammes jusqu'à plusieurs tonnes. Le procédé permet d'obtenir un acier très chaud, remplissant aussi facilement que l'acier au creuset, les moulages aux dessins complexes ou de très petite épaisseur. Le nombre, sans cesse croissant, des petits ateliers, montre bien la facilité avec laquelle le métal obtenu se prête, non seulement à la fabrication des moulages en acier ordinaire, mais encore à ceux qui, il y a quelques années seulement, étaient considérés comme ne pouvant être faits qu'avec de l'acier au creuset.

Emploi des moulages en acier Bessemer. — Les petits convertisseurs Bessemer fabriquent l'acier pour les rails de chemin de fer et de tramways, les mines, les carrières, les houillères, la marine, l'hydraulique, la guerre, les constructions navales, l'électricité ; en un mot, pour tous les travaux de l'art de l'ingénieur. Il est bien difficile de dire qu'elle est la classe de moulages en acier (depuis le poids de quelques centaines de grammes jusqu'à celui de plusieurs tonnes) qui ne peut être fabriquée par le procédé Bessemer, soufflé à la surface.

Nous donnons ci-dessous, un classement indiquant les différentes sections dans lesquelles on put grouper les moulages en acier. Cette classification ne s'applique pas seulement aux aciers Bessemer obtenus dans les différents types d'atelier, mais aussi aux aciers des fours Martin et des fours électriques.

1. Moulages en acier ordinaire, auxquels se rattachent toutes les branches de l'art de l'ingénieur et dont on ne spécifie aucun essai autre que ceux habituels ;

Dans cette catégorie, il y a un grand nombre de moulages qui ne peuvent être travaillés, et ceux qui peuvent l'être, ne le sont que partiellement ;

2. Les moulages qui sont soumis à des essais spéciaux de résistance et d'usure, qui sont seulement travaillés à la surface, et qui doivent être sains, plutôt pour l'aspect que pour raison de sécurité ;

3. Les moulages soumis aux chocs et à l'usure par frottement ;

4. Les moulages soumis à des épreuves excessives de résistance et d'usure, mais donc l'aspect de leur surface n'a aucune importance ;

5. Les moulages, soumis à la pression, et qui doivent être sains pour être travaillés ;

6. Les moulages, destinés aux usages électriques, qui doivent être bien sains et très vigoureux ;

7. Les moulages devant répondre à des essais physiques et chimiques définis, selon les usages auxquels ils sont destinés.

Moulages rentrant dans ces différentes classes. — Les moulages de la première classe comprennent :

(a) Les wagons pour mines et houillères, brouettes, trucks, bogies et toutes les sortes de roues percées d'un trou dans lequel passe l'essieu ;

Elle comprend également tous les types de consoles, supports, paliers employés pour le halage dans les mines et les houillères ;

(b) Les crémaillères ordinaires, les consoles, les poulies, râtaeux, etc., employés dans l'industrie du gaz, des produits chimiques, et autres manufactures ;

(c) Les moulages destinés à la marine, à l'hydraulique, à la guerre, aux chemins de fer, et en général à tous les arts de l'ingénieur où tous ces aciers ne sont pas soumis à une résistance et une usure spéciales.

Les moulages de la deuxième catégorie comprennent :

Les gardes-corps, couvercles, consoles, bâtis de fondation.

Les moulages de la troisième catégorie comprennent :

Les engrenages de toutes sortes, les pignons de moulins qui reçoivent des chocs en tournant.

Les moulages de la quatrième catégorie comprennent :

(a) Toutes les parties soumises à l'usure, des broyeurs, estampeurs, concasseurs, dragueurs, et cribles employés dans les mines, carrières, dragages, fabriques de ciment, usines de broyage des scories d'aciéries, fabriques de matériaux réfractaires. D'autres appareils tels que mâchoires de concasseurs, joues de poulie, burin, coulisseau, emporte-pièce, sabots de roues, matrices, plaques d'usure et de crible, lames de tranchets, de couteaux, boulets, etc., et tous les matériaux qui demandent de la résistance et de la dureté ;

(b) Voies de chemins de fer et de tramways, rails spéciaux, croisements, etc.

Les moulages de la cinquième catégorie comprennent :

Les cylindres hydrauliques, les corps de pompe, les robinets-valves, les cylindres des machines à vapeur, à gaz, à air, etc.

Les moulages de la sixième catégorie comprennent :

Tous les moulages destinés aux usages électriques tels que bâtis de moteur, châssis, couvercles, etc.

Les moulages de la septième catégorie comprennent :

(a) Les roues de wagons et de tramways, poinçons, tampons, supports, châssis et autres pièces destinées aux locomotives et wagons ;

(b) Articulations pour les ponts, plaques de fondations et autres pièces de ponts soumises à la tension ;

TABLEAU LXII
Analyses des différents moulages d'acier.

CLASSES	C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.	Cr p. 100.	REMARQUES
Classe 1. Moulages ordinaires	0,4 - 0,45	0,3-0,4	0,75- 0,8	0,07	0,06		
— 2. — travaillés	0,3 - 0,35	0,5-0,6	0,8 - 0,9	0,06	0,05		
— 3. Engrenages légers	0,65-0,75	0,4-0,5	0,7 - 0,8	0,05	0,04		
— — — lourds	0,35-0,45	0,2-0,3	0,7 - 0,8	0,05	0,04		
— 4. Ecrasement et usure	1,0 - 1,25	0,2-0,3	10,0 - 12,0	0,06	0,05		
— — — — —	0,7 - 0,8	0,4-0,5	0,75- 0,85	0,06	0,05	0,5 1,0	
— 5. Moulages pour pression	0,4 - 0,6	0,4-0,6	0,8 - 0,9	0,06	0,05		
— 6. Usages électriques	0,1 - 0,2	0,1-0,3	0,2 - 0,4	0,06	0,05		
— 7. Moulages } reçus après } essais. } Moulages pour } surface d'u- } sure } Autres moula- } ges et moulages } pour roues. . . . }	0,35	0,4-0,45	0,75- 0,85	0,04	0,03		Spécification type pour moulages en acier de « l'Engineering Standards Committee. » Tension 35 tonnes, 10 p. 100, d'allongement Tension 26 tonnes, 15 p. 100, d'allongement
	0,2 - 0,25	0,2-0,25	0,5 - 0,6	0,04	0,03		

(c) Pièce d'usure du matériel des navires telles que ancres, pièce d'amarrage, etc.

(d) Moulage d'acier pour l'artillerie, châssis de canons, etc.

Analyses des moulages des diverses catégories. — Dans le tableau de la page précédente, nous donnons la composition analytique des aciers appartenant à chacune de ces catégories.

Cette table analytique, ne représente pas toutes les sortes d'acier, fabriquées par le fondeur d'acier. L'art du fondeur est de réduire autant que possible le nombre des sortes d'acier fabriquées, de façon à réduire au minimum les chances d'erreur tant sur les prix que sur la qualité.

Moulages livrés d'après spécification. — Toutes les catégories de moulages d'acier, à l'exception de ceux destinés aux usages électriques c'est-à-dire ceux de la classe 6 sont habituellement recuits. Quand il s'agit de moulages en acier au manganèse, ils sont traités spécialement. Les différentes sortes de moulages, livrées d'après spécification, aux ingénieurs et autres, sont trop nombreuses pour être énumérées et nous donnons dans la classe 7, deux analyses d'acier pour faire des pièces devant résister à l'usure et pour faire des moulages destinés aux locomotives et aux wagons. Le « British Engineering Standards Committee » a souvent essayé de réduire le nombre des spécifications exigées pour une même sorte d'acier, car très souvent les conditions de ces spécifications portent non seulement sur des points non essentiels, mais sont quelquefois si sévères qu'il est impossible de les réaliser. Certains fabricants d'acier se plaignent d'être obligés de faire des essais dont les conditions et les restrictions n'ont aucun sens commun, ni aucune signification pratique. Aussi refusent-ils de travailler ou indiquent des prix tels, qu'on ne peut leur confier la commande.

D'autres industriels tentent d'entreprendre le travail, mais en présence des difficultés ou même de l'impossibilité de le faire conformément aux essais demandés, emploient des procédés douteux pour faire néanmoins réceptionner leur livraison.

La liste suivante des spécifications, donnera une idée de la variation des essais demandés pour des aciers, destinés aux mêmes usages ou à des usages analogues (tableau p. 301).

Les barres d'essai sont quelquefois coulées séparément, mais avec le même métal provenant de la coulée des moulages. En général, cette façon d'opérer n'est autorisée que lorsque les moulages ne sont pas assez gros pour y prélever la barre d'essai.

Pour chaque moulage et pour chaque coulée, on prélève deux barres d'essai, l'une pour l'essai de tension, l'autre pour l'essai de pliage. Cependant on n'opère pas sur toutes ces barres d'essai et c'est l'ingénieur ou l'inspecteur chargé de la réception qui choisit celle à essayer. D'autre part, si les premiers essais donnent des résultats douteux, il reste suffisamment de barres pour les recommencer.

On ne spécifie pas souvent ensemble les essais physiques et l'analyse chimique, la plupart des ingénieurs se contentant d'indiquer, à côté des essais physiques, la teneur limite de soufre et de phosphore. Cette façon

TABLEAU LXII
Spécifications pour moulages d'acier.

COMPAGNIE	NATURE DES MOULAGES	TÉNACITÉ Tonnes par 6cm ²	ALLONGEMENT p. 100 sur 50 cm.	AUTRES CONDITIONS
G. C. Railway (1910)	Qualité A. Moulages avec sur- faces d'usure.	40 à 45	12	S et P = pas plus de 0,07 p. 100.
— (1910)	Qualité B. Autres moulages.	30 à 34	24 à 20	S et P = pas plus de 0,07 p. 100.
— (1910)	Moyeux de roues.	28	24	Courbe ronde sur 25 cm, courbe 90° sur barre de 62 cm.
Caledonian Railway (1910)	Moyeux de roues.	32	—	S et P = pas plus de 0,05 p. 100.
Central Argentine Railway (1914)	Roues pour trolley à rail.	34 à 38	6	Courbe de 90°.
G. W. Railway (1898)	Moulages loco.	28 à 34	20.	Courbe de 90° sur barre de 62 cm
— (1908)	Moyeux de roues de wagons et moulages ordinaires. Moulages importants en général et moyeux de roues de loco et de tenders.	26	15 sur 75 cm	sans craquelures. Essai à la bille sur les moyeux.
G. W. Railway (1908)	Moulages avec surfaces d'usure.	35	10 sur 75 cm	Courbe ronde sur 25 cm, 90° sur barre de 37 cm.
G. N. S. Railway	Rampe, double.	28 à 32	25	Courbe ronde sur 25°, 60° sur barre de 75 cm.
London County Council	Moyeux de roues.	30 à 37	40	Courbe de 60°, rayon 15 cm.
Midland Railway (1905)	Moyeux de roues.	28 à 34	20	S et P = pas plus de 0,5 p. 100.

d'opérer présente un avantage sensible car elle laisse au fabricant la liberté de choisir son acier, pourvu qu'il satisfasse aux essais physiques. Quant à la stipulation concernant le soufre et le phosphore, elle est nécessaire, car les proportions de ces éléments dans l'acier donnent une idée exacte de sa pureté.

La présence du cuivre dans l'acier est également préjudiciable, aussi doit-on indiquer la quantité de cet élément tolérée dans l'acier.

Composition des charges (Bessemer acide). — Dans les petits ateliers Bessemer, les charges se composent de fonte et de scraps d'acier, que l'on fond ensemble en proportions variables.

Avec une charge se composant seulement de fonte, il est indispensable d'employer des fontes pauvres en silicium, de façon que le métal sortant du cubilot et prêt à être versé dans le convertisseur contienne de 1,5 à 2 p. 100 de silicium. Dans les charges où l'on emploie beaucoup de scraps, il faut employer des fontes contenant 4 p. 100 de silicium et même davantage, afin d'obtenir suffisamment de silicium dans le métal avant le soufflage. Pour travailler économiquement, il est indispensable d'utiliser tous les scraps provenant de la fabrication des moulages de la fonderie, et dont la quantité varie de 20 à 40 p. 100 de l'acier total produit, selon la catégorie des moulages fabriqués. En général, il est à conseiller d'acheter d'autres scraps pour les mélanger à ceux de la fonderie et augmenter le pourcentage employé dans la charge, car cela réduit la quantité de fonte qui coûte habituellement plus cher que les scraps. Pour les moulages ordinaires de fonderie, non soumis aux essais, cette façon d'opérer est économique si les scraps ne sont pas trop souillés. Les vieux bouts de rails conviennent très bien, car on sait la quantité de soufre et de phosphore qu'ils contiennent ou on peut la connaître sans en augmenter le prix. Les scraps légers, ne sont pas si bons, et constituent quelquefois la source de beaucoup d'ennuis, de sorte que finalement, ils sont plus coûteux (quoique meilleur marché) que les scraps plus lourds.

Pour les moulages en acier faits sur spécification, il faut éviter d'employer dans les petits ateliers Bessemer, des scraps bon marché. Leur emploi dans le four Martin-Siemens est différent car pendant la fusion on peut faire, non seulement des analyses, mais encore des essais physiques ce qui n'est pas possible avec le procédé Bessemer.

Par le procédé Bessemer acide, il n'est pas possible d'éliminer pendant le procédé, le soufre et le phosphore contenus dans la charge, il est donc indispensable d'examiner soigneusement les matériaux employés, c'est-à-dire la fonte et les scraps.

Charges. — Les charges suivantes, conviennent bien pour les moulages d'acier ordinaires tels que ceux indiqués sur le tableau LXII, classes 1 à 6 ; la seule différence existant entre une catégorie et la suivante, se trouvant dans la composition et dans la quantité des matériaux employés pour faire l'addition au métal après le soufflage. Les charges sont fondues dans le cubilot. Nous donnons ci-dessous les charges riches et pauvres en fonte avec les quantités correspondantes de scraps.

CHARGES FONDUES AU CUBILOT

1. Charge riche en fonte :

Fonte hématite (3,5 p. 100 Si)	356 kilogrammes.
Bouts de rails et scraps de moulages d'acier.	152 —
Calcaire	18 —
Spath-fluor.	4,500 kg.
Coke	51 à 76 kilogrammes.

2. Charge pauvre en fonte :

Fonte hématite (4 p. 100 Si)	203 kilogrammes.
Bouts de rails et scraps de moulages d'acier.	305 —
Calcaire	20 —
Spath-fluor	4,500 kg.
Coke	63 à 80 kilogrammes.

Pour les charges ci-dessus, il faut choisir les fontes dans la catégorie de celles désignées par le tableau VIII, ou parmi les fontes hématites ayant une composition chimique semblable.

On a souvent constaté qu'il était avantageux, de varier la composition des premières charges fondues chaque jour dans le cubilot, car au début, le métal du cubilot n'est pas aussi chaud qu'après plusieurs coulées. Cette variation consiste à employer un peu plus de fonte et un peu moins de scraps ou encore à employer de 5 à 10 p. 100 de fonte contenant de 10 à 12 p. 100 de silicium. Chaque fondeur modifie légèrement, à sa guise, les premières charges afin d'obtenir les meilleurs résultats.

Ci-dessous nous donnons la composition des quatre premières charges faites chaque jour au cubilot.

Fonte, 3,50 p. 100 de silicium.	280 kilogrammes.
Rails et scraps de fonderie en proportions égales.	200 —
Fonte, 12 p. 100 de silicium.	25 —

Dans les exemples types de charges de cubilots, les quantités se rapportent à une charge d'environ 500 kilogrammes, mais il n'est pas nécessaire de respecter cette quantité, car souvent on fait des charges de fonte et de scraps supérieures à 700 kilogrammes, mais en augmentant proportionnellement, bien entendu, la quantité de coke employée entre chaque charge.

Quelle que soit la nature de la charge employée, la fusion au cubilot doit donner un métal contenant suffisamment de silicium, de manganèse et de carbone pour se transformer rapidement en acier, sous l'action du soufflage. En Angleterre, on cherche à obtenir dans la pratique, un métal qui, à la sortie du cubilot, contient de 1,5 à 2 p. 100 de silicium, avec de 0,5 à 1 p. 100 de manganèse. La teneur en carbone est souvent supérieure à 3 p. 100, même lorsque l'on emploie de 60 à 70 p. 100 de scraps, car le coke cède du carbone au métal pendant la fusion. Cette façon

d'opérer est cependant sujette à des variations, car les fontes employées dans les autres pays, ne contiennent pas les mêmes pourcentages de silicium et de manganèse. Les analyses que nous donnons ci-dessous, sont celles que l'on cherche à obtenir dans la pratique anglaise du cubilot et qui se transforment facilement en acier.

TABLEAU LXIV
Analyses du métal du cubilot.

NATURE DE LA CHARGE	POURCENTAGE du silicium dans la fonte avant fusion.	ANALYSE DU MÉTAL DU CUBILOT				
		C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.
Charge riche en fonte et pauvre en scraps. . .	3,5	3,5	2,0	0,9	0,05	0,04
Charge riche en scraps et pauvre en fonte . .	4,0	3,3	1,5	0,7	0,06	0,05

Dans le tableau suivant, nous donnons la composition analytique de deux charges après soufflage et avant l'introduction des additions.

TABLEAU LXV
Analyses du métal d'un convertisseur Bessemer après le soufflage,
et avant les additions

NATURE DE LA CHARGE	POURCENTAGE du silicium dans la fonte avant fusion.	C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.
Charge riche en fonte et pauvre en scraps. . .	3,5	0,4	Traces	0,075-0,1	0,03	0,03
Charge riche en scraps et pauvre en fonte . .	4,0	0,09	Traces	0,075-0,1	0,04	0,04

M. Percy-Longmuir¹ donne dans le tableau suivant, des analyses de métal provenant du cubilot, avant et pendant le soufflage, de façon à mettre en évidence la marche de la transformation après cinq, douze, quatorze et dix-huit minutes de soufflage. Dans la dernière colonne du tableau, on trouvera la composition du métal fini et qui correspond à un bon acier doux moyen, pour moulages en acier, obtenu en faisant au métal du convertisseur à la fin du soufflage, des additions convenables de ferro-alliages. De l'examen de ce tableau, il résulte qu'avec un même métal on peut après soufflages, obtenir un métal de compositions différentes selon la quantité ajoutée de ferro-alliages et de fonte.

¹ Etude sur la *Pratique de la Fonderie d'Acier*, conférence faite le 26 février 1910 devant la « Manchester Association of Engineers. »

TABLEAU LXVI

Analyses du métal pendant le soufflage.

	MÉTAL du cubilot.	APRÈS 5 minutes de soufflage.	APRÈS 12 minutes de soufflage.	APRÈS 14 minutes de soufflage.	APRÈS 18 minutes de soufflage.	FIN du soufflage.	MÉTAL fini.
Graphite	3,48	2,92	—	—	—	—	—
Carbone combiné.	0,35	0,34	2,92	2,30	0,86	0,1	0,24
Silicium	2,31	4,62	0,466	0,382	0,084	0,074	0,326
Soufre	0,037	0,037	0,035	0,036	0,038	0,038	0,037
Phosphore	0,054	0,053	0,054	0,054	0,051	0,050	0,058
Manganèse	0,61	0,60	0,401	0,04	0,040	0,042	4,080

Pertes de métal pendant la fusion et le soufflage. — Pendant la fusion de la charge dans le cubilot on perd, par suite d'oxydation, de 2 p. 100 à 4 p. 100 du poids de la fonte et des scraps. L'avantage des scraps est de diminuer la perte.

Pendant la transformation de la fonte en acier il y a de 10 p. 100 à 12 p. 100 de perte, par suite de l'oxydation des métalloïdes et du fer.

Essais des aciers. — Les moulages fabriqués sur spécification et appartenant à la classe 7, tableau LXII, page 301 sont souvent obtenus avec des charges analogues à celles indiquées page 303. La fonte employée dans ces charges donnera des moulages acier qui, bien traités au recuit, donneront des résultats satisfaisants. Il est cependant préférable d'employer des fontes ne contenant pas plus de 0,03 p. 100 de phosphore et de soufre, lorsque les spécifications indiquent que les barres d'essais devront supporter un fort allongement comme c'est le cas des moyeux des roues par exemple qui doivent répondre aux conditions suivantes :

4^e,341 de ténacité par centimètre carré.

24 p. 100 d'allongement sur 50^{mm} de long.

Pour ce genre de travail, il est souvent nécessaire de n'employer que des charges de fontes pauvres en silicium ou, si on ajoute une certaine proportion de scraps, de déterminer la composition chimique de ceux-ci et de ne les employer que si leur teneur en soufre et en phosphore est petite.

En ce qui concerne la présence du soufre dans l'acier, on a démontré que cet élément n'est pas dangereux lorsqu'il s'y trouve à l'état de sulfure de manganèse. Le professeur Arnold, F.R.S. a en effet, fait la découverte remarquable, que la totalité du soufre contenu dans l'acier se séparait sous forme de sulfure de manganèse, lorsqu'il trouvait suffisamment de manganèse pour se combiner avec lui. Et c'est ce qui a permis au professeur Arnold de résumer ses travaux¹ en disant que le « sulfure de fer est néfaste dans son action sur l'acier, tandis que le sulfure de manganèse est complètement inoffensif ».

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 142.

M. H.-H. Campbell¹, en résumant la série de ses recherches sur la résistance des aciers Martin, a écrit que « l'action du soufre sur la résistance de l'acier basique et acide est excessivement petite ».

Lors d'un voyage aux États-Unis en 1912, nous avons eu l'occasion de voir laminier des lingots d'acier basique, contenant 0,15 p. 100 de soufre.

Aux usines où l'on pratiquait ce laminage, on avait constaté qu'en augmentant graduellement la quantité de soufre avec une augmentation correspondante de la teneur en manganèse, les pièces travaillées avec cet acier présentaient un meilleur fini. Cet acier contenait 0,65 p. 100 de manganèse et 0,025 p. 100 de phosphore. Avec une plus faible proportion de manganèse, les lingots présentaient des craquelures après le laminage.

Le Dr J.-E. Stead², F.R.S. estime que la quantité de manganèse doit être au moins six fois plus forte que celle du soufre, et à la suite d'expériences personnelles, il estime que cette quantité doit être au moins égale à huit fois celle du soufre. Il a vu travailler, avec de bons résultats, des aciers contenant plus de 0,16 p. 100 de soufre.

De toutes ces recherches, on peut conclure que l'on doit compter sur la présence du soufre dans l'acier et alors que sa présence, même en quantité relativement grande, sous forme de sulfure de manganèse est reconnue comme peu dangereuse, il n'en est pas moins vrai que son absence dans la fonte permet d'obtenir de meilleurs résultats, surtout si elle est destinée à la fabrication de moulages en acier par les procédés Bessemer ou Martin-Siemens.

La question du prix est souvent le facteur déterminant de l'emploi des fontes riches ou pauvres en soufre, pour la fabrication de l'acier, car les fabricants d'acier savent, par expérience, que l'on obtient de meilleurs résultats avec les fontes peu sulfureuses et phosphoreuses qu'avec celles qui le sont assez fortement.

Composition des additions faites aux charges des convertisseurs. — Les matériaux que l'on emploie pour faire les additions physiques, aux charges de métal soufflé, varient en composition et en poids, avec la nature de l'acier à obtenir et avec le poids de la charge. Avant d'y faire toute addition, le métal soufflé du convertisseur contient en général 0,1 p. 100 de carbone, de sorte que quand on veut obtenir un acier doux, comme par exemple celui de la classe 6, tableau LXII, page 301, les additions que l'on doit faire, pour donner au métal la composition désirée, consistent en petites additions de ferro-manganèse et de ferro-silicium. Si au contraire, on veut obtenir un métal très carburé comme, par exemple, celui de la classe 4, tableau LXII, page 301, il faudra ajouter, pour donner au métal les teneurs voulues en carbone, manganèse et silicium, plusieurs centaines de kilogrammes de fonte, de ferro-manganèse et de ferro-silicium.

Méthode employée pour faire les additions à la charge. — Quand il ne faut ajouter que de petites quantités de ferro-manganèse et

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1904, II, p. 61.

² *Ibid.*, 1903, I, p. 147.

de ferro-silicium, on se contente quelquefois de les ajouter à l'état solide et froid, dans le métal du convertisseur, avant de couler l'acier dans la poche. Mais par cette méthode, il se produit une perte considérable de manganèse que l'on estime être voisine de 40 p. 100. Lorsque l'on met d'abord le ferro-manganèse dans la poche, et que l'on verse dessus le métal du convertisseur, la perte en manganèse est beaucoup plus petite (environ 20 à 25 p. 100). Lorsqu'il faut un acier très liquide, pour couler des moulages d'un modèle compliqué ou de très faible épaisseur, il est nécessaire de chauffer préalablement les ferros manganèse et silicium avant de les mettre dans la poche de coulée. Quand on emploie de la fonte pour recarburer, on la projette quelquefois à l'état solide dans le convertisseur, après l'avoir préalablement trempée dans l'eau. Mais le plus généralement, on fond la fonte et on l'ajoute à l'état liquide dans la poche ou dans le convertisseur. Par ce procédé, on obtient de l'acier beaucoup plus liquide que si l'on ajoutait ces matériaux à l'état solide.

Pour toutes ces additions, on emploie généralement les matériaux suivants :

1. Fonte (métal du cubilot) contenant de 1,75 à 2,25 p. 100 de silicium, 3,4 à 3,5 p. 100 de carbone et de 0,5 à 1 p. 100 de manganèse ;
2. Ferro-manganèse ;
3. Ferro-silicium ;
4. Ferros-alliages spéciaux tels que ferro-nickel, ferro-chrôme, etc.
5. Siliciure de calcium et aluminium pour « tuer » l'acier.

On fabrique de ces ferros-alliages qui contiennent différentes teneurs de l'élément spécial. Nous avons donné leur composition analytique, au Chapitre II, section VI, qui traite spécialement de ces alliages.

Méthode pour déterminer la quantité de matériaux que l'on doit ajouter à la charge. — Nous supposons que le poids de la charge à laquelle on doit faire ces additions est de 2 tonnes, exactement 2⁰,031 et que le métal fini devra avoir la composition chimique suivante :

Carbone	0,40 à 0,45 p. 100
Silicium.	0,3 à 0,4 —
Manganèse	0,75 à 0,8 —
Phosphore.	0,05 à 0,06 —
Soufre	0,04 à 0,05 —

Le métal du convertisseur contient généralement, après soufflage, environ 0,1 p. 100 de carbone et des traces de silicium et de manganèse qui peuvent être négligées pour le calcul des additions finales. Les quantités de phosphore et de soufre, contenues dans le métal soufflé, dépendent de la pureté du métal du cubilot et les additions n'en diminuent pas sensiblement la quantité.

Matériaux pour donner l'analyse cherchée.

En supposant que la teneur du carbone dans le métal soufflé est de 0,1 p. 100, il faudra donc en ajouter 0,3 p. 100 pour obtenir le pourcentage minimum voulu.

En ajoutant de la fonte du cubilot, on enrichit le métal soufflé en carbone, en silicium et en manganèse puisque ce métal du cubilot contient :

Carbone	3,4 à 3,5 p. 100
Silicium.	1,75 à 2,25 —
Manganèse	0,5 à 1,0 —

Toutefois, il ne contient pas ces éléments dans la proportion voulue, pour obtenir la composition analytique demandée, sans faire des additions de ferro-manganèse et de ferro-silicium. La proportion de ferro-manganèse à ajouter à la fonte, peut être déterminée par expérience, et il est d'usage de déterminer d'abord la quantité de ferro-manganèse puis ensuite celle de fonte. Pour trouver les pourcentages de carbone, de manganèse et de silicium nécessaires pour la charge, le poids des additions doit être calculé et compris dans celui de la charge. Pour l'acier ayant la composition analytique ci-dessus, le poids approximatif des additions est de 2¹52^k,34 par conséquent le poids de la charge totale sera de 2¹,183 kilogrammes.

Ferro-manganèse nécessaire. — Le ferro-manganèse employé pour ce calcul, contient 80 p. 100 de manganèse, 6,5 p. 100 de carbone et environ 1,25 p. 100 de silicium. La quantité de manganèse nécessaire dans l'acier fini est de 0,75 p. 100 à 0,80 p. 100. En admettant une perte de 20 à 25 p. 100 de manganèse, quand on ajoute le ferro dans la poche à l'état solide, la quantité de ferro nécessaire à la charge sera la suivante :

Soit x : pourcentage de manganèse nécessaire. En admettant 20 p. 100 de perte, on a :

$$x = \frac{100 \times 0,75}{80}$$

d'où $x = 0,937$ p. 100.

En supposant que le métal du cubilot nécessaire apportera à la charge 0,05 p. 100 de manganèse, la quantité exacte de manganèse à ajouter sera de :

$$0,937 - 0,05 = 0,887 \text{ p. 100.}$$

$$\begin{aligned} \text{Poids de ferro-manganèse nécessaire} &= \frac{2^1,183 \times 1000 \times 0,887}{80} \\ &= \text{environ } 24^k,20. \end{aligned}$$

Le carbone ajouté à la charge par le ferro-manganèse sera de :

$$\frac{24 \times 6,5}{2^1,183 \times 1000} = 0,072.$$

Or le carbone contenu dans le métal soufflé est de 0,10 p. 100.

On a :

$$\begin{aligned} &\text{Carbone à ajouter au moyen du métal du cubilot :} \\ &= \text{carbone dans l'acier fini} - (0,10 + 0,072); \\ &= 0,4 - 0,172 = 0,228 \text{ p. 100.} \end{aligned}$$

$$\text{Métal de cubilot nécessaire} = \frac{24 \times 1000 \times 0,228}{3,4} = 160 \text{ kg.}$$

Comme le métal du cubilot contient 0,7 p. 100 de manganèse, les 160 kg. apporteront à la charge la quantité de manganèse suivante :

$$\frac{160 \times 0,7}{24 \times 100} = 0,047 \text{ p. 100 de Mn.}$$

En calculant la quantité de ferro-manganèse nécessaire, une diminution de 0,05 p. 100 doit être faite, sur le pourcentage total dont a besoin le métal fini. Le gain ci-dessus de 0,047 compense approximativement cette diminution.

Ferro-silicium nécessaire. — Le silicium nécessaire dans l'acier fini est de 0,3 p. 100 à 0,4 p. 100. La quantité de silicium, apportée par le ferro-manganèse, est si petite qu'elle peut être négligée. Le silicium apporté dans la charge par le métal du cubilot est de :

$$\frac{160 \times 2,0}{24 \times 100} = 0,133 \text{ p. 100.}$$

Le silicium que devra apporter le ferro-silicium est donc égal à 0,35 — 0,134 = 0,216 p. 100.

En employant un ferro-silicium contenant 75 p. 100 de silicium, le poids de celui-ci qu'il faudra employer pour donner les 0,216 p. 100 qu'il manque à la charge est de :

$$\frac{24 \times 100 \times 0,216}{75} = 6,912 \text{ kg.}$$

Par conséquent, les additions totales qu'il faut faire à une charge de 2031^k,2 de métal soufflé contenant 0,1 p. 100 de carbone et seulement des traces de silicium et de manganèse, pour produire un acier ayant la composition chimique suivante = C, 0,4 p. 100 ; Si, 0,35 p. 100 ; Mn, 0,75 p. 100, sont de :

Métal de cubilot	160,00 kg.
Ferro-manganèse	24,00 —
Ferro-silicium	6,912 —
Siliciure de calcium	0,907 —
Aluminium	0,453 —

On ajoute le siliciure de calcium et l'aluminium dans la poche, au moment où l'on coule le métal du convertisseur, car ils ont sur lui une action très brusque.

D'après les calculs précédents, il est évident que le temps nécessaire pour déterminer les additions à faire, pour les différentes sortes d'acier, est considérable, surtout quand le poids de la charge varie. Dans les pages suivantes, nous donnons les additions qu'il faut faire pour produire les aciers dont la composition analytique a été donnée dans le tableau LXII, page 301 et pour des charges variant de 1 777^k,3 à 2 285^k,1 en poids. Ces sortes d'acier correspondent aux nécessités générales de la fonderie d'acier.

TABLEAUX POUR LES ADDITIONS PHYSIQUES

TABLEAU LXVII

Additions pour obtenir de l'acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,4 à 0,45 p. 100 ; Silicium, 0,3 à 0,4 p. 100 ; Manganèse, 0,75 à 0,8 p. 100. Convenant pour les moulages ordinaires.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DU CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DU CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2,0 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1777 ^k ,30	131 ^k ,03			21 ^k ,08			5 ^k ,10		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1828 ,08	134 ,66			21 ,76			5 ,21		»	»
1878 ,86	138 ,28			22 ,44			5 ,33		»	»
1929 ,64	141 ,91			23 ,01			5 ,44		0 ^k ,9068	»
1980 ,42	145 ,99			23 ,69			5 ,67		»	»
2031 ,20	149 ,62			24 ,25			5 ,78		»	»
2081 ,98	153 ,24			24 ,82			5 ,89		»	»
2132 ,76	156 ,87			25 ,50			6 ,12		»	»
2183 ,54	160 ,95			26 ,18			6 ,23		1 ^k ,020	»
2234 ,32	164 ,58			26 ,75			6 ,35		»	»
2285 ,10	168 ,21			27 ,43			6 ,46		»	»

TABLEAU LXVIII

Additions pour obtenir de l'acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,3 à 0,35 p. 100 ; Silicium, 0,5 à 0,6 p. 100 ; Manganèse, 0,8 à 0,9 p. 100. Convenant pour moulages devant être travaillés.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DE MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2,0 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1777 ^k ,30	81 ^k ,458			23 ^k ,01			11 ^k ,40		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1828 ,08	83 ,425			23 ,68			11 ,44		»	»
1878 ,86	85 ,692			24 ,37			11 ,78		»	»
1929 ,64	87 ,959			24 ,93			12 ,01		0 ^k ,9068	»
1980 ,42	90 ,226			25 ,61			12 ,35		»	»
2031 ,20	92 ,493			26 ,29			12 ,69		»	»
2081 ,98	94 ,760			26 ,97			13 ,03		»	»
2132 ,76	97 ,027			27 ,65			13 ,37		»	»
2183 ,54	99 ,294			28 ,22			13 ,60		1 ^k ,020	»
2234 ,32	101 ,561			28 ,90			13 ,94		»	»
2285 ,10	103 ,828			29 ,58			14 ,28		»	»

TABLEAU LXIX

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,65 à 0,75 p. 100 ; Silicium, 0,4 à 0,5 p. 100 ; Mn, 0,7 à 0,8 p. 100. Convenant pour couler les engrenages légers.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2,0 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1 777 ^k ,30	297 ^k ,43			19 ^k ,26			3 ^k ,96		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1 828 ,08	306 ,04			19 ,83			4 ,08		»	»
1 878 ,86	314 ,65			20 ,28			4 ,49		»	»
1 929 ,64	322 ,82			20 ,85			4 ,30		0 ^k ,9068	»
1 980 ,42	331 ,43			21 ,42			4 ,42		»	»
2 031 ,20	340 ,05			21 ,98			4 ,53		»	»
2 081 ,98	348 ,66			22 ,35			4 ,64		»	»
2 132 ,76	356 ,82			23 ,42			4 ,76		»	»
2 183 ,54	365 ,44			23 ,57			4 ,87		1 ^k ,020	»
2 234 ,32	374 ,05			24 ,44			4 ,98		»	»
2 285 ,40	382 ,66			24 ,71			5 ,10		»	»

TABLEAU LXX

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,35 à 0,45 p. 100 ; Silicium, 0,2 à 0,3 p. 100 ; Manganèse, 0,7 à 0,8 p. 100. Convenant pour couler de gros engrenages.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DE MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2,0 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1 777 ^k ,30	402 ^k ,92			19 ^k ,83			2 ^k ,83		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1 828 ,08	406 ,09			20 ,40			»		»	»
1 878 ,86	408 ,81			20 ,96			2 ^k ,94		»	»
1 929 ,64	411 ,98			21 ,53			3 ^k ,06		0 ^k ,9068	»
1 980 ,42	414 ,71			22 ,10			»		»	»
2 031 ,20	417 ,88			22 ,67			3 ^k ,17		»	»
2 081 ,98	420 ,50			23 ,23			3 ^k ,28		»	»
2 132 ,76	423 ,77			23 ,80			»		»	»
2 183 ,54	426 ,49			24 ,37			3 ^k ,40		1 ^k ,020	»
2 234 ,32	429 ,67			24 ,93			3 ^k ,51		»	»
2 285 ,40	432 ,39			25 ,50			»		»	»

TABLEAU LXXI

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 1,0 à 1,25 p. 100 ; Silicium, 0,2 à 0,3 p. 100 ; Manganèse, 10,0 à 12,0 p. 100. Convenant pour le moulage de pièces soumises à une grande usure. Acier au manganèse.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :	SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM	
	C	SO	Mn	Mn	C	Si				75,0	0,5
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100		
1777 ^k ,38	néant.			356 ^k ,82			néant.		néant.	néant.
1828,08	—			367,25			—		—	—
1878,86	—			377,22			—		—	—
1929,74	—			387,65			—		—	—
2980,42	—			306,95			—		—	—
2031,20	—			408,06			—		—	—
2081,98	—			418,03			—		—	—
2132,76	—			428,46			—		—	—
2183,44	—			438,43			—		—	—
2234,32	—			448,86			—		—	—
2285,10	—			458,84			—		—	—

TABLEAU LXXII

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,7 à 0,8 p. 100 ; Silicium, 0,4 à 0,5 p. 100 ; Manganèse, 0,75 à 0,85 p. 100 ; Chrome, 0,5 à 1,0 p. 100. Convenant pour les pièces soumises à l'usure. Acier au chrome.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE											
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		FERRO-CHROME contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMI- NIUM
	C	Si	Mn	Mn	C	Si	Si	C	Cr	C		
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100		
1777 ^k ,38	356 ^k ,82			21 ^k ,76			3 ^k ,38		18 ^k ,24		0 ^k ,4534	0 ^k ,2267
1828,08	367,25			22,44			2 ^k ,49		18,81		»	»
1878,86	377,22			23,01			»		19,26		»	»
1929,74	387,65			23,69			5 ^k ,60		19,83		»	»
2980,42	306,95			24,25			»		20,28		»	»
2031,20	408,06			24,93			2 ^k ,72		20,85		»	»
2081,98	418,03			25,61			2 ^k ,83		21,42		»	»
2132,76	428,46			26,18			»		21,87		»	»
2183,44	438,43			26,86			2 ^k ,94		22,44		»	»
2234,32	448,86			27,54			»		22,89		»	»
2285,10	458,84			28,11			3 ^k ,06		25,27		»	»

TABLEAU LXXIII

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,4 à 0,6 p. 100 ; Silicium, 0,4 à 0,6 p. 100 ; Manganèse, 0,8 à 0,9 p. 100. Convenant pour le moulage de pièces soumises à la pression, par exemple les cylindres de machines hydrauliques.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C	SO	Mn	Mn	C	Si	75,0	0,5		
	3,4 p. 100	2 p. 100	0,7 p. 100	80,0 p. 100	6,5 p. 100	1,25 p. 100	Si p. 100	C p. 100		
1777 ^k ,30	434 ^k ,63			23 ^k ,01			6 ^k ,80		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1828,08	438,74			23,68			6,71	»	»	
1878,86	442,36			24,25			7,14	»	»	
1929,64	446,44			24,93			7,36	0 ^k ,9068	»	
1980,42	450,07			23,61			7,48	»	»	
2031,20	454,15			26,29			7,70	»	»	
2081,98	457,78			26,97			7,93	»	»	
2132,76	461,86			27,65			8,04	»	»	
2183,54	465,49			28,22			8,27	4 ^k ,020	»	
2234,32	469,57			28,90			8,50	»	»	
2285,10	473,19			29,58			8,61	»	»	

TABLEAU LXXIV

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,1 à 0,2 p. 100 ; Silicium, 0,1 à 0,3 p. 100 ; Manganèse, 0,2 à 0,4 p. 100. Convenant pour le moulage des pièces destinées aux machines électriques. Acier magnétique.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DE CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C	SO	Mn	Mn	C	Si	75,0	0,5		
	3,4 p. 100	2 p. 100	0,7 p. 100	80,0 p. 100	6,5 p. 100	1,25 p. 100	Si p. 100	C p. 100		
1777 ^k ,30	néant.			6 ^k ,80			néant.		3 ^k ,38	2 ^k ,83
1828,08	—			6,71			—		2 ^k ,49	»
1878,86	—			7,14			—		»	2 ^k ,94
1929,64	—			7,36			—		2 ^k ,60	3 ^k ,06
1980,42	—			7,48			—		»	»
2031,20	—			7,70			—		2 ^k ,72	3 ^k ,17
2081,98	—			7,93			—		2 ^k ,83	3 ^k ,28
2132,76	—			8,04			—		»	»
2183,54	—			8,27			—		2 ^k ,94	3 ^k ,40
2234,32	—			8,50			—		»	3 ^k ,51
2285,10	—			8,61			—		3 ^k ,06	»

TABLEAU LXXV

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,35 p. 100; Silicium, 0,4 à 0,45 p. 100; Manganèse 0,75 à 0,85 p. 100. Convenant pour le moulage de pièces dont les surfaces sont soumises à l'usure et pour donner une ténacité de 6 tonnes, par centimètre carré et 10 p. 100 d'allongement sur 50 millimètres.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DU CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1777 ^k ,30	99 ^k ,74			21 ^k ,87			7 ^k ,93		0 ^k ,793	0 ^k ,4534
1828,08	102,92			22,44			8,16		»	»
1878,86	105,64			23,12			8,38		»	»
1929,64	108,36			23,69			8,61		0 ^k ,9068	»
1980,42	111,08			24,37			8,84		»	»
2031,20	114,25			24,48			9,06		»	»
2081,98	116,97			25,05			9,29		»	»
2132,76	120,15			25,73			9,52		»	»
2183,54	122,87			26,29			9,74		1 ^k ,020	»
2234,32	125,59			26,97			9,97		»	»
2285,10	128,31			27,54			10,20		»	»

TABLEAU LXXVI

Additions pour produire un acier ayant la composition chimique suivante : Carbone, 0,2 à 0,25 p. 100; Silicium, 0,2 à 0,25 p. 100; Manganèse, 0,5 à 8,6 p. 188. Convenant pour le moulage de pièces de locomotives et machines analogues. Acier pour pivots, axes, moyeux, etc.

POIDS de la charge de métal soufflé.	POIDS DU MÉTAL DU CUBILOTT ET DE FERROS-ALLIAGES AJOUTÉ A LA CHARGE									
	MÉTAL DE CUBILOTT contenant :			FERRO-MANGANÈSE contenant :			FERRO-SILICIUM contenant :		SILICIURE de calcium.	ALUMINIUM
	C 3,4 p. 100	Si 2 p. 100	Mn 0,7 p. 100	Mn 80,0 p. 100	C 6,5 p. 100	Si 1,25 p. 100	Si 75,0 p. 100	C 0,5 p. 100		
1777 ^k ,30	31 ^k ,73			14 ^k ,28			3 ^k ,96		0 ^k ,793	0 ^k ,793
1828,08	32,64			14,73			4,08		»	»
1878,86	33,55			15,07			4,19		»	»
1929,64	34,45			15,52			4,30		0 ^k ,9068	0 ^k ,9068
1980,42	35,36			15,86			4,42		»	»
2031,20	36,27			16,32			4,53		»	»
2081,98	31,17			16,77			4,64		»	»
2132,76	38,08			17,11			4,76		»	»
2183,54	38,99			17,56			4,87		1 ^k ,020	1 ^k ,020
2234,32	39,89			17,90			4,98		»	»
2285,10	40,80			18,36			5,10		»	»

TROISIÈME PARTIE

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

LE PROCÉDÉ MARTINOWICZ

CHAPITRE XXIV

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS ACIDE

Le nom d' « acide » est donné aux différents procédés de fabrication de l'acier au moyen de fours à sole, dans lesquels la fusion et la transformation se font sur une sole composée de sable. Lorsque l'on utilise des charges froides, la méthode consiste à fondre et à transformer en acier, sur une sole, les matériaux employés, par l'action de la chaleur fournie par le combustible utilisé et en employant, suivant les besoins, soit des oxydes réducteurs appropriés, comme le minerai, les battitures, etc., soit en ajoutant des réactifs. Lorsque la majeure partie de la charge se compose de fonte liquide, le procédé n'est en somme qu'un procédé de transformation, et les scraps d'acier que l'on y ajoute sont fondus, soit par le bain liquide soit par l'action de la flamme.

Pour la composition des charges du « procédé Martin », on emploie différentes proportions de fonte et de scraps d'acier. Il en est d'ailleurs de même, quand on emploie la fonte et le minerai. Pour ces deux procédés, il existe entre les proportions maxima et minima extrêmes de la fonte dans les charges, une grande variété de compositions dont nous indiquerons quelques-unes au Chapitre xxxvi.

Conduite du procédé. Préparation du four pour la charge. — La mise en service d'un four nouvellement construit et de ses accessoires nécessite beaucoup de précautions, en ce qui concerne le séchage du briquetage général. Si ce séchage se fait trop rapidement, il en résultera des ennuis provenant de la dilatation du briquetage en silice. Si le temps est sec lors de la construction des carneaux, des régénérateurs et du four, toute la maçonnerie se sèche progressivement et l'est entièrement à l'achèvement du travail. Mais, dans tous les cas, il faut avoir soin d'abandonner le four à lui-même pendant plusieurs jours en ouvrant les portes, les valves et les registres de communication avec la cheminée, de façon que le courant d'air ainsi créé, favorise la dessiccation de la maçonnerie intérieure, avant d'allumer du feu dans le four. En allumant un bon feu de coke à la base de la cheminée, on obtient dans tout l'ensemble du système, non seulement un courant d'air beaucoup plus fort, mais on favorise également le séchage de la cheminée. Lorsque le séchage naturel a été employé pendant plusieurs jours, on allume des feux de coke dans chacune des chambres des régénérateurs ainsi qu'en plusieurs endroits

des carneaux. Ces feux sont poussés progressivement en étendue et en intensité, en ayant soin de dégager les joints pour permettre la dilatation de la maçonnerie. Après avoir ainsi séché pendant de trois à six jours (la durée du séchage étant fonction des dimensions du four et de la longueur des carneaux), on allume des feux dans le four à proximité des arrivées des carneaux d'abord, puis ensuite au centre, de façon que celui-ci soit entièrement chauffé avant que l'on y laisse arriver le gaz. Lorsque toutes les maçonneries sont bien séchées, on construit alors les chicanes en briques dans les chambres des régénérateurs et l'on fait la sole ou fond du four. Cette dernière se fait en décupant graduellement la surface de la maçonnerie, et en damant du sable blanc en couches minces jusqu'à ce que l'on ait obtenu l'épaisseur voulue. Avant de faire la sole en sable, on envoie le gaz des gazogènes (ou l'huile si on utilise les combustibles liquides).

Admission du gaz dans le four. — Il faut avoir soin de chasser l'air, contenu dans les carneaux à gaz, afin d'éviter l'explosion qui se produirait si, au moment de l'allumage, on se trouvait en présence d'un mélange de gaz et d'air. Pour cela, la première précaution à prendre est de sécher entièrement les carneaux, puis d'en expulser l'air en laissant les gaz s'échapper pendant quelque temps par le trou d'homme le plus rapproché du four, avant de les laisser entrer dans le four. Cette façon d'opérer, généralement employée, permet de chasser complètement l'air contenu dans les carneaux. Indépendamment de ces précautions, il est indispensable de déterminer la facilité d'allumage des gaz à leur sortie du couvercle du trou d'homme, avant de les allumer dans le four, pour éviter que cet allumage ne soit accompagné d'une détonation. Si on a soin de prendre cette précaution, on est certain que tout l'air des valves à renversement est expulsé, les gaz brûlent alors seuls dans l'intérieur du four jusqu'au moment où l'air provenant des régénérateurs, se mélange avec lui en produisant progressivement la chaleur intense habituelle du four.

Avant d'y introduire toute espèce de charge, la température du four doit être portée à un très haut degré. On ferme alors les ouvertures de manœuvre et l'on prépare le four pour recevoir la charge.

Chargement des matériaux. Chargement à la main. — Lorsque les charges se font à l'état solide, on emploie encore très souvent le mode de chargement à la main, dans les usines dont la capacité des fours n'excède pas 25 tonnes. En Angleterre, ce mode de chargement est encore employé dans certaines usines, dont les fours ont une capacité de 50 tonnes. Il est inutile de faire remarquer que le temps nécessaire pour le chargement d'un four de 50 tonnes est long et que les premières portions de la charge sont fondues deux ou trois heures avant l'introduction des dernières. Dans les usines anglaises, la durée moyenne du chargement d'un four de 25 tonnes, est de sept heures et demie à huit heures, lorsque la charge se compose de moitié de fonte et le restant de scraps d'acier.

Le chargement à la main se fait au moyen de longues barres, aplaties à une extrémité, pour recevoir la fonte et les scraps. Dans les petits fours où l'on ne dispose pas de ponts roulants ou de grue pivotante, on fixe un rouleau après l'encadrement de la porte du four, de sorte qu'un homme ou

deux peuvent pousser la pelle de chargement sur ce rouleau, et en verser le contenu dans le four. Lorsque l'on dispose d'une grue, le chargement se fait encore plus rapidement car celle-ci dépose les charges sur la pelle, enlève celle-ci à hauteur de la porte de chargement, et il ne reste plus qu'à la pousser à la main dans l'intérieur du four pour y verser la charge.

Chargement à la machine. — Dans les usines modernes, les fours de 25 tonnes et au-dessus sont généralement équipés avec des machines. Les matériaux composant la charge sont enlevés du stock au moyen d'un pont roulant électrique qui les dépose sur les plates-formes mobiles de wagonnets spéciaux. Certaines plates-formes sont chargées de fonte, d'autres de scraps dans une proportion déterminée par le chef de l'aciérie. Les wagonnets munis de leurs plates-formes chargées, sont ensuite amenés par une locomotive, d'abord sur un pont-bascule où l'on enregistre le poids de leur chargement, puis de là le long des portes de chargement du four. Le bras du chargeur s'engage sous la plate-forme du wagonnet, la soulève, et l'amène près de la porte de chargement et au moyen d'une secousse projetée son contenu dans l'intérieur du four. Par une manœuvre inverse la plate-forme est ramenée sur le wagonnet, que l'on pousse ensuite en avant pour permettre le déchargement du wagonnet suivant. Dans ces conditions le chargement d'un four de 50 tonnes dure environ vingt minutes.

Le chargement mécanique du four permet de réaliser non seulement une grande économie de temps, mais il évite encore les pertes de chaleur du four car les portes ne sont pas ouvertes aussi souvent que lorsque le chargement se fait à la main. Nous avons vu, en 1911, plusieurs fours Martin modernes, construits par MM. Paul Schmidt et Desgraz pour de grandes aciéries allemandes et dont le chargement se faisait avec un chargeur électrique. On introduisait, comme nous venons de le décrire, la charge complète dans le four ce qui permettait de faire cinq opérations en vingt-quatre heures. On employait le procédé Martin fonte et scraps, la charge étant composée de matériaux choisis afin d'éviter de les affiner. De sorte que dans ces usines, il ne faut pas plus de temps pour faire l'acier et le couler en lingots, qu'il n'en faut dans les usines où le chargement se fait à la main, pour charger seulement le four.

Chargements dont une partie de la charge est liquide. — Le fait de charger du métal liquide et des scraps à l'état solide, permet d'activer les opérations de fusion et de transformation. Les scraps solides sont introduits dans le four de la façon précédemment indiquée, mais la fonte liquide est prise au mélangeur, au moyen d'une poche montée sur truck, et son contenu est versé par un basculeur hydraulique, ou par une grue, dans une rigole qui le conduit dans le four. La poche-truck passe avant d'être déchargée sur un pont-bascule qui enregistre le poids de métal qu'elle contient.

Une méthode encore plus commune, pour transporter le métal depuis le mélangeur jusqu'au four, consiste à transporter la poche de métal du mélangeur au moyen d'un pont roulant, et d'en verser le contenu au moyen d'une grue auxiliaire, dans une rigole qui le conduit dans le four.

Le temps nécessaire pour charger le métal liquide est de beaucoup

inférieur à celui exigé pour le chargement du métal à l'état solide, de sorte que la durée de transformation du métal en acier est notablement diminuée. La composition des différentes charges, ainsi que les analyses des fontes employées, seront données dans le Chapitre xxxvi. Il est par conséquent inutile de les indiquer ici une nouvelle fois.

Marche du four pendant la fusion et la transformation. — La méthode utilisant des charges froides est excessivement lente, au point de vue de la fusion. Les charges composées de beaucoup de scraps d'acier pauvre en carbone, et de petites quantités de fonte, sont plus difficiles à fondre que celles qui contiennent beaucoup de fonte. La fonte fond habituellement la première, car elle est fusible à une plus basse température que les scraps d'acier doux. Si l'on emploie trop peu de fonte dans la charge, il se forme de l'oxyde de fer qui détériore le revêtement du four. Pour y remédier, il faut augmenter la quantité de fonte. Quelquefois, au lieu d'augmenter la quantité de fonte, on ajoute de la houille dans la charge. Quand au contraire, il y a de la fonte en excès, on peut y remédier, soit en faisant des additions de minerais, soit au moyen de la flamme, mais comme règle générale il est préférable d'employer toujours une quantité suffisante de fonte.

Le fondeur règle les arrivées de gaz et d'air, dans les meilleures proportions exigées pour la fusion. Dès que la charge est fondue, l'ébullition provoquée par les gaz qui traversent la couche de scorie qui surnage à la surface du métal, indique nettement que le carbone se dégage du métal. Pendant la fusion, l'oxydation du carbone ne progresse que lentement, puis elle devient plus active car on ajoute le minerai lorsque il est nécessaire d'accélérer l'élimination du carbone. L'apparition du « bouillon », provoquée évidemment par le dégagement des gaz à la surface du bain, n'a lieu qu'une ou trois heures après la fusion, car il dépend non seulement de la température, mais encore de la nature du métal, mais dans tous les cas il n'apparaît pas à moins de deux ou trois heures après l'introduction de la charge. Le « bouillon » est quelquefois arrêté par le fondeur si le carbone est éliminé trop rapidement, car le soufre et le phosphore restent alors en trop grandes proportions.

Pendant la fusion, d'autres éléments tels que le silicium et le manganèse passent du métal dans la scorie. La marche de la réaction chimique ne peut pas être appréciée par le simple examen du bain, mais il faut faire de fréquents essais de la charge après que le métal est en fusion et pendant le « bouillon ».

Examen des essais. — On fait généralement deux sortes d'essais :

1. Essais de rupture ;
2. Essais chimiques.

On prélève généralement la prise d'essai lorsque le métal est fondu et avant l'apparition des scories provoquée par l'emploi des oxydes de fer. La qualité exacte du métal, quand il est fondu, peut être déterminée par les essais de rupture et les essais d'analyses qui permettent de guider le fondeur pour le finissage de l'acier. Les éléments dont la présence est préjudiciable à la charge sont le soufre et le phosphore lorsque ceux-ci se

trouvent en quantité appréciable dans les matières premières et quoiqu'un grand pas ait été fait grâce aux remarquables travaux de Stead, Arnold, Saniter et autres, pour faciliter l'élimination de ces éléments, il reste encore néanmoins beaucoup à faire.

Grâce aux perfectionnements apportés aux méthodes d'essais, les chimistes sont en mesure de faire très rapidement et très exactement la plupart des essais chimiques, c'est ainsi qu'il est possible de déterminer les teneurs en carbone, phosphore et soufre de l'échantillon en dix ou douze minutes, et celle du manganèse, si cela est nécessaire, en cinq minutes environ.

MM. Harrison et Wheeler ont donné, dans leur remarquable étude¹, des exemples types de ces sortes d'essais qui sont surtout utiles dans le procédé basique, qui utilise les fontes phosphoreuses.

En ce qui concerne l'élimination du soufre dans le fer et l'acier, M. Donald M. Levy résume ainsi ses recherches sur ce sujet² :

La séparation du sulfure de manganèse dans les fers et aciers dépend surtout :

- (a) De l'état et des propriétés résultantes du sulfure ;
- (b) De la composition et des propriétés résultantes du métal ;
- (c) De la température du métal ;
- (d) De la solubilité du sulfure dans le métal solide et liquide ;
- (e) Des conditions mécaniques et physiques ;
- (f) De l'influence de la scorie et des conditions oxydantes.

Certains de ces facteurs sont indépendants, mais leur recherche systématique, ainsi que l'étude de leurs relations sur les équilibres thermiques, physiques et chimiques du système, constitue la base permettant de réussir, en pratique, à éliminer le soufre du métal et dans tous les cas permettant de contrôler dans celui-ci, l'état sous lequel il s'y trouve, et la façon dont il y est distribué afin de l'amener sous la forme la moins préjudiciable.

Le professeur Arnold, il y a plusieurs années, a montré que le soufre n'est pas dangereux lorsqu'il se trouve dans l'acier sous forme de sulfure de manganèse.

Réactions chimiques du procédé Martin acide. — L'élimination des métalloïdes, durant le procédé de fusion et de transformation en acier d'une charge de fonte, de scraps d'acier et de minerai est le résultat d'une réaction chimique oxydante, dont l'étude est intéressante. Cette réaction est provoquée, non seulement par la chaleur de la flamme, mais encore par son action oxydante. La vitesse de cette réaction chimique dépend surtout, parmi d'autres causes, de la nature de la charge, de l'état du bain, de l'intensité de la flamme et du travail du four.

Pour indiquer les résultats d'une charge quelconque dans le four, il ne faut pas seulement se baser sur un fait évident qui se produit, mais sur un ensemble de faits observés sur une série de charges. C'est ce qu'a fait M. H.-H. Campbell et les résultats qu'il a donnés³ et que nous indiquons

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1908, III, p. 272.

² *Ibid.*, 1911, III, p. 311.

³ *Transactions American Inst. of Mining Engineers*, vol. XIX, p. 160.

ci-dessous, peuvent être considérés comme étant l'image des transformations subies par une charge moyenne d'acier doux dans le procédé Martin acide. Les résultats du groupe I représentent les résultats moyens de 19 opérations de fabrication de tôles de chaudières, l'agent calorifique employé étant le gaz de gazogène, le groupe II donne les résultats de 6 opérations semblables, l'agent calorifique employé étant de l'huile sous pression de vapeur.

ANALYSES DE LA CHARGE ET DES SCORIES

MATÉRIAUX EMPLOYÉS	GROUPE I			GROUPE II		
	Si	Mn	C	Si	Mn	C
1. Fonte ; Si, 1,72 p. 100 ; C, 3,5 p. 100						
Acier à rail ; Si, 0,07 p. 100, C, 0,40 p. 100						
2. Scraps d'acier. } Plaques de chaudières ; Si, 0,02 p. 100 ; C, 0,13 p. 100						
3. Minerai ; FeO, 81 p. 100 ; O libre, 9 p. 100.						
	5 304,78 kg.			9 385,38 kg.		
	17 941,57 —			13 420,64 —		
	2 706,79 —			3 264,48 —		
	462,46 —			385,39 —		
	Si	Mn	C	Si	Mn	C
4. Métal après la fusion	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
5. Métal avant la coulée	0,02	0,09	0,54	0,05	0,06	0,64
	0,02	0,04	0,43	0,01	0,02	0,42
	SiO ²	MnO	FeO	SiO ²	MnO	FeO
	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100	p. 100
6. Scorie après la fusion	50,24	21,67	23,91	49,46	13,16	33,27
7. Scorie avant la coulée	49,4	16,50	29,5	49,36	11,30	34,11
8. Durée de la fusion	433 minutes.			480 minutes.		
9. Durée d'action du minerai	150 —			120 —		
10. Poids de la scorie dans la poche	1 936,27 kg.			2 570,77 kg.		
11. — — — — — avant la coulée (supposé).	1 768,26 —			2 502,76 —		
12. — — — — — de MnO dans la scorie avant la coulée d'après 7 et 11	— 291,99 —			— 282,92 —		
13. Poids de MnO formé après la fusion d'après 4 et 5	— 16,32 —			— 12,69 —		
14. Quantité de MnO dans la scorie après la fusion	— 275,72 —			— 270,22 —		
15. Pourcentage de MnO dans la scorie après la fusion (voir 6)	21,67 —			13,16 —		
16. Poids de scorie après la fusion d'après 14 et 15	— 1 274,05 —			— 2 053,90 —		

On peut suivre la marche de l'oxydation d'après les analyses et les poids ci-dessus. M. Campbell a calculé le poids des scories formées après fusion de la charge, et avant l'addition du minerai, d'après la quantité de MnO contenue dans la scorie. Sa méthode de détermination est basée sur le fait que tout le MnO provient du Mn contenu dans les matériaux composant la charge et par conséquent connaissant les poids et les analyses des charges, de même que les analyses des scories à différentes périodes, on peut en déterminer le poids des scories, avec une approximation suffisante.

Les réactions chimiques d'autres sortes de charges du four acide sont analogues, et on peut les déterminer de la même façon, d'après le poids et l'analyse des scories formées.

CHAPITRE XXV

LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS BASIQUE

Le procédé Martin basique ne diffère du procédé Martin acide, qu'en ce qui concerne les réactions chimiques qui se produisent sous l'action de la chaleur, car ils sont tous les deux semblables en ce qui concerne le principe général du procédé, c'est-à-dire l'oxydation des impuretés contenues dans la charge et leur élimination par les gaz et les scories. La différence des réactions chimiques est due à la présence du phosphore et du soufre en excès, par rapport à celle qui convient pour le procédé Martin acide, notamment en ce qui concerne le premier élément. Considérés au point de vue chimique, ces deux éléments sont acides, et ont, à haute température, plus d'affinité pour le fer que pour l'oxygène de l'air. On ne peut par conséquent pas les oxyder, comme le carbone, le silicium et le manganèse sous la seule influence de la flamme oxydante du four. Quand on les oxyde, le phosphore et le soufre forment des composés acides, mais cela ne se produit que quand ils sont soumis, à une très haute température, à l'action de la chaux ou de tout autre base minérale active ayant plus d'affinité pour eux qu'ils n'en ont pour le fer.

Comme l'emploi de la chaux comme agent réducteur dans un four à revêtement acide aurait pour effet de fondre et de détruire le revêtement, il est indispensable d'avoir un revêtement non acide, autrement dit un revêtement basique, sur lequel les réactions peuvent se produire sans qu'il y ait à craindre une détérioration du revêtement. Dans le Chapitre II, Section III, sous le titre « Matériaux réfractaires », nous avons décrit et étudié les différentes sortes de matériaux basiques employés pour la confection des revêtements des fours basiques. Ils sont généralement composés de dolomie et de magnésite, quoique l'on emploie également d'autres matériaux.

Sauf en ce qui concerne certaines dimensions, les fours employés par le procédé acide ou le procédé basique sont identiques comme construction. La seule différence qui existe est que la sole des fours basiques est plus grande que celle d'un four acide de même capacité, pour permettre les additions de chaux, de minerai et autres oxydes.

Procédés divers du four Martin-Siemens. — Les procédés généralement connus sous les noms de « fonte et scraps » — « fonte, scraps et minerai » — « fonte et minerai » — « scraps et charbon » — sont com-

muns aux deux procédés, acide et basique. La plupart de ces procédés furent appliqués, dès l'origine, dans des fours Martin fixes utilisant des charges de métal froid, car une grande partie des aciéries actuelles préférèrent employer le four fixe plutôt que le four oscillant.

Four Martin-Siemens basique fixe. — La méthode employée pour la pratique du four fixe, utilisant des charges froides, dépend surtout des conditions locales. Si la fonte coûte meilleur marché que les scraps, on n'utilise dans les charges que les scraps de fonte et d'acier provenant de l'usine et l'on fait des additions de minerai, de chaux et de battitures pour provoquer les réactions nécessaires. Si les scraps sont, au contraire, très abondants et d'un emploi plus économique que la fonte, on en emploie de très fortes proportions pour apporter à la charge le carbone supplémentaire nécessaire. Lorsque par suite du prix, l'emploi de la fonte devient excessif, on peut employer le procédé « scraps et charbon » tel qu'il a été imaginé par Léopold Pszczolka, de Graz¹.

La pratique la plus commune consiste à employer de la fonte, des scraps d'acier et de fer et des oxydes en proportions voulues, pour obtenir l'acier cherché de la manière la plus rapide et en même temps la plus économique.

La marche d'une opération du four Martin fixe, avec une charge type, peut être décrite de la façon suivante. Après que le fond du four a été convenablement réparé avec de la dolomie mélangée avec du goudron, on charge le four à la main ou à la machine. Le chargement à la main, même d'un four de 25 tonnes, prend beaucoup de temps, et il faut attendre plusieurs heures avant que la totalité des matériaux soient introduits dans le four. Le temps nécessaire au chargement varie avec les différentes usines. On ajoute la chaux et les scories métalliques en même temps que la charge, parfois avant la fonte, parfois en même temps que la fonte et les scraps. Après l'introduction de la fonte et avant d'introduire les scraps, on ajoute un peu de houille lorsque la charge de fonte est petite. Il arrive parfois, quand le chargement se fait à la main, qu'il exige de neuf à dix heures. La fusion se fait pendant ce temps, de sorte que la charge est entièrement fondue, deux heures après la fin du chargement. On prélève un échantillon de métal fondu, pour déterminer la qualité du métal du bain, après quoi l'on fait des additions d'oxyde selon le degré d'oxydation que l'on veut obtenir. Après une heure de fusion, le bouillonnement commence, ce qui indique pratiquement la réduction du carbone et des autres éléments. Cette réduction peut être conduite de deux façons, l'une qui consiste à éliminer tout le carbone de la charge, pour y ajouter ensuite la quantité voulue, et l'autre qui consiste à arrêter au moment voulu, l'oxydation du carbone contenu dans la charge.

Le silicium et le manganèse sont facilement éliminés par l'action oxydante de la flamme. Les additions de ferro-manganèse et quelquefois de ferro-silicium se font en général à l'acier, lorsque la transformation est terminée ou lorsque l'on coule le métal dans les poches de coulée, pour lui donner la caractéristique voulue.

¹ Dichmann, « *Basic Open-hearth Steel* », p. 253.

L'élimination du phosphore et du soufre présente de plus grandes difficultés. Si la teneur en phosphore est voisine de 0,1 p. 100 et que la teneur en soufre soit encore plus élevée ou même égale, on peut les réduire tous les deux en faisant des additions de spath-fluor et de chaux, la quantité de spath étant deux fois plus forte que celle de chaux. Si toutefois, la teneur en phosphore est petite, soit environ 0,04 p. 100 et que l'on désire seulement éliminer le soufre, l'addition de spath-fluor ne donne pas de résultat satisfaisant et il est bien difficile de contrôler l'opération. D'où la nécessité de faire des essais minutieux du soufre et du phosphore vers la fin de l'opération si l'on ne veut pas produire un métal inutilisable.

Le temps nécessaire pour terminer une opération, depuis la formation du bouillonnement, dépend évidemment des matériaux composant la charge, mais en général il varie de une à trois heures.

Procédé Martin-Siemens basique utilisant du métal à l'état fondu.

Depuis plusieurs années déjà, on utilise dans le four Martin basique, des charges de métal fondu, soit en partie, soit en totalité. Cette façon d'opérer permet de réaliser une économie importante par suite de l'utilisation de la chaleur initiale du métal du haut fourneau, par conséquent d'accélérer les réactions du four Martin et de diminuer la durée de l'opération. Il y a donc une augmentation de production et, en outre, une diminution dans la consommation du combustible.

Cependant, l'emploi des charges à l'état fondu a rencontré des difficultés énormes, avant que la réussite de la fabrication rapide de l'acier soit un fait accompli. Ceux qui se sont employés à surmonter toutes les difficultés, ont souvent subi de grands désappointements. Au début, cette méthode qui, au premier abord, paraissait devoir être très économique, coûtait en réalité plus cher, étant données les conditions de son emploi, que le procédé ordinaire « fonte et scraps ». En effet, par l'emploi du métal fondu, le revêtement du four était fréquemment endommagé, il se produisait des trous dans le fond, les parois étaient désagrégées par l'action mordante des oxydes, que l'on était obligé de mettre en excès pour réduire les éléments d'une charge totalement composée de fonte, ce qui produisait une quantité énorme de scories débordant parfois au-dessus des banquettes et dans les carneaux et s'écoulant par les portes et même dans les régénérateurs, avant qu'on ait eu le temps de les enlever.

Ces difficultés, ainsi que celles relatives à l'enlèvement des scories de dedans les fours fixes, ont conduit à l'introduction des fours Martin oscillants qui permettaient l'enlèvement des scories, au moyen d'une opération très simple. Le fond et les parois des fours n'étaient pas sujets à se détériorer, car le métal du bain était agité de temps en temps pendant l'opération. Ce développement, rendu possible par l'emploi du four oscillant de Wellman, modifié et perfectionné par Campbell, constituait un avantage marqué sur l'application du procédé.

Campbell¹, décrivant les avantages de son four, dit qu'on ne peut nulle

¹ Campbell, « *Metallurgy of Iron and Steel* », p. 142.

part ailleurs, utiliser directement le métal sortant du haut fourneau, et dont la teneur en silicium varie de 0,5 jusqu'à 3,0 p. 100, sans être gêné par l'écume formée et sans perdre de temps. Ces ennuis sont évités en facilitant le vidage du four et en empêchant le métal et la scorie de s'écouler par les portes. C'est grâce à la facilité de manipulation du four oscillant Campbell, que la « Steelton Steel Works », Pennsylvania, peut directement employer le métal du haut fourneau dont la teneur en silicium varie comme ci-dessus, ainsi que dans d'autres aciéries, où les premiers insuccès dus à l'emploi des charges liquides avaient pour cause l'irrégularité de composition du métal provenant du haut fourneau.

Depuis l'introduction du mélangeur, en 1889, on constate une poussée considérable dans le développement rapide de la fabrication de l'acier. Au début, cet appareil n'était en quelque sorte considéré, que comme un collecteur de la fonte provenant du haut fourneau et permettant de rendre plus uniforme la composition de la fonte basique destinée à l'alimentation du four. Mais depuis cette époque, le mélangeur a montré depuis longtemps qu'il n'était pas qu'un simple collecteur de fonte, mais aussi un affineur préliminaire du métal, en même temps qu'il élevait la température de la fonte basique, avant son introduction dans le four.

Certains mélangeurs ressemblent à des fours oscillants, munis de tous les appareils de chauffage et de récupération dont sont équipés les fours Martin modernes et jouent, en quelque sorte, le rôle de fours intermédiaires en ce qui concerne la réduction considérable du manganèse, du silicium, du phosphore et du soufre avant l'introduction du métal dans le four basique où doit se faire l'affinage définitif. D'autres mélangeurs sont plutôt employés simplement comme collecteurs et comme désulfurateurs et ne fournissent qu'un métal ayant, non seulement une composition uniforme, mais encore la température indispensable aux opérations ultérieures.

Vis-à-vis du procédé Bessemer, aussi bien que pour le procédé Martin, le mélangeur joue un rôle prédominant (Voir au Chapitre xxx, les gravures et les descriptions des mélangeurs). Le mélangeur a été, en quelque sorte, le supplanté du convertisseur Bessemer et autres fours dans leur association avec le four Martin, comme affineurs préliminaires. C'est ce qui se passe dans les procédés de fabrication de l'acier, connus sous le nom de procédés duplex, encore actuellement employés aux Etats-Unis, au Canada, au Mexique et au Japon (sur le continent ils paraissent être abandonnés¹). Ces procédés avaient en vue l'affinage partiel des éléments préjudiciables, dont la présence rendait impossible, dans certains cas, l'application du four Martin basique. Ils permettaient en outre d'obtenir une production rapide. Le mélangeur présente à lui seul et jusqu'à un certain point, tous ces avantages.

C'est depuis 1878², qu'à Witkowitz, le convertisseur Bessemer fut employé pour affiner le métal avant de le passer dans le four Martin basique et, depuis cette époque, ce procédé fut employé dans plusieurs autres aciéries. En Amérique, il est employé aux aciéries Jones et Lau-

¹ *Iron and Coal-Trades Review*, 1910, p. 88.

² *Iron Age*, vol. LXXVI, p. 609.

ghlin de Pittsburg et à la « Dominion Iron and Steel C^o », Sydney, Nova Scotia¹, ainsi que dans d'autres usines importantes, en conjonction avec le four Martin basique.

Actuellement, on emploie d'autres combinaisons comme par exemple le four Martin basique et le four électrique. Cette méthode est surtout employée par l'« American Steel and Wire C^o », Worcester, Mass. E.-U. On a également employé un four Bessemer électrique à la « Verdon Cutts and Hault » de Scheffield, où l'on avait en vue la production rapide de l'acier, sans qu'il soit nécessaire de transvaser le métal soufflé dans un autre four, mais jusqu'à présent on n'a publié aucun compte rendu de ce procédé.

Pour accélérer la fabrication de l'acier, et pour permettre l'utilisation des diverses sortes de fontes qui ne sont pas toujours nettement basiques ou acides, on a apporté de nombreuses modifications ou combinaisons. Parmi les plus importantes, utilisant le métal à l'état fondu, il nous faut citer les procédés de Witkowitz, de Pszczolka-Daelen, de Bertrand-Thiel ou d'Hoesch, le Talbot continu, de Monell et Rees-James et autres.

Les principales caractéristiques de chacun de ces différents procédés peuvent être résumées comme suit :

Procédé duplex de Witkowitz. — Ce procédé permet de transformer en acier les fontes qui contiennent trop de phosphore pour être employées avec le procédé acide et pas assez pour être employées avec le procédé Bessemer basique. La désoxydation partielle du manganèse, du silicium et du carbone par le Bessemer acide, et l'élimination ultérieure de ces éléments, en même temps que le phosphore, par le four Martin basique, constitue la base du procédé. Lorsque cette méthode fut appliquée à Witkowitz, les fontes contenaient 3,7 p. 100 de C ; 1,2 p. 100 de Si ; 2,7 p. 100 de Mn ; 0,2 p. 100 de P et 0,02 p. 100 de S. On les transformait d'abord en un métal contenant 0,1 p. 100 de carbone et 0,4 p. 100 de Mn, sans aucune réduction de phosphore et de soufre, puis l'affinage final était pratiqué de la façon habituelle dans un four Martin basique. Une charge de 10 tonnes était soufflée dans le convertisseur à revêtement acide pendant environ huit minutes, et l'affinage final dans le four Martin basique demandait environ trois heures si l'on ne faisait aucune addition de scraps ou de fonte extra².

Procédé Pszczolka-Daelen. — Ce procédé repose sur le même principe que celui employé à Witkowitz, et consiste dans l'élimination (au moyen de la cornue du convertisseur) de la majeure partie des impuretés contenues dans le métal du haut fourneau avant de le transformer en acier dans le four Martin. La différence entre les deux méthodes paraît se trouver dans l'emploi d'une poche de construction spéciale, dans laquelle on coule directement le métal du haut fourneau, puis de là dans le four Martin, l'élimination partielle des impuretés se faisant dans cette poche avant de verser le métal dans le four.

¹ *Iron Age.*, vol. LXXXV, p. 4138.

² *Ibid.*, vol. LXXVI, p. 609.

A Kropf, en Hongrie¹, on employait un convertisseur fixe de 10 tonnes, de forme spéciale, dans lequel on soufflait du vent chaud à basse pression, au moyen de tuyères inclinées, à la surface du métal provenant du haut fourneau. La perte résultant de la réduction d'une fonte contenant 3,5 p. 100 de C ; 2,2 p. 100 de Mn ; et 1,0 p. 100 de silicium, ramenée à une teneur d'environ 1,0 p. 100 de carbone, était environ de 7,29 p. 100. Le métal étant ensuite introduit dans le four Martin basique, on en faisait l'affinage final de la façon habituelle. En opérant ainsi, cela permettait, au point de vue du rendement, de faire en vingt-quatre heures 7 traitements au lieu de 6, en employant les charges froides de scraps contenant 1 p. 100 de carbone. On réalisait également une économie de 100 à 125 kilogrammes dans la consommation de la houille, l'emploi du métal fondu exigeant 150 kilogrammes de houille au lieu des 250 à 275 kilogrammes consommés quand on emploie des charges froides.

Il faut noter cependant, que ce procédé n'a pas reçu d'importantes applications, par suite des grandes difficultés présentées par l'emploi du convertisseur spécial en forme de boîte, dont on a essayé plusieurs dispositifs.

Procédé Bertrand-Thiel ou de Hoesch. — Le procédé Bertrand-Thiel date de 1894, époque à laquelle il fut breveté. M. John H. Darby et M. George Hatton, dans leur étude sur « Les récents développements du procédé Bertrand-Thiel dans la fabrication de l'acier² », disent qu'à leur avis, l'emploi de deux fours dans ce procédé est basé sur cette opinion de A. Lédébur, « que quand deux substances réagissent chimiquement l'une sur l'autre, la réaction sera d'autant plus lente que les deux substances seront diluées par d'autres substances inertes. En d'autres termes, plus l'excès de l'une des deux substances réagissantes est grand, plus vite se fait la transformation chimique de l'autre ».

Dans l'étude indiquée ci-dessus de Darby et Hatton, on trouve également la façon de conduire ce procédé à Brymbo, Round Oak, et aux aciéries de Hoesch à Dortmund. Depuis 1905, époque à laquelle fut publiée cette étude, on a apporté au procédé de nombreux perfectionnements.

Le but original, était d'enlever les fortes masses de scories formées dans la première partie du procédé où se faisait la fusion des charges solides, et qui seraient devenues très gênantes si on les avait laissées jusqu'à la fin de l'opération, tant en ce qui concerne le taux de rendement que la qualité du produit obtenu. Pour mettre en œuvre ce procédé on employait deux fours Martin fixes. Dans l'un de ces fours, on fondait la fonte phosphoreuse, et la totalité du phosphore et la majeure partie du silicium, ainsi qu'une partie de carbone et du manganèse étaient éliminés. Dans le second four, on chauffait et on fondait avant d'y introduire le métal fondu du premier four, les scraps d'acier et les quantités voulues de minerai de fer et de chaux. En chargeant le métal fondu dans le second four, on prenait soin de ne pas y introduire les scories provenant du premier four.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1909, II, p. 589.

² *Ibid.*, 1905, I, p. 122.

Par ce procédé, on pouvait faire en vingt-quatre heures, de six à sept charges de 20 tonnes d'acier doux. A Brymbo et aux Aciéries de Hoesch on produisait en vingt-quatre heures dix charges de 20 tonnes. M. Springorom¹, directeur des Aciéries de Hoesch, a indiqué que la fonte employée contenait 1,8 p. 100 de P; 0,3 à 0,5 p. 100 de Si et 1,6 p. 100 de Mn et qu'il n'était pas difficile de l'amener régulièrement à 0,015 p. 100 de P dans l'acier doux et 0,02 à 0,04 p. 100 dans l'acier dur. Il indique également, que l'on pouvait arriver à faire de 9 à 10 opérations en vingt-quatre heures, en utilisant dans le premier four des charges liquides. Le four peut faire 240 charges avant d'être réparé.

La méthode actuellement employée avec beaucoup de succès aux Aciéries de Hoesch, consiste à transformer en acier, en deux phases, la fonte liquide provenant du mélangeur, en n'utilisant qu'un seul four. Avant d'introduire la fonte liquide dans le four, on introduit d'abord la chaux, le minerais de fer et les battitures. Immédiatement après, on charge la fonte liquide, les réactions commencent de suite et le phosphore est rapidement oxydé, quoique le métal soit à une température relativement basse, par suite de la présence de la chaux en abondance. C'est le fait qui constitue la caractéristique du procédé. Deux heures et demie environ après le commencement de l'opération, temps pendant lequel la température s'est élevée considérablement, la quantité de phosphore est réduite à environ 0,3 p. 100. La charge totale est alors coulée dans une poche, on décante la scorie, puis on reverse le métal dans le four après y avoir introduit les additions de chaux, de minerais et de scraps. On termine alors l'opération et, pendant cette période, on fait de nouvelles additions de battitures et de chaux, le ferro-manganèse étant ajouté au moment de couler le métal.

Le tableau LXXVII (p. 330), donné par le Dr. O. Petersen², montre les changements chimiques qui se produisent pendant le procédé de Hoesch.

On remarquera, qu'un peu plus d'une heure après l'introduction de la charge, la teneur en phosphore est réduite de 1,86 à 0,37 p. 100, tandis que les scories contiennent plus de 22 p. 100 d'acide phosphorique. Pendant la même période, la teneur en carbone est réduite d'environ 50 p. 100 tandis que le manganèse, qui au commencement du procédé était rapidement transformé en MnO, retourne de la scorie dans le métal, au fur et à mesure que la température du bain augmente et que se produit l'oxydation du carbone. En ce qui concerne le silicium, on n'en trouve plus que des traces après la première période, et on en conclut qu'il est enlevé dès le commencement de l'opération.

Avant que la seconde période ne commence, on charge dans le four une forte quantité de minerais spathique, en même temps que les scraps et la chaux. Ce minerais contient de 9 à 10 p. 100 de manganèse. Il est nécessaire d'employer un minerais riche en manganèse, par suite de la rétrogradation de cet élément de la scorie en métal. La scorie fournie pendant la seconde période est riche en oxyde manganoux, car au début de cette période il y a une active désoxydation de carbone. Le manganèse

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, I, p. 432.

² *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXX, p. 88.

TABLEAU LXXVII
 Changements chimiques ayant lieu pendant le procédé de Hoësch.

ECHANTILLONS pris à	PÉRIODE	ANALYSES DU MÉTAL						ANALYSES DE LA SCORIE						CHARGE ET COMPLÉMENTS	REMARQUES	
		C p. 100	Si p. 100	Mn p. 100	P p. 100	S p. 100	FeO p. 100	MnO p. 100	Al ₂ O ₃ p. 100	CaO p. 100	MgO p. 100	P ₂ O ₅ p. 100	S p. 100			SiO ₂ p. 100
H.																
12,4	1 ^{re} Période.	3,28	0,32	0,96	1,86	0,132	—	—	—	—	—	—	—	—	Chargé 23 264 kg. de fonte; 1880 kg. de chaux; 3438 kg. de minerai de Suède; 770 kg. de battitures.	Coulée de la fonte dans le four.
1,4		2,47	traces.	0,17	0,59	0,102	—	—	—	—	—	—	—			
1,3		1,90	—	0,22	0,47	0,098	10,25	1,03	1,36	41,56	4,32	22,85	0,069	12,20		
1,4	1 ^{re} Période.	4,65	—	0,22	0,37	0,098	7,06	4,96	1,38	45,48	4,00	22,36	0,124	11,80		Fin de la 1 ^{re} période. Métal reversé au four.
2,30		4,46	—	0,34	0,26	0,082	4,67	3,93	1,60	48,86	4,00	22,13	0,138	11,40		
3,00		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
3,50	Période finale.	0,385	—	0,29	0,090	0,10	19,64	13,43	3,17	33,64	6,92	6,25	0,110	14,20	Chargé 2 178 kg. de minerai spathique; 5 409 kg. de scraps et 1 289 kg. de chaux.	
4,50		0,205	—	0,23	0,050	0,089	15,78	12,08	3,00	35,78	6,70	6,70	0,165	15,40		
4,30		0,090	—	0,26	0,045	0,090	15,83	8,88	2,32	43,88	6,60	5,50	0,289	13,20	Chargé 95 kg. de battitures.	
4,45	Période finale.	0,075	—	0,26	0,035	0,080	14,13	10,19	2,21	43,79	6,10	5,37	0,206	14,20	Chargé 160 kg. de chaux. A 4 h. 55, 205 kg. de chaux.	Coulée.
5,5		0,038	—	0,27	0,035	0,078	16,23	8,32	2,20	45,30	5,90	5,55	0,275	14,00		
5,10		0,045	—	0,25	0,030	0,077	17,20	7,67	2,00	46,49	6,42	5,45	0,316	13,00	Ajouté 200 kg. de ferro-manganèse.	
5,15		0,080	—	0,47	0,040	0,067	17,03	10,25	1,90	46,28	5,92	5,00	0,344	12,40		

de la scorie est par conséquent réduit et joue le rôle d'un important agent de désoxydation. L'élimination du phosphore se fait uniformément durant toute la seconde période, la réduction du soufre étant la même dans chaque période. On découvre également d'autres faits intéressants, d'après l'examen du métal et les analyses des scories.

En ce qui concerne la durée du four, le même revêtement peut servir pour un chiffre moyen de 400 charges, les parois n'étant réparées qu'une seule fois pendant cette période.

Procédé Talbot. — Ce procédé se distingue nettement de tous les autres, en ce qu'il permet la fabrication continue de l'acier. Le procédé est basé sur la décarburation rapide de la fonte quand on charge celle-ci dans un bain quatre ou cinq fois plus grand d'acier liquide, pauvre en carbone. Comme la température du bain est très élevée et que sa teneur en carbone est beaucoup plus basse que celle de la fonte introduite, il se produit des réactions très énergiques, entre les impuretés de la fonte et les scories fortement oxydées, provenant des fortes additions de chaux et de battitures que l'on fait dans le métal, avant d'y ajouter la fonte.

Ce procédé utilise un four Martin oscillant, permettant l'enlèvement facile des scories formées. Les fours, ayant jusqu'à 250 tonnes de capacité, sont en marche constante et produisent de 50 à 80 tonnes d'acier chaque trois ou quatre heures. Le procédé est surtout applicable à la fabrication de l'acier doux.

On trouvera la description complète de ce procédé au Chapitre xxxv.

Procédé Talbot continu, dans les fours Martin-Siemens fixes. —

En 1905, Mr. S. Surzycki¹ a donné la description d'une opération de fabrication continue de l'acier, faite en Pologne, aux Acieries de Czenstochowa, avec un four Martin basique fixe de 25 tonnes, basée sur le principe du procédé Talbot et ayant pleinement réussi.

Pour cette opération, le four était muni de deux trous de coulée placés à deux niveaux différents, au lieu d'un seul, comme dans les fours ordinaires, de sorte que la totalité, ou une partie seulement du contenu du four pouvait être versée quand on le désirait. Dans un four de 25 tonnes, on chargeait de 40 à 45 tonnes de métal dont on retirait ensuite 25 tonnes, en se servant du trou de coulée supérieur, laissant ainsi dans le four une charge de 15 tonnes d'acier pauvre en carbone.

En faisant des additions de minerai et de chaux, le bain d'acier était rendu très oxydant avant d'y faire des additions nouvelles de fonte liquide, de sorte que les réactions se produisaient immédiatement après l'introduction de la fonte dans le four. La rapidité de l'opération dans le four était encore accélérée en traitant le métal fondu, contenu dans la poche, avec du minerai finement pulvérisé et préalablement chauffé que l'on projetait dans le filet de fonte s'écoulant du haut fourneau avant de le verser dans le four Martin. En opérant ainsi, on réduisait la quantité du minerai à introduire dans le four.

Le four employé mesurait 8 mètres de long, 2,50 m. de large et 0,60 m.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, I, pp. 412-424.

de haut. Pendant la première campagne, on a fait 574 charges sans réparations. Après avoir réparé les carneaux, les portes et les chambres de régénération, on a encore pu faire dans le four plus de 690 charges.

Le fonte employée contenait :

Carbone.	jusqu'à 3,0	p. 100.
Graphite.	— 3,7	—
Silicium.	0,8 à 1,9	—
Manganèse	0,0 à 1,5	—
Phosphore.	0,5 à 0,8	—
Soufre.	0,02 à 0,10	—

Le four faisait 3 charges de 25 tonnes chacune par vingt-quatre heures, et en un mois la consommation des matières premières fut la suivante :

	TONNES	PROPORTION par tonne de bons lingots.
Fonte froide	140,8	70,15 kg.
— liquide	1 809,5	902,92 —
Ferro-manganèse	20,9	10,38 —
Scraps	19,8	9,88 —
Minéral de fer (Krivoi-Rog).	458,1	228,56 —
Chaux	144,3	71,83 —
Aluminium	0,08	— —
Dolomie calcinée	107,70	53,69 —
Minéral de chrome	2,00	0,99 —

Production = 5003,7 t. de bons lingots ; — 45,8 t. de scraps — Rendement = 102,72 p. 100 — Nombre de jours de travail = 25 — Production journalière = 77,07 t.

Procédé Monell et Rees-James. — Ce procédé est une modification du procédé Monell, qui fut breveté en 1900, et qui diffère en principe du procédé Bertrand-Thiel ou de Hoersch, en ce sens qu'il utilise un four Martin basique, dans lequel la réduction du phosphore de la fonte est faite bien longtemps avant l'élimination du carbone. Le point capital de la différence de conduite du procédé se trouve dans l'emploi des oxydes de chaux et de magnésie (lesquels sont chargés dans le four avant le métal liquide) à une très haute température, voisine de celle de la fusion. Il en résulte la formation d'une importante masse de scorie, en même temps que la température relativement basse du métal favorise l'oxydation rapide du phosphore, du silicium et du manganèse en même temps que la réduction partielle du carbone. On enlève alors 80 p. 100 environ de la scorie et le bain, qui se trouve dans de bonnes conditions pour subir l'action de la flamme, est transformé en acier de la manière habituelle au moyen d'oxydes appropriés. Ce procédé a surtout en but la fabrication rapide de l'acier.

C.-W. Tideström¹ a publié une description du procédé Monell tel qu'il est appliqué aux Homestead Steel Works, E.-U. Le four se compose d'une

¹ *Bihang Till Jernkontorets Annaler*, 1904, pp. 351-368 ; 389-401.

sole en magnétite sur laquelle on charge trois tonnes de chaux, puis ensuite 1,0 à 1,2 tonne de minerai préalablement chauffé, selon la quantité de silicium contenue dans la fonte. Au bout de quatre-vingt-dix minutes environ, lorsque le minerai est presque fondu, on verse 40 tonnes de fonte liquide provenant directement du haut fourneau. De la réaction qui se produit, il en résulte une scorie épaisse qui réduit la majeure partie du phosphore, du silicium, du manganèse et d'une partie du carbone. Deux heures après le chargement de la fonte, on enlève la majeure partie de la scorie formée, au moyen d'un trou de coulée situé à environ 8 centimètres au-dessus de la surface du métal, ce qui permet de laisser une couche suffisante de scorie qui favorise la décarburation complète du métal. La fonte employée contenait C, 3,90 p. 100; — Si, 0,5 à 0,9 p. 100; — Mn 0,8 à 0,9 p. 100; — P, 0,5 à 0,8 p. 100; — S, 0,04 à 0,07 p. 100.

Le minerai contenait, Fe, 64,0 p. 100; — Si 3,0 p. 100; — Mn 0,1 p. 100; — P, 0,1 p. 100.

La scorie donnait à l'analyse = SiO_2 , 20 p. 100; — Fe, 20 à 25 p. 100; — P_2O_5 3 à 5 p. 100; — Chaux 20 à 25 p. 100.

Par ce procédé, on peut faire de 16 à 18 opérations par semaine donnant de 650 à 700 tonnes de lingots, ce qui correspond à un rendement de 100 à 102 p. 100 de la charge. Le temps nécessaire pour chaque opération varie de $7\frac{1}{2}$ à $8\frac{1}{2}$ heures.

Procédé Knoth. — Le procédé⁴ utilisant le métal liquide, breveté par Henry Knoth de Birmingham, Alabama, E.-U., nécessite une mention spéciale, car il englobe une partie du principe servant de base au procédé Talbot continu, tout en utilisant le four Martin fixe ordinaire. Cependant, au lieu de laisser dans le four une partie de l'acier, ce qui nécessite deux trous de coulée à deux niveaux différents comme dans le four Surzycki, on verse toutes les charges dans la poche, et on en coule les deux tiers dans les moules, le restant étant remis dans le four après l'avoir mélangé à de la fonte nouvelle, pour parfaire la charge entière. Le fait de diluer la fonte avec de l'acier pauvre en carbone permet d'abrèger la durée du procédé, mais il ne nous est pas possible de donner des détails sur la conduite de l'opération. Il nous semble cependant que les procédés de Hoesch et Talbot sont plus économiques.

⁴ *Iron Age*, vol. 70, p. 5.

CHAPITRE XXVI

LE DÉVELOPPEMENT DU FOUR MARTIN-SIEMENS

Historique. — On a si souvent décrit les énormes difficultés rencontrées par les frères Siemens, dans leurs recherches en vue de perfectionner leurs fours à récupération chauffés au gaz, pour la fabrication de l'acier, que nous pensons qu'il nous est simplement utile de faire ici, un historique très abrégé pour rappeler les différentes phases de son développement.

Antérieurement aux expériences de Sir W. Siemens et de son frère Frédéric, de nombreux inventeurs avaient consacré beaucoup de temps et de talent, dans le but de perfectionner les fours employés pour le puddlage de la fonte et pour produire directement l'acier en partant du minéral. L'application aux fours de régénérateurs, permettant de chauffer l'air nécessaire à la combustion au moyen de la chaleur perdue des fours, fut

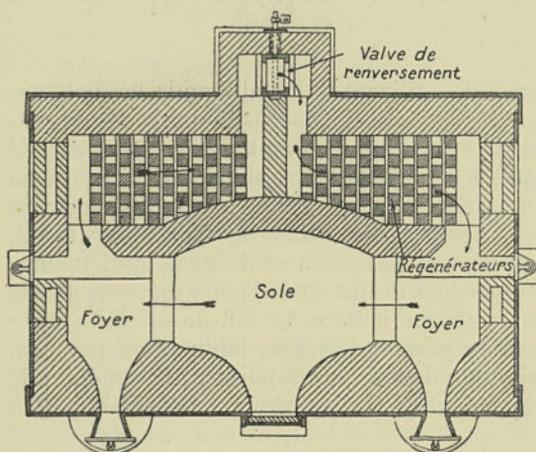


Fig. 123. — Premier four Siemens avec régénérateurs.

une innovation apportée aux fours de chauffage et de fusion de l'acier. Ce fut plusieurs années après que Frédéric Siemens fit breveter son four en 1856, lequel est représenté par la figure 123, qu'il fut employé avec plein succès à la fabrication de l'acier.

Pour le réchauffage de l'acier, Siemens avait déjà largement remarqué le succès de son four, ce qui l'encouragea à continuer ses expériences en vue de la fusion de l'acier. En 1862, Siemens établit les plans d'un four pour Chas. Attwood, de Towlaw, Durham, et fit construire l'année suivante, un grand four destiné aux usines de Montluçon (France) sous la direction du D^r Otto Siemens. Ces deux fours étaient destinés à la fabrication de l'acier. Ni l'un ni l'autre de ces fours n'obtinrent les résultats pratiques

espérés lorsque Siemens acheta une aciérie à Birmingham qu'il appela plus tard son « Sample Steel Works » avec l'intention de perfectionner son invention. Dans cette usine, il entreprit de nombreuses expériences qui lui permirent, non seulement de modifier et de perfectionner son four, mais aussi d'établir sur des bases inébranlables le procédé de fabrication de l'acier connu sous son nom.

Aux usines de la Bolton Steel Co et de la Barrow Hematite Co, les fours à récupération de Siemens furent employés, dès 1866-1867, au puddlage de la fonte et au chauffage de l'acier, mais pendant cette époque, ils ne furent que très peu employés à la fabrication de l'acier. Les résultats ne donnèrent sans doute pas satisfaction à Siemens, car il entreprit dans son « Sample Works » de Birmingham, de nouvelles expériences qui amenèrent plus tard, en 1868, la formation de la Landore Siemens Co.

Son four fut installé la même année à la Crewe Works of the L et N. W. Railway Co, par Ramsbottom qui était alors ingénieur. Il fut employé à la fabrication de l'acier par le procédé « fonte et scraps » préconisé par les frères Martin, de Sireuil, France, qui travaillaient avec un four Siemens (dont ils possédaient une licence) tandis que Siemens continuait ses expériences en Angleterre.

Développement de l'idée. — Le perfectionnement du tracé du four et celui du procédé furent conduits simultanément. Les hautes températures nécessaires, pour arriver à produire les résultats désirés pour la fabrication de l'acier, avaient une action très préjudiciable sur les matériaux employés pour les revêtements des fours. La chaleur agissant sur certaines parties du four, plutôt que sur d'autres, on fut obligé de modifier la forme des cloisons, de la sole, des carneaux et des régénérateurs. Des perfectionnements durent être apportés aux conduits et aux valves, afin d'obtenir le maximum d'effet, avec les diverses sortes de combustibles employés. Plus tard, avec l'emploi des revêtements basiques, on employa les fours oscillants, permettant l'enlèvement facile des scories formées pendant la fabrication de l'acier. Ces fours oscillants se sont développés avec succès sur une grande échelle, car ils permettent d'obtenir de fortes productions d'acier. Dans la description suivante des perfectionnements apportés graduellement dans le tracé des fours, on remarquera que si le four moderne a atteint le maximum de la perfection, c'est grâce au labeur d'un grand nombre d'expérimentateurs, ainsi que le met en évidence le nombre important des brevets demandés.

Premier four Siemens avec régénérateurs. — La figure 123, dont nous avons déjà parlé, représente une vue en plan du premier four à régénération pour lequel Frédéric Siemens obtint un brevet en 1856. Les régénérateurs, placés derrière le four, servaient simplement au chauffage de l'air, qui se combinait aux gaz du combustible solide employé, au moment de leur passage dans le four. La maçonnerie de la chambre de régénération absorbait l'excès de chaleur du gaz se rendant à la cheminée, et lorsque l'on renversait la valve qui admettait l'air dans le régénérateur qui venait d'être parcouru par les gaz chauds, la maçonnerie cédait sa chaleur à l'air froid se rendant dans le four.

Siemens prétendait, dans la description de son brevet, que son four permettait l'emploi des combustibles gazeux ou solides et dans son tracé on retrouve les éléments du principe de la régénération appliqué à des fours à sole ou autres, servant au chauffage ou à la fusion de l'acier.

Dans une communication¹ faite à l'« Institution of Mechanical Engineers » en 1857 par M. C.-W. Siemens, il signale que l'invention du four à régénération est due à son frère M. Frédéric Siemens et montre que l'économie, que l'on pouvait réaliser à cette époque par l'emploi de ce four, par

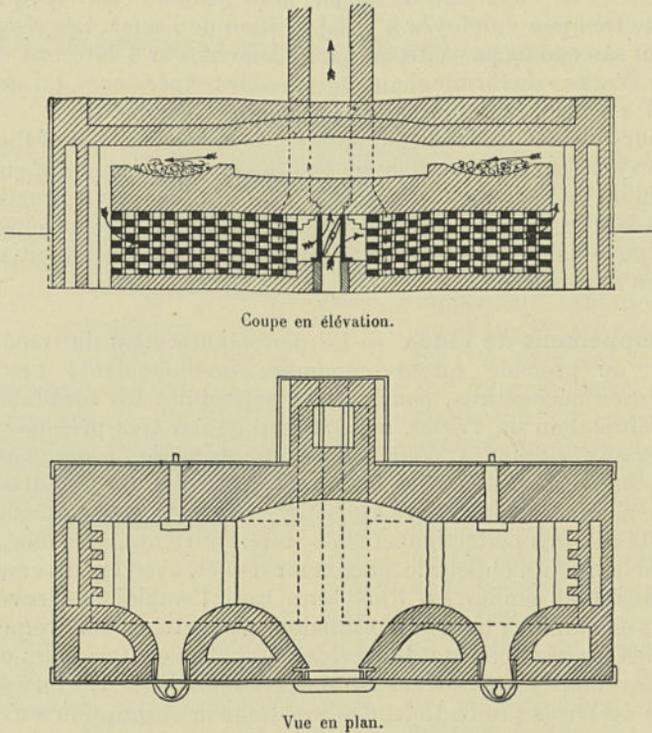


Fig. 124. — Four Siemens avec régénérateurs sous la sole.

rapport à ceux alors employés, s'élevait de 70 à 80 p. 100. La figure 124 représente le four décrit par M. Siemens et l'on y observera que les régénérateurs sont placés sous le four, et non derrière celui-ci, comme dans la figure 123.

Durant plusieurs années, ce type de four, légèrement modifié, fut employé aux aciéries de MM. Marriot et Atkinson, de Sheffield², pour le chauffage de l'acier. Au lieu d'employer deux foyers et une chambre de chauffe, comme le montre la figure 124, on employait un seul foyer et deux chambres de chauffe, dont l'extrémité de chacune était munie d'un régé-

¹ *Proceedings Inst. of Mechanical Engineers*, 1857, pp. 403-411.

² *Ibid.*, 1862, p. 23.

nérateur. La raison qui a conduit à abandonner le four à deux foyers était que ces deux foyers étaient traversés l'un après l'autre par l'air chaud, de sorte que la consommation de combustible du second, ne servait à rien.

Régénérateurs à air et à gaz. — Le principe de la régénération ne fut pas appliqué au chauffage de l'air et du gaz, avant que les frères Siemens n'aient imaginé leur gazogène avec régénérateur combiné, vers 1862.

Le type de gazogène employé est représenté par la figure 186, Chapitre XXXI, sur les « Gazogènes ». Quant aux régénérateurs, ils se composent d'une chambre construite sous le four, divisée en quatre compartiments, dont deux étaient reliés aux extrémités du four et étaient munis de valves permettant le renversement de la marche, valves analogues, à quelques perfectionnements mécaniques près, aux valves actuellement employées.

Four rotatif. — En 1872, C.-W. Siemens fit breveter un four rotatif pourvu de quatre régénérateurs. A cette époque, il avait en vue la fabrication directe de l'acier en partant du minerai. Dans ce four, il employait

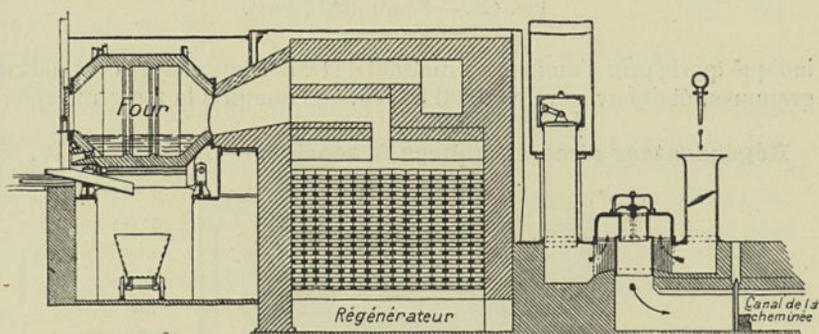


Fig. 125. — Four rotatif de Siemens (1872).

un revêtement fait avec de la bauxite calcinée, dont l'emploi lui avait été conseillé par M. Le Chatelier. Comme il obtint d'excellents résultats avec ce four, dans son « Sample Works » de Birmingham, il fit construire des usines à Towcaster, Northampton, qui furent mises en marche en 1875. Rien ne montre qu'il en retira un résultat profitable, car elles ne tardèrent pas à être arrêtées. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de noter que Siemens avait obtenu des résultats intéressants avec le four rotatif, précurseur du four oscillant actuel. La figure 125 représente une coupe longitudinale du four rotatif de Siemens.

Four rotatif Siemens de Pernot. — En 1874, le four rotatif Pernot fut installé en France à Saint-Chamond. Il se compose d'une sole circulaire, montée sur un truck spécial, sous un angle de 5 à 6 degrés par rapport à l'horizontale, le truck étant posé sur un chemin de roulement sur lequel il circulait au moyen d'un engrenage convenable. Le truck et la sole pou-

vaient circuler et sortir de la chambre au moyen de rails. La figure 126 représente le four-truck, en ordre de marche, au-dessus des chambres de régénération.

La sole rotative inclinée avait pour but de soumettre plus complètement à l'action de la flamme, les parties fondues et non fondues de la charge. On chauffait au rouge la charge de fonte et de scrap avant de la charger. Il nous semble que le prix du four fut un obstacle à la généralisation de son emploi, car il permettait d'obtenir un excellent acier. Jeans¹ a

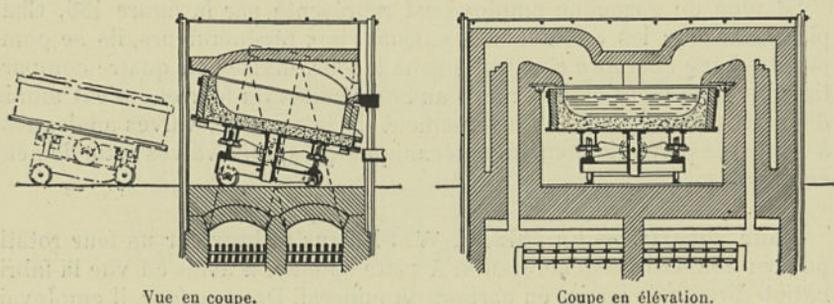


Fig. 126. — Four rotatif Pernot.

indiqué que le prix d'un four permettant de traiter une charge de 2 500 kilogrammes, était environ de 30 000 francs, non compris la force motrice.

Régénérateur avec chambres à scories. — En 1875, C.-W. Sie-

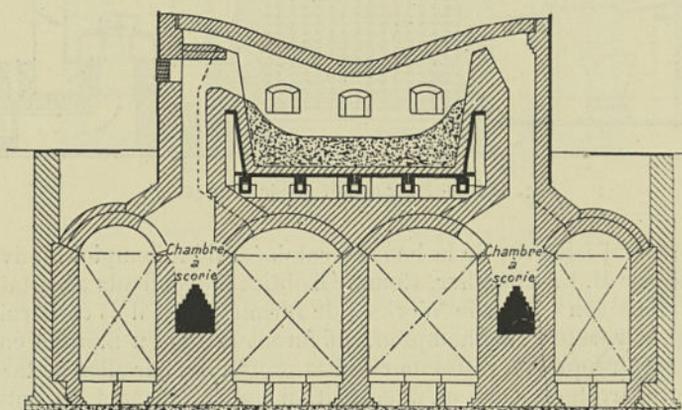


Fig. 127. — Four Siemens avec chambres à scories.

mens a imaginé un dispositif simple et effectif, pour éviter que les battitures et le fer, sous forme d'oxydes, ainsi que les scories liquides, ne se répandent dans les chambres de régénération et dans les chicanes en briques. La chaleur intense des gaz chauds, chargés de particules poussière-

¹ Jeans, *Steel*, p. 464.

reuses, fond la surface de la maçonnerie des cloisons, en produisant des scories qui sont entraînées dans les chambres. En examinant la figure 127, on remarquera que les carneaux d'arrivée et de sortie des gaz, placés à chaque extrémité du four, descendent verticalement pour être ensuite bifurqués au-dessus des chambres destinées à recevoir les poussières et les scories. Le fond de ces chambres est muni d'une trappe, permettant l'enlèvement périodique des matières déposées.

Four rotatif avec soufflage d'air. — Le four rotatif représenté par la figure 128, fut breveté en 1876 par J. K. Johnson, qui avait en vue la fabrication plus rapide de l'acier, en envoyant dans le métal un courant d'air sous pression au moyen de tuyères placées dans la sole du four.

Outre le vent sous pression, les carneaux amenaient au four un mélange d'air et de gaz dans des proportions déterminées.

Le four était monté sur un dispositif spécial, sur lequel on le faisait tourner pour dégager les tuyères lorsque l'on n'avait plus besoin du vent, ou pour décharger le métal à la fin de l'opération. Comme le montre la figure ci-contre, le four en entier pouvait tourner sur le dispositif spécial, alors que les carneaux d'arrivée et de sortie demeuraient fixes. Le vent sous pression était amené aux tuyères au moyen d'une conduite flexible. Cet-emploi du vent rappelle les expériences faites en 1855 par George Parry à Ebbw Vale Iron Works.

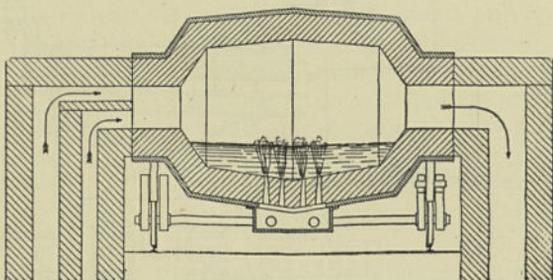
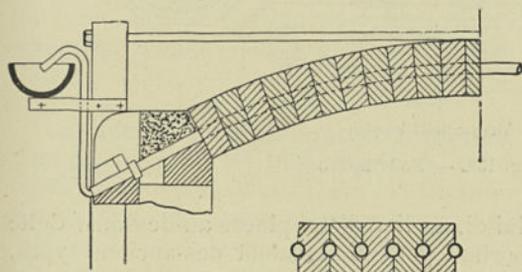


Fig. 128. — Four rotatif avec soufflage d'air.

Protection des parois des voûtes. — Les voûtes sont faites généralement,



Coupe par les briques et la tuyauterie.

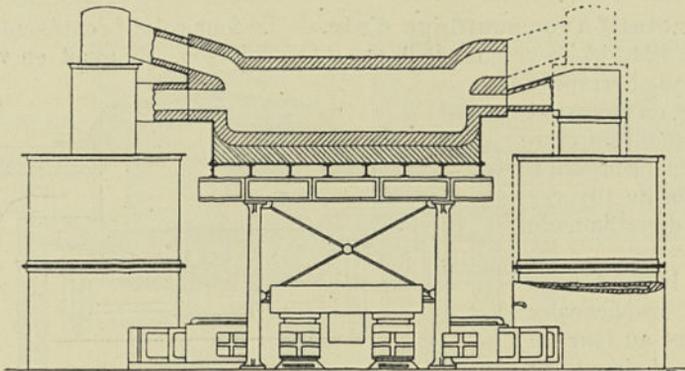
Fig. 129. — Voûte de four, refroidie par l'eau.

qu'il s'agisse d'un four acide ou d'un four basique, avec des briques de silice. De nombreuses modifications ont été apportées de temps en temps dans le tracé de ces voûtes, non seulement pour retirer l'effet maximum du four, mais aussi pour réduire l'usure des matériaux qui les composent. On a obtenu des résultats avan-

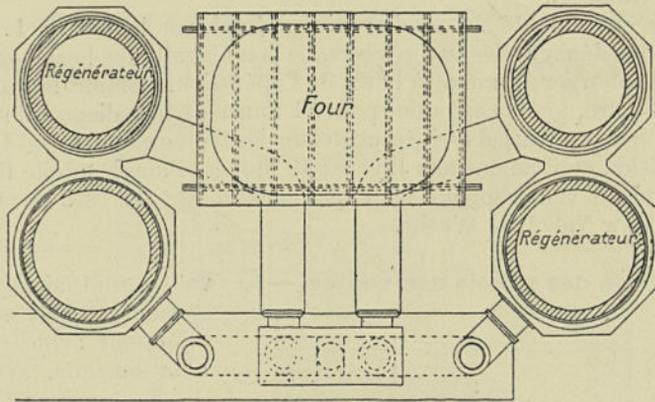
tageux en remplaçant les voûtes en forme d'arches par des voûtes surbaissées. La figure 129 représente la coupe d'une voûte refroidie par de

l'eau, dispositif breveté en 1875 par W. L. Wise. Il se compose de briques spéciales, disposées de façon à former la voûte, et qui sont traversées, comme le montre la figure, par une tuyauterie dans laquelle circule un courant d'eau froide.

Régénérateurs placés aux extrémités du four. — En 1877, C. W. Siemens fit breveter un four dans lequel les régénérateurs étaient



Vue partielle en élévation.



Vue partielle en plan.

Fig. 130. — Four Batho.

placés aux extrémités de celui-ci, au lieu d'être placés au-dessous. Cette disposition constitue un important perfectionnement des anciens types, que l'on peut encore trouver de nos jours dans certaines usines, car la rupture de la sole entraînait une détérioration profonde des chambres de régénération. Dans les fours modernes, les régénérateurs sont placés, soit à chaque extrémité du four, soit au-dessous de celui-ci, mais dans ce dernier cas, il y a toujours une seconde voûte placée entre la sole et les régénérateurs.

La figure 130, représente un four dont les quatre régénérateurs construits sur les côtés se dégagent entièrement du four. Ce dispositif est connu sous le nom de four Batho. Les régénérateurs ont la forme de réservoirs cylindriques, dont les carneaux qui les relient avec le four sont munis de valves à renversement comme le montre la figure.

L'avantage de cette disposition est que les régénérateurs peuvent être facilement visités et réparés.

Revêtement basique des fours. — C'est en 1878, que S. G. Thomas fit breveter le mélange qui permet d'employer avec succès les revêtements basiques dans les fours Siemens et les convertisseurs Bessemer. Ce mélange se composait de calcaire magnésien, très finement pulvérisé, mélangé avec environ 8 à 10 p. 100 de son poids d'une solution de silicate de soude. Pour l'employer avec les fours Siemens, il fallait damer ce mélange sur le fond du four, pour constituer la sole. Depuis le premier brevet, ce mélange a subi de nombreuses modifications faisant l'objet d'autres brevets ultérieurs, qui contribuèrent au succès de son emploi. Nous avons examiné entièrement la question des revêtements basiques au Chapitre II, section II, sur les « Matériaux réfractaires ».

Construction des carneaux du four. — Longtemps après que Siemens eut introduit son four chauffé au gaz, avec régénérateurs, la méthode de construction des carneaux était restée la même, c'est-à-dire que les carneaux à air et à gaz étaient placés aux extrémités du four et sur le même niveau. On avait cependant constaté que la voûte se détériorait rapidement dans les parties où débouchaient ces carneaux, et que les carneaux eux-mêmes avaient beaucoup à souffrir de l'action mordante des flammes ainsi que des gaz. C'est cette raison qui a conduit à construire des carneaux plus longs et plus rapprochés, ceux à air étant placés un peu plus haut que ceux à gaz, dans le but d'obtenir une meilleure combustion par mélange plus parfait du gaz et de l'air.

On a également proposé et essayé plusieurs modifications de la disposition originale, et quelques-unes ont montré leur efficacité en prolongeant plus longtemps la durée de leur construction. Nous allons examiner quelques-unes de ces modifications.

Carneaux à air débouchant au-dessus du four. — En 1878, Hackney, et en

1882, Hackney et Wailes, ont fait breveter un système de carneaux dans lequel l'air pénétrait par la partie supérieure du four, et descendait verticalement, suivant un angle déterminé, vers la sole en se mélangant avec le gaz amené par les carneaux

à gaz disposés à la même extrémité du four. Dans le dernier brevet, on maintient la même disposition des carneaux, mais on prévoit la construction d'une chambre auxiliaire de combustion, indépendante du four, mais

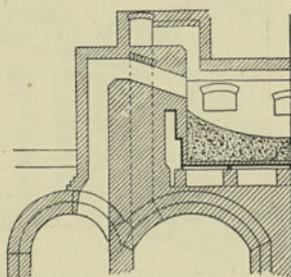


Fig. 131. — Disposition des carneaux de Hackney.

reliée à celui-ci, au moyen de tuyaux légers garnis intérieurement avec

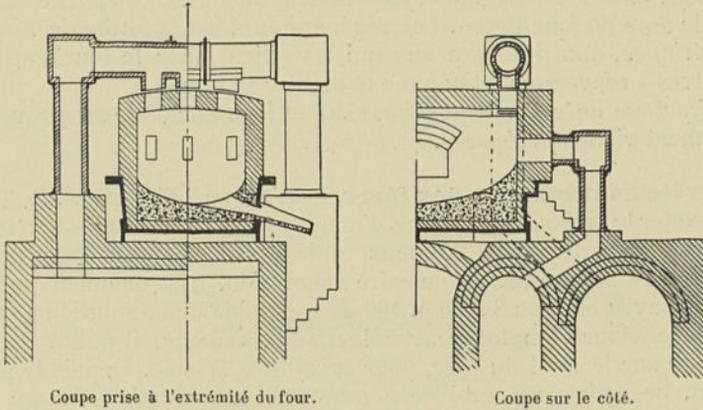


Fig. 132. — Disposition des carneaux de Hackney et Wailes.

des matériaux réfractaires. Les figures 131 et 132 représentent respectivement le dispositif de carneaux de Hackney, et de Hackney et Wailes.

Carneau d'arrivée du gaz pénétrant dans le carneau d'arrivée de l'air. — La figure 133 représente une coupe en élévation, d'un dispositif breveté par Dietrich en 1893. Celui-ci avait un double but : 1°, introduire le gaz et l'air par les extrémités du four et 2°, n'utiliser que le gaz de régénérateur ; l'air nécessaire à la combustion étant admis dans le four, au moyen d'une ouverture placée à la partie infé-

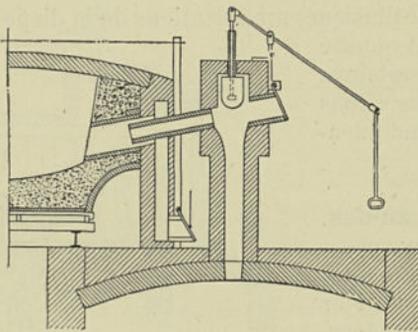


Fig. 133.
Dispositif de Dietrich.

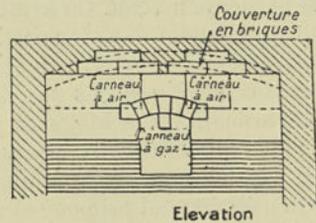


Fig. 134.
Dispositif de Robinson et Pope.

rieure de la paroi latérale, et se mélangeant avec les gaz dans la chambre de combustion. Nous ne pensons pas que ce dispositif ait reçu une application pratique.

Facilités d'examen des carneaux à air. — En 1894, Robinson et Pope ont fait breveter un dispositif permettant l'examen facile des deux carneaux à air, par simple enlèvement d'une brique de la voûte du four, placée convenablement au-dessus de chacun de ces carneaux. Grâce à ce dispositif, on réduisait sensiblement les dépenses d'entretien et de réparation des carneaux. La figure 134 représente l'arrivée dans le four des carneaux à gaz et à air, ces derniers étant recouverts de leur couvercle en briques.

Four avec voûte mobile. — Dans certains cas, on a reconnu qu'il y aurait avantage pour le chargement des matériaux très lourds, ne pouvant

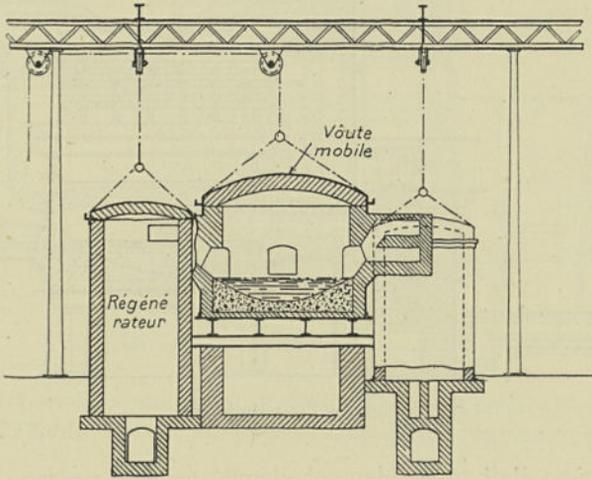


Fig. 135. — Four à voûte mobile de Dick et Riley.

être chargés facilement par les ouvertures ordinaires, de disposer d'un four dont la voûte pourrait être enlevée facilement. C'est cette raison qui donna à MM. F. W. Dick et J. Riley, l'idée de faire breveter en 1884 un four avec voûte mobile. Grâce à ce dispositif, le chargement se faisait beaucoup plus rapidement qu'à la main, car les trucks chargés de scraps et de fonte pouvaient être vidés sur la sole, au moyen d'un pont roulant, de même que l'on pouvait déposer doucement sur la sole, de grosses masses de scraps d'acier. Les machines modernes de chargement remplacent maintenant ces méthodes rapides de chargement. En visitant les aciéries de MM. Jones et Laughlin à Pittsburg, E.-U., dans le courant de l'été 1912, nous avons vu un four de 25 tonnes, à revêtement acide, muni d'une voûte mobile, dans lequel on pouvait introduire facilement de très grosses pièces d'acier, comme par exemple de vieux engrenages de laminoirs et autres pièces analogues, pesant plusieurs tonnes. On pouvait également renverser directement sur la sole, les trucks chargés de scraps plus légers et de fonte. Ce four était presque exclusivement employé pour produire l'acier destiné aux moulages de la fonderie.

La figure 135 représente le dispositif de Dick et Riley.

Four avec gazogène et régénérateur combinés. — En 1884, F. Radcliffe, de Woolwich, a fait breveter un four Martin, dont le gazogène et le régénérateur faisaient partie de la structure du four. La chambre de régénération, d'une construction spéciale était placée sur le four. La figure 136 représente une vue en coupe de ce dispositif. Le gaz arrivait directement du gazogène sur la sole du four, où il se mélangeait avec l'air qui arrivait par une série de tuyaux, construits en matériaux réfractaires, et disposés, sur plusieurs rangées, dans la chambre de régénération. Les tuyaux étaient chauffés par les gaz perdus qui, en sortant du four, passaient autour de ceux-ci avant de se rendre à la cheminée. L'air employé

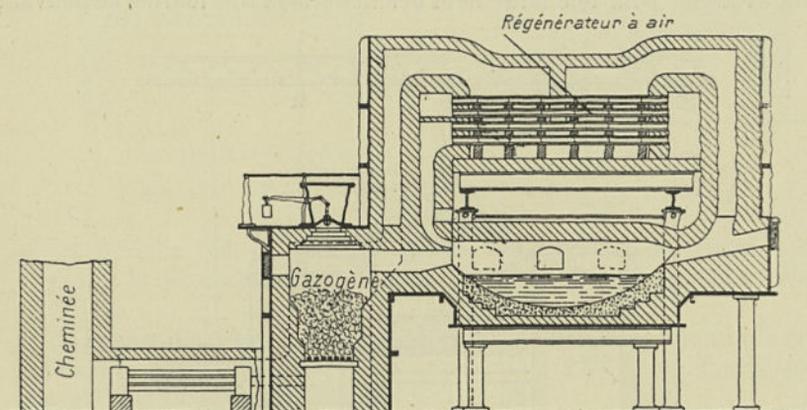


Fig. 136. — Four Radcliffe.

par le gazogène était préalablement chauffé par son passage dans des tuyaux, placés dans le canal de la cheminée, et qui recevaient la chaleur des gaz perdus. Ce four, sous une forme légèrement modifiée, fut employé avec beaucoup de succès, à l' Arsenal de Woolwich et ailleurs. Il n'y a dans ce four aucun renversement de la marche du gaz du four.

Ultérieurement, en 1885 et 1887, des brevets ont été pris respectivement par J. T. King et H. Burrows, pour des fours dont les régénérateurs étaient construits sur le même principe que celui du four Radcliffe, mais disposés différemment par rapport à la sole du four.

Régénérateurs placés à une seule extrémité du four. — En 1885, F. Siemens fit breveter un four n'ayant qu'une seule série de régénérateurs, placés à une extrémité du four. La flamme parcourait le four et était dirigée, par des carneaux, dans le bas où se trouvaient les régénérateurs qu'elle traversait avant de se rendre à la cheminée. Les deux régénérateurs ne servaient qu'au chauffage de l'air seulement, et on les employait alternativement comme suit par renversements périodiques : le gaz du gazogène, mélangé avec l'air, passait dans le régénérateur de droite et lorsque la flamme avait fait son voyage autour du four, les produits de la combustion se rendaient à la cheminée après avoir traversé le

régénérateur de gauche. On renversait alors la valve à air, et le même parcours se produisait, mais en sens inverse. Ce four, connu sous le nom de four Siemens « Nouveau type », convient particulièrement bien pour la fusion de petites charges de deux à cinq tonnes. La chaleur intense produite, détériore souvent la maçonnerie à l'endroit où les flammes lèchent les parois avant de s'introduire dans les carneaux de sortie. Il est vrai que les flammes rencontrent certains obstacles intentionnellement placés,

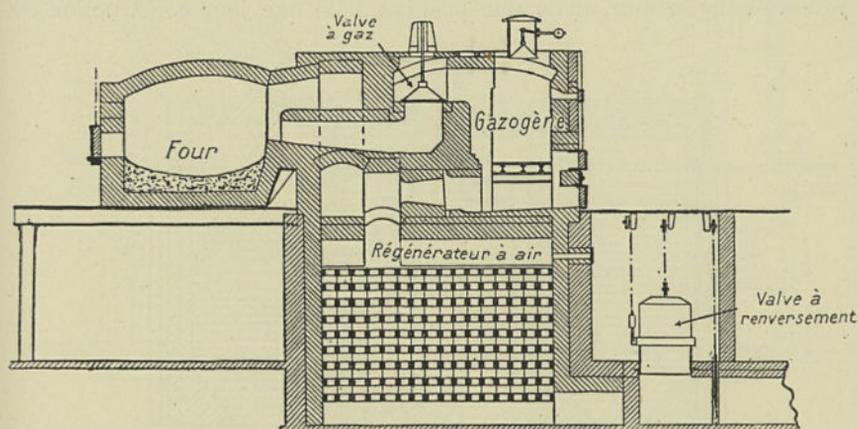


Fig. 137. — Four Siemens « Nouveau type ».

gérant leur parcours qui, s'ils n'existaient pas, éviteraient une détérioration aussi rapide des maçonneries. La figure 137 représente ce four.

Four Siemens « Idéal ». — En 1891, B. H. Thwaite, fit breveter un four permettant d'obtenir de très hautes températures, dans lequel on pouvait employer les combustibles liquides et gazeux. La figure 138 représenté une vue en coupe de ce four, qui avait surtout en vue une utilisation plus complète de la chaleur que dans tous les autres types de fours.

Le four Thwaite fut conçu d'après des données théoriques, et représentait, d'après l'auteur, le type de four idéal. Les régénérateurs, ou plutôt ce qu'il appelle les récupérateurs, sont placés au-dessus du four et ne servent qu'au chauffage de l'air seulement. Ils sont séparés par un canal central, dans le fond duquel se fait l'arrivée de l'air, qui y est envoyé sous pression, au moyen d'un ventilateur. Le gaz qui entre, passe à travers des chicanes en briques, et se mélange avec l'air provenant des récupérateurs, avant d'arriver sur la sole du four.

Les gaz perdus se rendent dans le récupérateur placé à l'autre extrémité du four, en même temps que se fait le chauffage des chicanes en briques par les gaz balayés du four.

La cheminée est placée au-dessus de la conduite centrale et la valve de renversement se trouve immédiatement au-dessous de la cheminée. Cette valve, ainsi que celle à gaz, sont reliées ensemble et sont manœuvrées automatiquement.

Lorsque l'on emploie l'huile comme combustible, celle-ci arrive à chaque extrémité du four, au-dessus des chicanes en briques, et se mélange avec l'air qui descend des récupérateurs.

Disposition perfectionnée des récupérateurs. — La figure 139 représente une coupe partielle en élévation d'un four avec récupérateurs et carneaux, breveté en 1892 par Duff. Il dispose les chambres des récupérateurs sous le four, dans une position telle que leur construction est

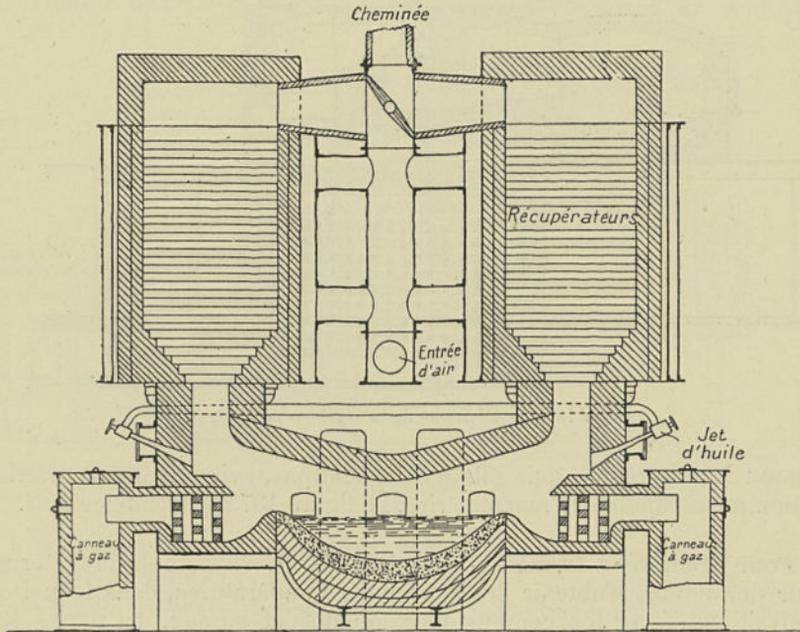


Fig. 138. — Four « Idéal » de Thwaite.

indépendante du four. Leurs carneaux sont branchés sur une conduite verticale qui relie le four aux récupérateurs. Cette conduite descend plus bas que les carneaux allant aux récupérateurs, de sorte que les poussières et les scories viennent s'accumuler à la base et peuvent être facilement enlevées périodiquement. En ce qui concerne les chambres à poussières, ce dispositif ne diffère de celui breveté par Siemens en 1875, qu'en ce que ces chambres à poussières sont placées extérieurement, par rapport aux récupérateurs, au lieu d'être placées entre eux.

Fours avec double sole. — Il existe plusieurs brevets relatifs aux fours à double sole. En 1887, G. Hatton fit breveter un four rotatif, dans lequel on employait alternativement pour la fusion de la charge, la sole et la voûte, les portes et les trous de coulée étant placés dans la partie médiane entre la sole et la voûte et d'un seul côté du four. En 1890, G. Rodgers, fit breveter un four fixe, muni d'une double sole, représenté

par la figure 140, et qui avait pour but de retirer le métal de chaque bain au moment voulu.

Saniter en 1900, et Talbot en 1901, firent aussi breveter des fours avec

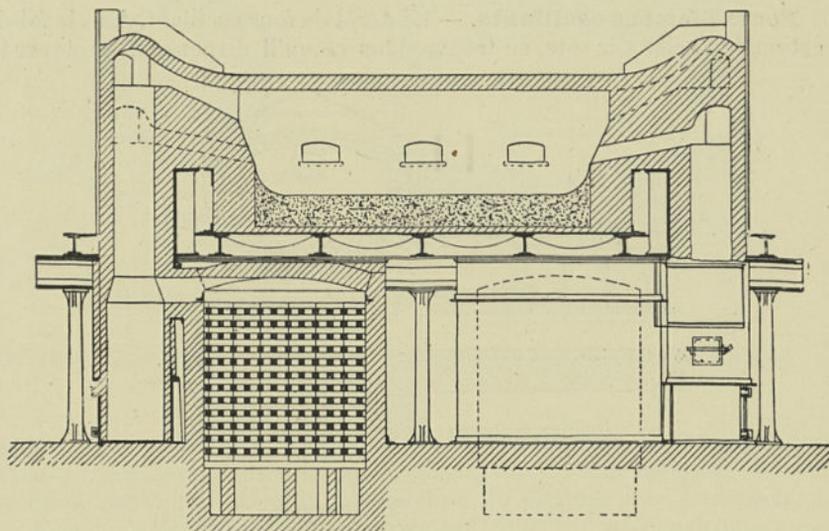


Fig. 139. — Four Duff avec régénérateurs perfectionnés.

double sole pour le travail continu. En dehors de certains cas spéciaux, il est peu probable que ce dispositif soit bien pratique et permette de réaliser des économies appréciables.

Fours avec ouvertures de coulée à

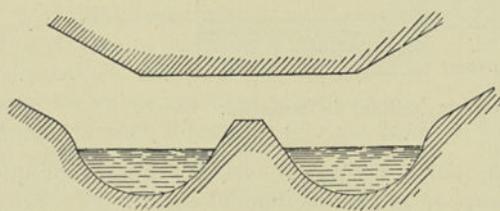


Fig. 140. — Coupe d'un fond à double sole (de Rodgers).

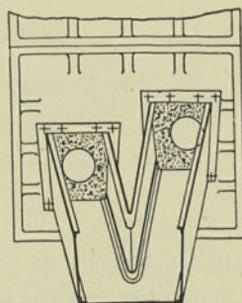


Fig. 141. — Four de Surzycki avec trous de coulée placés à deux niveaux différents.

des niveaux différents. — Dans son brevet de 1900, Saniter préconise l'emploi de deux ouvertures de coulée, et Surzycki, en 1902, fit breveter un four avec sole profonde, muni d'ouvertures de coulée placées à des niveaux différents, dans le but de réaliser la fusion continue. L'ouverture supérieure devait être employée de temps en temps, sans agiter le métal du bain du dessous. L'ouverture inférieure n'était seulement employée que pour vider complètement le four, ou pour quand il fallait

réparer le fond. Pour la fabrication continue de l'acier, le four Surzycki fut employé de cette façon, avec beaucoup de succès¹. La figure 141 montre la disposition des trous de coulée.

Fours Siemens oscillants. — L'intérêt du four oscillant, dans la fabrication de l'acier sur sole, se trouve dans ce qu'il dispense d'employer la

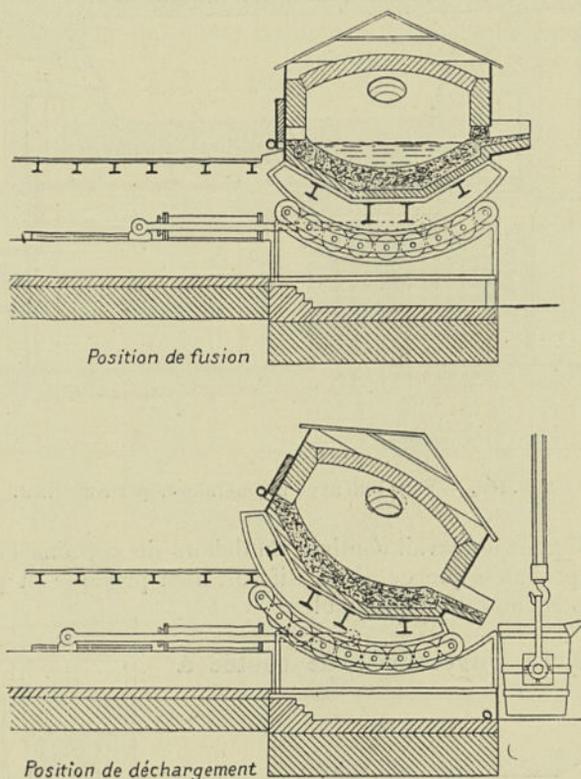


Fig. 142. — Four oscillant de Campbell.

manière habituelle de faire la coulée, ce qui est surtout pratique lorsque l'on emploie le procédé basique, car on peut facilement enlever les scories au moment voulu. Il présente aussi un intérêt spécial dans la fabrication de l'acier par le procédé continu, où l'on ne coule en une seule fois qu'une partie de la charge. Il existe plusieurs sortes de four de ce genre, qui ont été brevetés et employés pour la fabrication de l'acier, mais ils ne diffèrent les uns des autres qu'en ce qui concerne les applications mécaniques.

C'est en 1889, que le four Campbell, maintenant si répandu aux Etats-Unis, fut introduit par son inventeur à la Pennsylvania Steel C°. La figure 142 représente deux vues en coupe de ce four. Il se manœuvre au moyen d'un cylindre hydraulique et d'une tige, placé horizontalement sur

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, 1, p. 412.

les fondations du four, la tige étant fixée après le fond du four. Le four tourne sur son axe, au moyen de galets de roulement. Les carneaux de

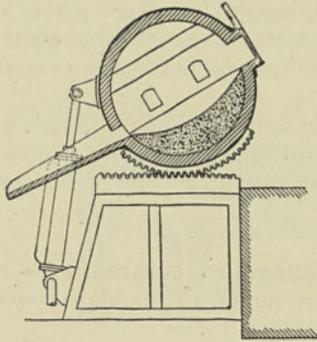


Fig. 143. — Four oscillant de Wellman (1895).

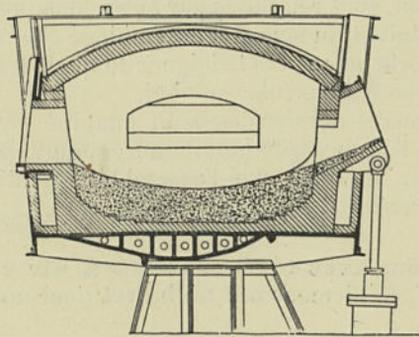


Fig. 144. — Four oscillant de Wellman (1898).

gaz et d'air sont ovales dans la partie mobile du four, et correspondent avec les carneaux fixes d'air et de gaz, quand le four est placé dans sa position horizontale. Depuis l'installation du premier four Campbell, on l'a beaucoup perfectionné, tant en ce qui concerne sa construction que le dispositif mécanique d'oscillation.

La figure 143 représente une coupe en élévation d'un four breveté par Wellmann en 1895. Le four proprement dit a la forme d'un cylindre, sur lequel est fixé un segment denté qui vient s'engrainer sur une crémaillère fixée aux fondations au moyen de supports.

L'oscillation se fait au moyen d'une tige et d'un cylindre hydraulique. Les carneaux à air et à gaz concordent avec les carneaux fixes d'arrivée des régénérateurs, lorsque le four est dans la position horizontale.

En 1898, M. G. J. Johnson fit breveter pour la Wellman Seaver Eng C^o, une modification du four ci-dessus. Au lieu d'employer une crémaillère et un segment denté, le four est supporté sur un berceau, ce qui permet de le faire basculer pour décharger le métal fondu.

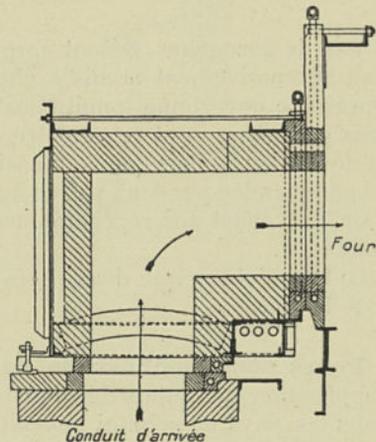


Fig. 145. — Assemblage mobile de Talbot à refroidissement d'eau.

Le mouvement de bascule est obtenu, comme le représente la figure 144, au moyen d'une tige et d'un cylindre hydraulique.

En 1900, Benjamin Talbot fit breveter un assemblage mobile permettant de travailler avec le four oscillant de Wellman. La figure 145 repré-

sente une coupe en élévation du dispositif employé pour relier au four, le conduit d'arrivée du gaz.

Les parties de l'assemblage qui viennent s'adapter sur le conduit et sur le four, sont refroidies par l'eau, ainsi que les parties correspondantes du conduit et du four. Cet assemblage est fixé sur un châssis muni de galets, de sorte qu'on peut l'éloigner de quelques centimètres du four, au moment où l'on fait basculer celui-ci.

Dans le dernier dispositif imaginé pour le four Wellman, le joint, qui relie l'assemblage mobile au conduit, est constitué par un joint hydraulique, de sorte que l'assemblage peut se déplacer quelque peu, sans inconvénient.

Four avec régénérateurs à air et gazogènes combinés. — En 1907, F. Siemens prit un brevet pour un four chauffé au gaz, dans lequel

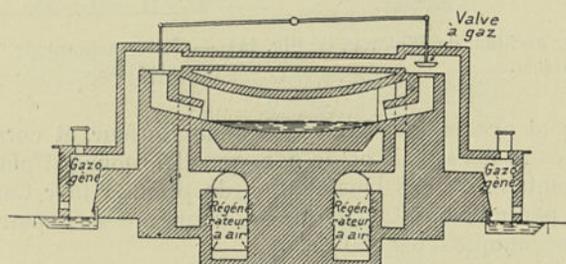


Fig. 146. — Four de Siemens avec gazogène à chaque extrémité.

le gaz de gazogènes, faisant corps avec la structure principale du four, était alternativement admis à chaque extrémité du four. La figure 146 représente une coupe longitudinale de ce four. On remarquera que les deux gazogènes sont reliés entre eux au moyen d'une conduite passant au-dessus du four, et que l'admission du gaz, à chaque extrémité du four, est commandée par deux valves dont l'une s'ouvre quand l'autre se ferme. L'air, provenant des régénérateurs, est admis dans le four de la manière habituelle.

Le four n'utilise que deux régénérateurs, qui sont placés tous les deux sous le four.

Fours pour combustible liquide. — Durant ces dernières années, l'application du combustible liquide dans le four Siemens s'est développée dans les pays où celui-ci pouvait être obtenu dans des conditions plus économiques que la houille, pour la production du gaz. On emploie avec succès, aussi bien dans les grands que dans les petits fours Siemens, de nombreux types de brûleurs pour l'emploi du combustible liquide.

Pour utiliser un brûleur à combustible liquide, il n'est pas nécessaire de modifier la construction du four, mais il est d'une pratique courante d'employer des régénérateurs à gaz et à air, pour chauffer seulement l'air nécessaire à la combustion. Lorsque l'on utilise le pétrole lampant, il est simplement nécessaire de faire une ouverture dans la cloison du four et

à chaque extrémité, pour permettre le passage des brûleurs. Les brûleurs sont utilisés alternativement, celui qui n'est pas en action étant suffisamment retiré pour ne pas être endommagé par la flamme. Cette manœuvre se fait facilement car les conduites du brûleur sont flexibles.

L'huile est envoyée aux brûleurs sous pression. La pression de vapeur

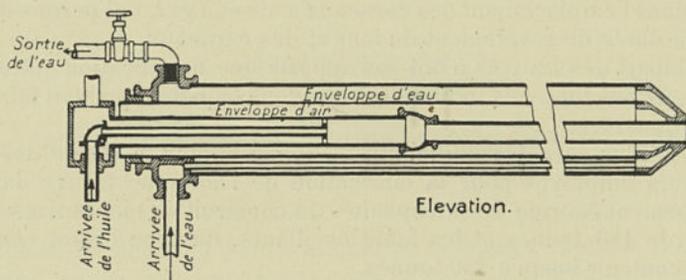


Fig. 147. — Brûleur à combustible liquide pour fours Siemens.

ou d'air, généralement employée pour obtenir la volatilisation complète de l'huile traversant le brûleur, est d'environ 3 kilogrammes par centimètre carré. L'air chaud, provenant des régénérateurs, se mélange au combustible juste au moment d'arriver sur la sole du four.

La figure 147 représente un des nombreux types de brûleurs. Il fut breveté par M. C. H. Speer qui, en collaboration avec M. W. M. Carr, a

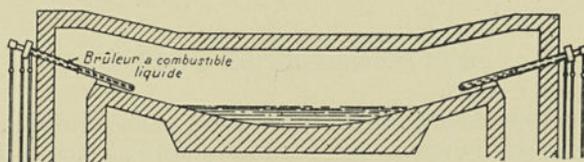


Fig. 148. — Position des brûleurs à combustible liquide.

apporté, en Amérique, de nombreux perfectionnements aux fours chauffés avec des combustibles liquides. Le brûleur perfectionné de Speer a surtout en vue d'éviter de retirer du four le brûleur non en service, tandis que l'autre fonctionne. Pour cela, il est muni d'une double enveloppe, dans laquelle circule un fort courant d'eau, qui entoure le brûleur et le maintient relativement froid. L'eau pénètre dans la double enveloppe, au moyen d'un petit tuyau, indiqué sur la figure. Entre la double enveloppe d'eau et le brûleur proprement dit, il y a une enveloppe d'air qui empêche le refroidissement du tube intérieur dans lequel passe le combustible et la vapeur ou l'air sous pression, en même temps qu'il le protège de l'action intense de la flamme.

La figure 148 représente la position des brûleurs dans le four. Les extrémités de chaque brûleur sont supportées par de petits blocs réfractaires fixés à la maçonnerie du four.

Conclusions. — D'après la description que nous venons d'en faire, on peut conclure que les fours à sole modernes ne diffèrent, que sur de

petits détails, du four original imaginé par les frères Siemens. Le principe de la régénération est appliqué de nos jours de la même façon qu'il était appliqué en 1856, par Frederick Siemens. L'application du gazogène, constitue un progrès, car elle a permis de n'employer que deux régénérateurs au lieu de quatre. Enfin, les modifications apportées dans les dimensions et dans l'emplacement des carnaux à air et à gaz, ont permis d'augmenter la durée du revêtement du four et des carnaux.

Si la plupart des brevets n'ont pas apporté une modification nettement pratique, ils ont toutefois indiqué le sens dans lequel on pouvait faire des améliorations.

Le fait le plus caractéristique, qui distingue le four moderne des premiers fours employés pour la fabrication de l'acier, se trouve dans le développement énorme de sa capacité. On construit des fours fixes d'une capacité de 180 tonnes et les fours oscillants, du type Talbot continu, peuvent contenir jusqu'à 250 tonnes.

Dans le chapitre suivant, « Construction des fours Siemens fixes », nous donnerons des détails aussi complets que possible sur la façon de les construire.

CHAPITRE XXVII

CONSTRUCTION DES FOURS MARTIN-SIEMENS FIXES

Dans la construction des fours du type Siemens ou Martin, il existe sur certains points, peu importants, des différences d'opinion, mais si l'on veut obtenir de bons résultats avec ces fours, il y a un certain nombre de considérations qui sont à envisager. Ces considérations ne portent, ni sur la forme des fours, ni sur la façon de les construire, mais sur les proportions relatives des parties sur lesquelles s'exécute le travail. Ces proportions ne diffèrent que très légèrement, que le four acide ou basique soit fixe ou oscillant. Dans le cas de fours fixes, destinés au procédé continu, ces variations portent sur les dimensions des soles par rapport à leur capacité, mais sur les autres points les différences sont très petites.

Fours Martin-Siemens fixes.

Le four Martin-Siemens proprement dit, se compose de deux parties principales (1) la sole de fusion et (2) les régénérateurs. En plus de ces deux parties essentielles, il y a les carneaux qui les réunissent et qui jouent un rôle important dans le travail effectif du four. Il y a également les valves qui servent à régler l'alimentation de gaz et d'air, et la cheminée destinée à l'enlèvement des produits de la combustion. L'alimentation en combustible, le rapport existant entre le gazogène et les dimensions du four (ou les dimensions des tuyaux, si le combustible employé à la place de la houille est du gaz naturel ou du pétrole lampant) jouent un rôle important dans la construction du four.

Nous examinerons les points suivants :

1. Détails généraux du four.
2. Sole.
3. Régénérateurs, y compris les chambres à scories.
4. Valves et carneaux.
5. Cheminée.
6. Gazogènes.

Détails généraux du four. — La planche VI, représente un four Martin-Siemens moderne, qui constitue un perfectionnement marqué de l'ancien type de four représenté par la figure 149.

Le corps du four, est supporté par des fondations en béton tout à fait indépendantes des murs des chambres des régénérateurs. Les fonds et

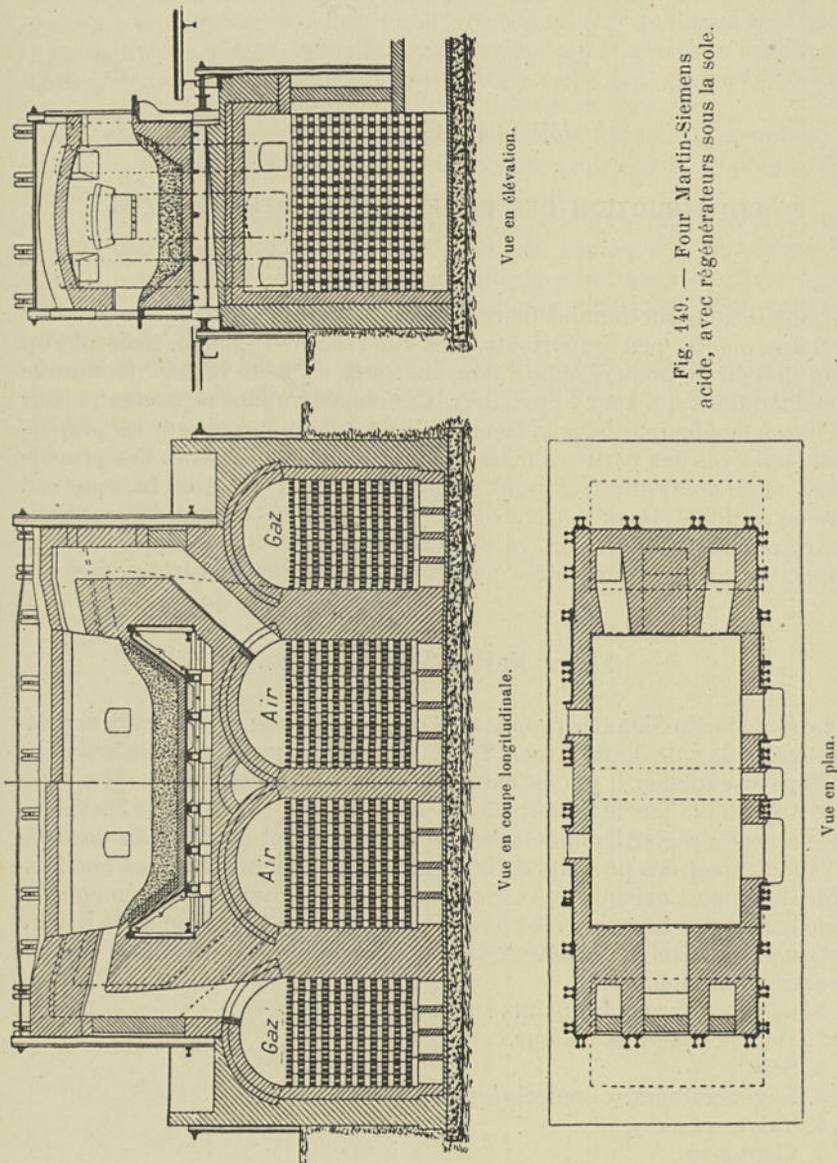


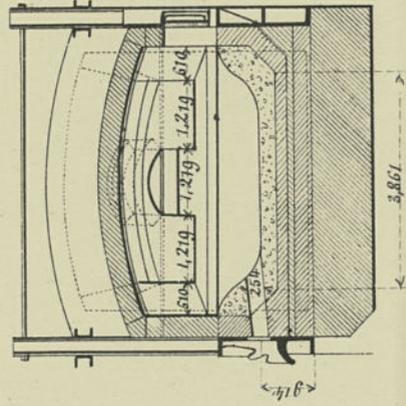
Fig. 149. — Four Martin-Siemens acide, avec régénérateurs sous la sole.

les côtés sont généralement construits en plaques de fonte ou d'acier boulonnées ensemble. De chaque côté du four et contre les plaques, il y a des montants en acier dont la partie inférieure se trouve noyée dans le béton et qui sont réunis ensemble par des tirants fixés à la partie supérieure au moyen de boulons et de colliers. Il y a également de longues

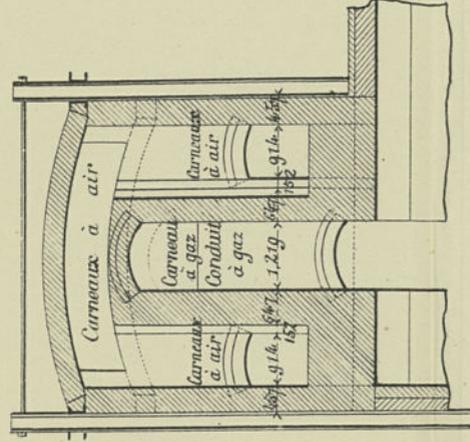
FOUR MARTIN-SIEMENS FIXE MODERNE DE 60 TONNES
SEMBLABLE A CEUX EMPLOYÉS AUX "GARY STEEL WORKS", INDIANA (ÉTATS-UNIS)

Cette figure représente un type de four Martin-Siemens basique moderne. La sole est montée sur un massif en béton. Elle est complètement séparée des chambres des régénérateurs, contruites sous la plate-forme de chargement.

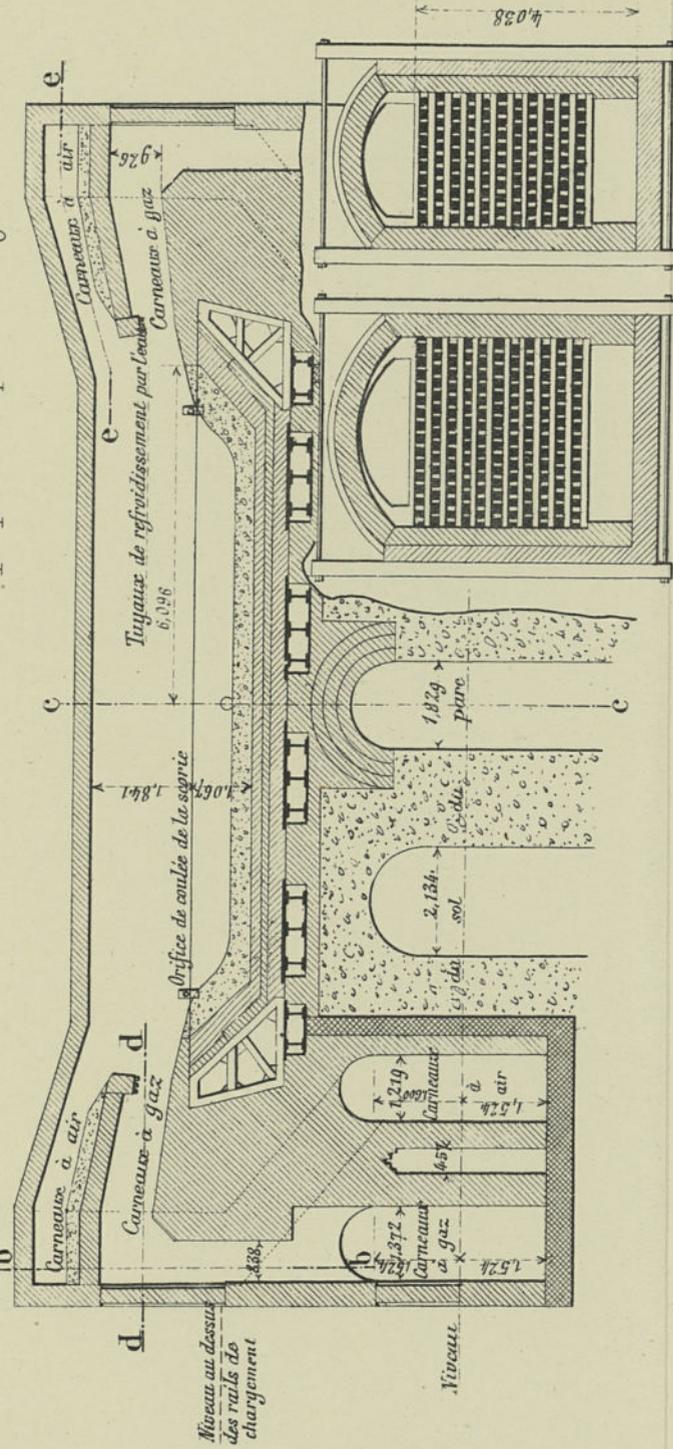
Coupe suivant *cc*.



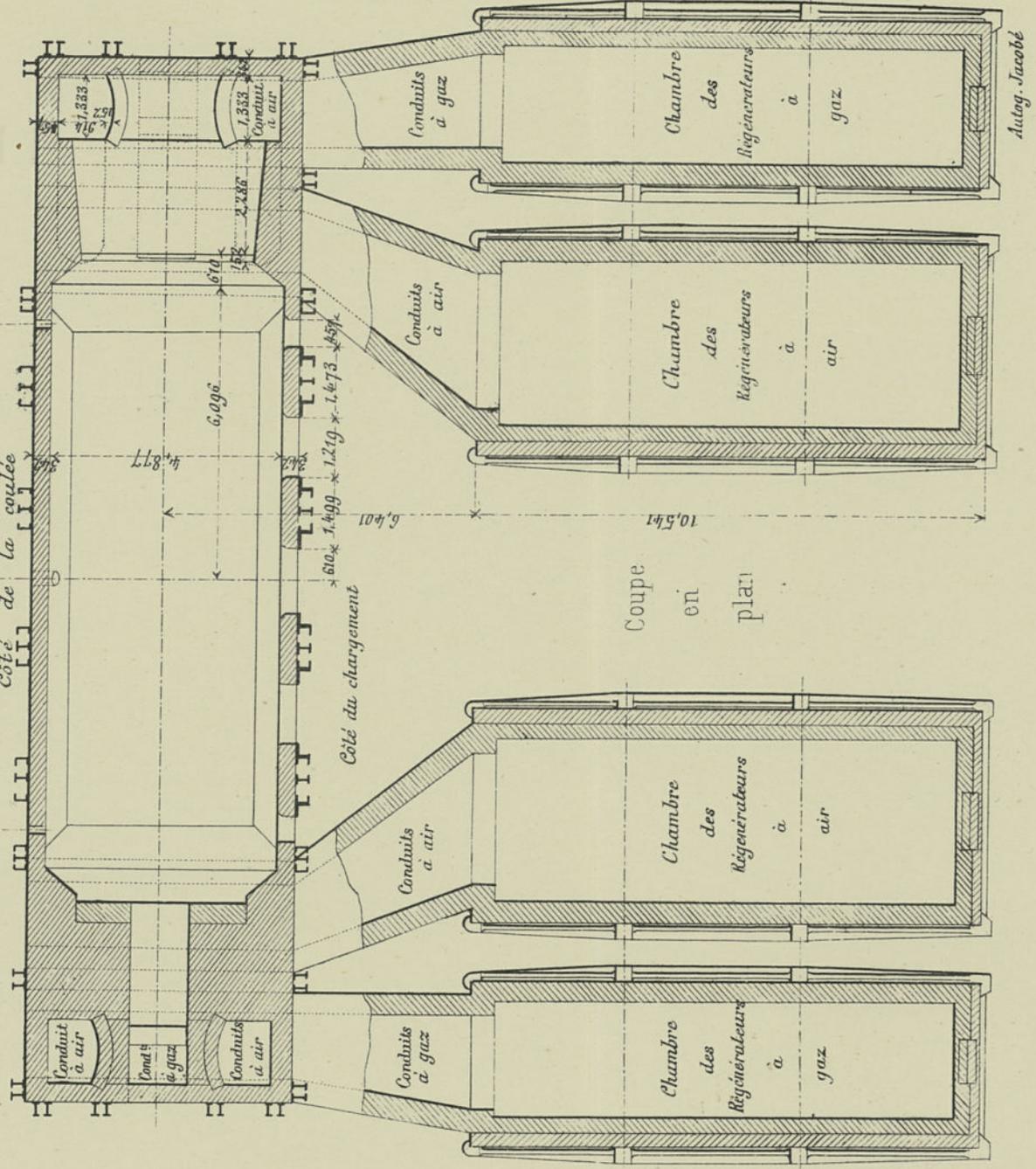
Coupe suivant *bb*.



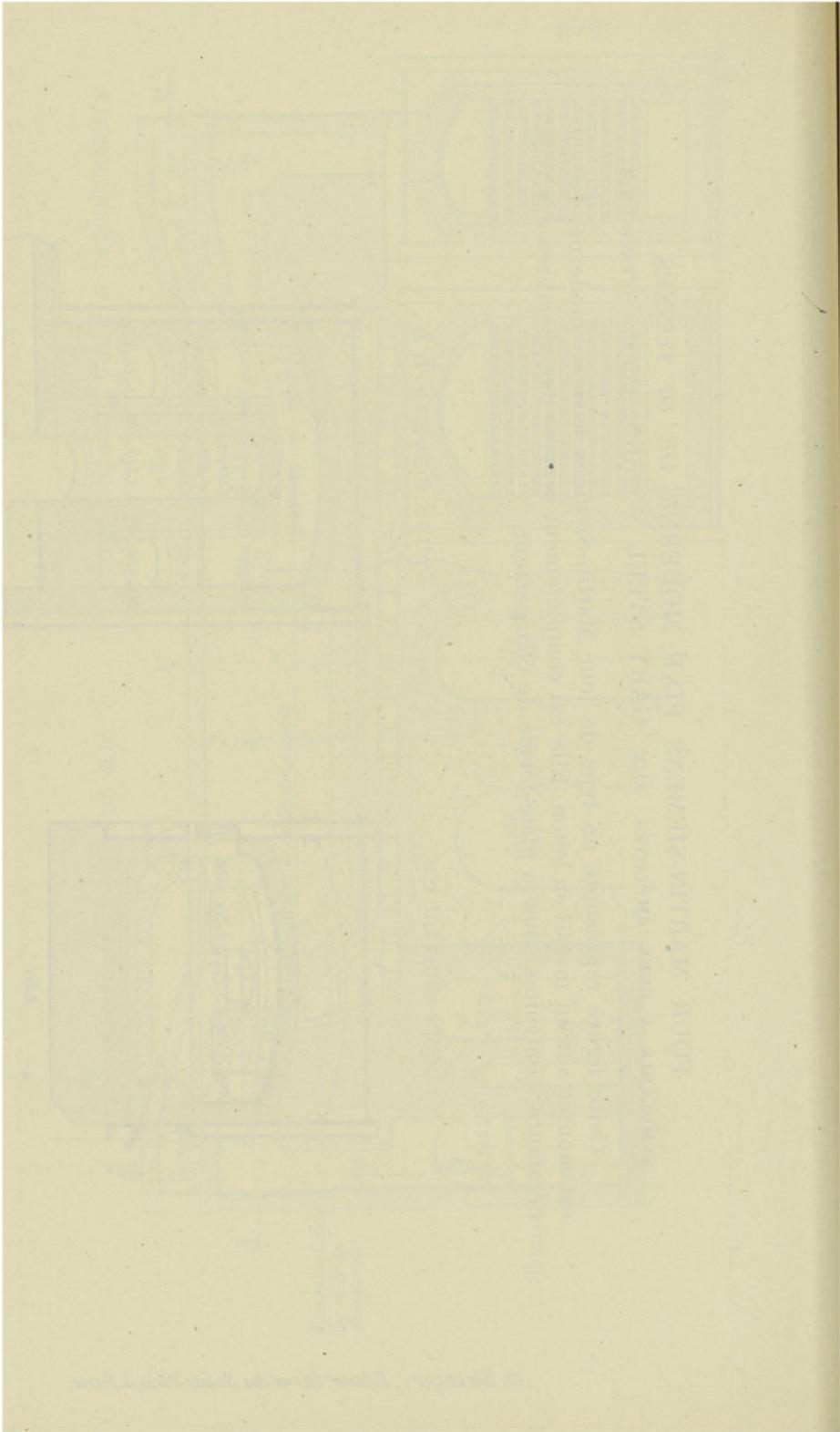
Coupe en élévation suivant *aa*.



Coupe passant par les carneaux à gaz suivant *dd*.



Coupe passant par les carneaux à air suivant *ee*.



tiges qui maintiennent ensemble les pieds-droits. Les maçonneries sont également maintenues au moyen de tirants, de plaques et de montants.

Les portes sont manœuvrées soit à la main, soit hydrauliquement, soit électriquement. Pour les fours de grande capacité, on emploie l'un ou l'autre des deux derniers procédés. Dans le Chapitre xxviii, nous examinerons la question du refroidissement par l'eau des portes et des châssis, car au point de vue du confort du fondeur leur application est nécessaire, pour éviter que celui-ci ne soit chaque fois obligé de se brûler la figure, pour examiner l'intérieur de son four. Il est, du reste, absolument certain, qu'un ouvrier négligera de surveiller attentivement son four, si chaque fois qu'il doit l'examiner, il lui faut endurer une insupportable chaleur.

La plate-forme de chargement du four, est supportée par des traverses et des colonnes et pour les grands fours, elle est garnie de voies servant au chargeur électrique et aux wagonnets chargés des matériaux destinés à la fusion. Pour la disposition générale des fours, mélangeurs, grues, etc., voir le Chapitre xxxii.

Sole. — La figure 150, représente la forme d'une sole moderne pour four fixe. Le fond est constitué par des plaques d'acier, rivées ensemble

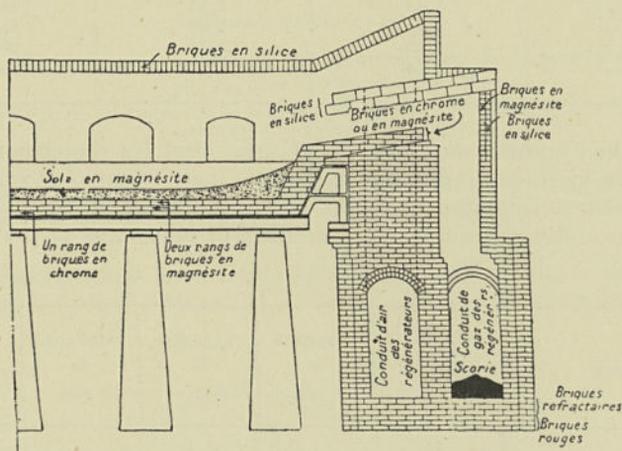


Fig. 150. — Revêtement réfractaire d'un four Martin-Siemens, basique moderne.

et supportées par des traverses en acier. Les matériaux réfractaires servant au revêtement, sont placés sur les plaques d'acier, et l'on donne ensuite à la sole la forme et la profondeur voulues.

Relation entre les dimensions de la sole et la capacité du four.

— En supposant que le pied cubique ($0^{\text{m}^3},029$) représente une charge de 195 kilogrammes d'acier liquide, il faut donc 5,2 pieds cubiques pour faire une tonne anglaise (1 014 kilogrammes). La capacité cubique, par rapport au rendement en tonnes d'acier, dépend de la longueur, de la largeur et de la profondeur du bain du four. Ces trois dimensions ont chacune leur importance.

(a) Il n'est pas nécessaire d'avoir une sole trop courte, car les gaz qui apportent la chaleur, s'échappent avant d'être totalement employés.

(b) La largeur du four est limitée, étant donnée la difficulté de la réparation et du rapiècement, entre les opérations, s'il est trop large. C'est également difficile de faire une bonne voûte.

(c) Si le bain est trop peu profond, il y a des pertes par oxydation.

En général, cette troisième dimension est déterminée après avoir déterminé la longueur et la largeur dont le produit donne la surface. En Angleterre, la surface du bain des fours dont la capacité va jusqu'à 15 tonnes, est approximativement de $4^{\text{m}^2},115$ par tonne d'acier liquide et de $0^{\text{m}^2},743$ à $0^{\text{m}^2},836$ par tonne de capacité, pour les plus grands fours.

Par exemple, les dimensions suivantes sont considérées comme bases, dans la pratique anglaise.

CAPACITÉ DU FOUR	LONGUEUR DE LA SOLE	LARGEUR DE LA SOLE	SURFACE DE LA SOLE
			Mètres carrés.
5 tonnes.	3 ^m ,95	4 ^m ,52	6 ^m ² ,007
10 —	4,48	2,58	11,570
20 —	5,31	2,88	15,348
30 —	7,29	3,34	24,397
40 —	8,51	3,49	29,741

Il y a bon nombre de fours, il est vrai, dont les dimensions ne sont pas celles que nous indiquons ci-dessus, mais néanmoins on peut considérer celles-ci comme étant les plus généralement employées. Nous indiquons ci-dessous quelques dimensions usitées dans la pratique américaine.

FOURS	CAPACITÉ	LONGUEUR de la sole.	LARGEUR de la sole.	SURFACE de la sole.	SURFACE de la sole par tonne de capacité.
				Mètres carrés.	Mètres carrés.
Sharon	50 tonnes.	8,81	4,40	38,76	0,775
Langhlin	—	9,12	4,56	41,58	0,831
Illinois Steel Co	—	9,73	4,25	41,35	0,827
Duquesne	60 tonnes.	9,73	4,47	43,49	0,725
Clairton	—	9,73	4,63	45,05	0,750
Gary	—	10,94	4,86	53,16	0,886
Lackawanna	75 tonnes.	13,22	5,01	66,23	0,883
Gary	—	12,46	4,86	59,09	0,787

On remarquera les variations qui existent dans les dimensions, notamment en ce qui concerne le four de 75 tonnes ayant une surface de $66^{\text{m}^2},23$, soit $0^{\text{m}^2},883$ par tonne de capacité comparé au four de 60 tonnes ayant une surface de $0^{\text{m}^2},725$ par tonne de capacité. Il n'est pas admis comme possible, d'avoir moins de $0^{\text{m}^2},836$ de surface de sole, par tonne

d'acier fondu par chauffe, et pour la réussite d'une opération, il faut que la largeur limite de la sole soit de 4^m,56.

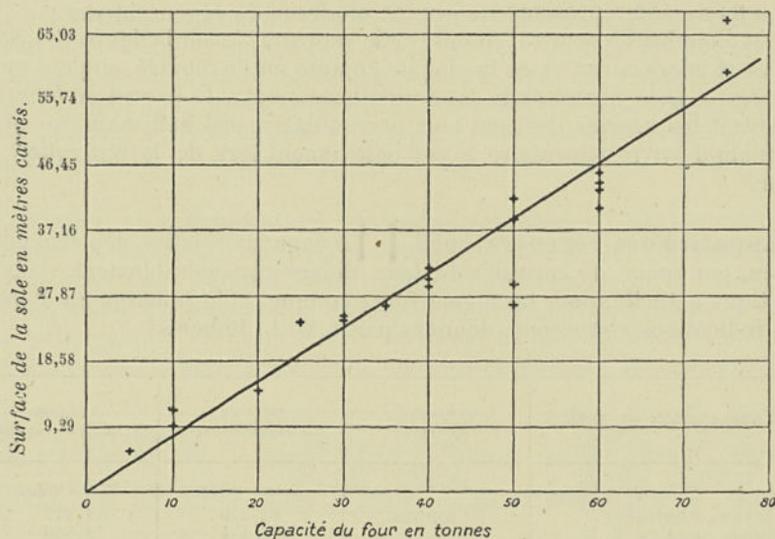


Fig. 151. — Courbe représentant la valeur moyenne de la surface de la sole par rapport à la capacité du four.

Les croix placées de chaque côté de la courbe indiquent le rapport, pour les fours actuellement en service, de la surface à la capacité.

La courbe, représentée par la figure 151, donne la valeur moyenne de la surface de la sole par rapport à la capacité du four.

Régénérateurs. — Il n'est pas douteux qu'il y a une relation entre la position des régénérateurs et la sole du four. L'ancienne méthode qui

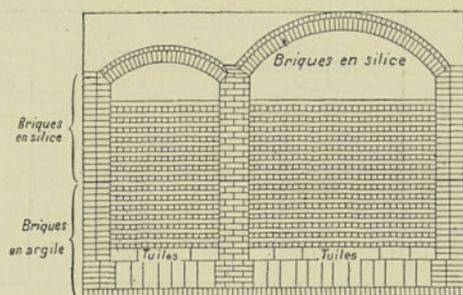


Fig. 152. — Chambres des régénérateurs et leurs chicanes en briques d'un four Martin-Siemens moderne.

consistait à les placer directement en dessous n'est pas considérée comme entièrement satisfaisante, quoiqu'il existe encore des fours qui sont équipés de cette façon.

Dans les fours modernes, on construit invariablement les régénérateurs sous la plate-forme de chargement, et l'on construit une bonne voûte entre eux et le dessous de la sole du four.

La figure 152 représente un groupe moderne de régénérateurs.

Les chambres à scories, comme celle représentée sur la figure 150, sont utiles et nécessaires, et en la plaçant comme on l'a montré, on peut enlever les scories quand on le juge utile sans arrêter le travail du four. En enlevant les scories dès que leur accumulation est suffisante, on évite la main-d'œuvre nécessaire à cet enlèvement lors de la réparation du four.

Capacité des régénérateurs. — La capacité relative des régénérateurs, par tonne de capacité du four, diffère considérablement, dans la pratique actuelle, pour un même four; comme on le remarquera d'après les indications ci-dessous, données par E. G. L. Roberts¹.

EMPLACEMENT DU FOUR	CAPACITÉ du four.	VOLUME des régénérateurs.	VOLUME par tonne de capacité.
		Mètres cubes.	Mètres cubes.
Barrow, Angleterre.	50 tonnes.	62,350	1,247
Illinois Steel Co, E. U.	—	125,454	2,509
Langhlin, E. U.	—	163,212	3,264
Sharon, E. U.	—	185,890	3,718

Il y a donc une tendance, à augmenter le volume relatif des régénérateurs par rapport au tonnage du four, et la pratique américaine est de disposer de 4^m3,350 par tonne d'acier produit, par opération, ou un volume équivalent de chicanes d'environ 2^m3,900.

Les dimensions suivantes, sont celles appliquées dans la pratique anglaise et peuvent être considérées comme types.

CAPACITÉ DU FOUR	CAPACITÉ de chaque chambre à gaz.	CAPACITÉ de chaque chambre à air.	CAPACITÉ TOTAL par tonne de capacité.
	Mètres cubes.	Mètres cubes.	
5 tonnes.	7,830	11,600	3,88
10 —	18,850	24,650	4,35
20 —	25,810	30,450	2,81
30 —	36,830	62,350	3,31
40 —	42,050	50,750	2,32

Forme des régénérateurs. — En ce qui concerne les dimensions relatives des régénérateurs, on admet généralement que la hauteur constitue la dimension la plus importante.

¹ *Iron and Steel Times*, 24 juin 1909.

Cette hauteur varie avec les conditions de situation, et il est difficile de fixer une relation, entre la hauteur et la largeur par tonne de capacité du four, qui pourrait convenir pour toutes les dimensions de fours.

Il est certain, cependant, que si le chemin parcouru par les produits gazeux de la combustion est court et large, les chicanes en briques ne recevront pas autant de chaleur que si le parcours est plus étroit, mais beaucoup plus long. Dans un grand nombre de fours en service, les rapports existant, entre la largeur et la hauteur des chambres à gaz sont de $1 = 2$ et pour les chambres à air de $1 = 1,5$.

Chicanes en briques dans les régénérateurs. — Les dimensions et la qualité des briques employées dans les chambres des régénérateurs varient beaucoup. Certains industriels préfèrent employer des briques carrées, tandis que d'autres, donnent leur préférence, aux briques de section rectangulaire. En fait, il existe un grand nombre de méthodes différentes de construction des chicanes dans les régénérateurs. La figure 153

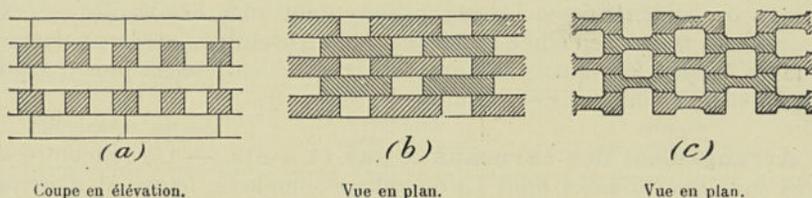
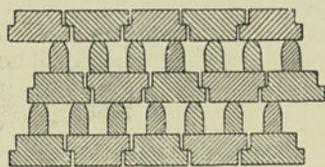


Fig. 153. — Détails des chicanes en briques des régénérateurs.

(a), représente la méthode généralement employée, utilisant des briques carrées, placées sur un même rang et espacées les unes des autres de 6 à 10 centimètres. Entre chaque rang, se trouvent des carneaux espacés également entre eux comme les briques carrées, mais placés à angle droit par rapport à celles-ci. La figure 153 (b), représente une autre méthode. Les briques de $22 \frac{1}{2} \times 11 \frac{1}{4} \times 6 \frac{1}{4}$ sont placées comme on les voit en plan, de sorte que quand toute la maçonnerie est terminée, on obtient une série de carneaux de $10 \times 6 \frac{1}{4}$. La figure 153 (c) représente encore une autre méthode, dans laquelle on utilise des briques de formes spéciales, qui permettent d'augmenter le volume d'air de plus de 30 p. 100 par rapport à celui obtenu avec les dispositifs (a) et (b), tout en conservant pour chaque cas, les mêmes dimensions aux chambres des régénérateurs. La figure 154 représente les chicanes obtenues par le procédé Dietrich. Elles sont employées, avec beaucoup de succès, dans plusieurs aciéries allemandes.



Coupe en élévation.

Fig. 154. — Chicanes système Dietrich.

Dans les chambres des régénérateurs, on fait quelquefois les chicanes avec des briques de silice, mais la nécessité de leur emploi ne se fait sentir que dans les parties des chambres

où la chaleur est la plus forte, le restant pouvant être fait en briques réfractaires.

Carneaux d'arrivée du gaz et de l'air. — Dans les fours Martin-Siemens, les carneaux d'arrivée du gaz et de l'air varient en nombre, en dimensions et en forme. Ils font généralement partie du corps principal du four, et peuvent être réparés, sans toucher au four proprement dit. Dans la construction des fours modernes, on tend de plus en plus à faire des carneaux très longs, allant aussi près que possible de la sole du four, de façon à maintenir la direction du gaz et de l'air, même après une usure considérable. Des soins particuliers, doivent être apportés dans leur construction, pour éviter que, par suite d'une dilatation du briquetage, le gaz et l'air ne puissent se mélanger avant leur arrivée dans le four, ce qui entraînerait une destruction rapide des carneaux.

En Amérique, on commence à employer des carneaux à refroidissement d'eau, afin de réduire au minimum les dépenses et les pertes de temps occasionnées par les réparations fréquentes des carneaux ordinaires. Les briques en silice américaines, ne s'usent pas aussi rapidement que les briques fabriquées en Europe, car elles contiennent plus d'oxyde de fer et de chaux que ces dernières.

Arrangement des carneaux à gaz et à air. — On rencontre de très grandes variantes dans l'arrangement employé, le canal d'arrivée des générateurs variant en forme et en dimensions; mais ils sont toujours disposés d'une façon telle, que les gaz et l'air se mélangent à l'extrémité des carneaux entrant dans le four, la plus rapprochée de la sole. La figure 150, représente une coupe en élévation d'un carneau moderne, relié au canal d'arrivée des régénérateurs.

Les deux carneaux à air, sont faits pour converger dans une ouverture placée juste au-dessus du carneau amenant le gaz sur la sole du four. Lorsque le four est grand, la pratique est de diviser en deux le carneau à air et de faire par conséquent deux ouvertures d'air dans le four, ce qui fait qu'il se répand mieux sur la sole. La hauteur de la voûte joue un rôle considérable sur l'arrangement des carneaux. Actuellement, les voûtes sont plus élevées qu'autrefois, et ne portent plus le renflement que l'on y faisait dans le but d'obliger les flammes à lécher la surface du bain. La plupart des fours sont munis, à chaque extrémité, de plusieurs carneaux et il n'est même pas rare, d'en voir ayant trois carneaux à gaz et quatre carneaux à air, disposés d'une façon permettant une distribution égale du gaz et de l'air.

Dimensions des carneaux. — En prenant, comme base, les dimensions des carneaux à air et à gaz des fours actuellement en service, et travaillant dans de bonnes conditions, il n'est guère possible d'établir une relation entre la surface des carneaux et le tonnage des fours. Nous donnons ci-dessous, afin de fixer les idées, les dimensions moyennes en centimètres carrés des carneaux employés dans la pratique anglaise.

TABLEAU LXXVIII
Surfaces des carneaux à air et à gaz.

TONNAGE du four.	CARNEAUX A GAZ		CARNEAUX A AIR		RAPPORT entre les carneaux à air et les carneaux à gaz.	CARNEAUX à gaz. Surface en mètres carrés par tonne de capacité du four.	CARNEAUX à air. Surface en mètres carrés par tonne de capacité du four.
	Nombre.	Surface totale en mètres carrés.	Nombre.	Surface totale en mètres carrés.			
5 tonnes.	1	0,150	1	0,486	1,24 = 1	0,030	0,037
10 —	1	0,228	3	0,372	1,63 = 1	0,022	0,037
20 —	2	0,306	3	0,420	1,37 = 1	0,015	0,021
30 —	1	0,420	3	0,630	1,5 = 1	0,014	0,021
40 —	1	0,720	3	0,960	1,33 = 1	0,018	0,024

M. A. D. Williams, père¹, indique pour les fours Martin américains les dimensions suivantes des carneaux à eau et à gaz.

EMPLACEMENT DU FOUR	SURFACE des carneaux à gaz.	SURFACE des carneaux à air.
	Mètres carrés.	Mètres carrés.
50 tonnes Laughlin	0,636	1,709
50 — Homestead	0,743	1,672
50 — Duquesne	0,975	1,672
40 — Homestead	0,743	1,323
20 — Alliance	0,261	1,439

Si ces surfaces sont calculées par rapport au tonnage du four, on obtient les chiffres suivants :

EMPLACEMENT DU FOUR	CARNEAUX A GAZ Surface en centimètres carrés par tonne de capacité du four.	CARNEAUX A AIR Surface en centimètres carrés par tonne de capacité du four.
	50 tonnes Langhlin	127,06	341,85
50 — Homestead	148,35	334,11
50 — Duquesne	194,79	334,11
40 — Homestead	185,76	330,88
20 — Alliance	130,29	580,50

On voit donc, d'après la pratique anglaise et américaine, que la construction des carneaux à gaz ou à air, ne repose sur aucune base fixe.

Valves. — Les valves d'un four Martin-Siemens, jouent un rôle si important, qu'il est nécessaire d'apporter beaucoup de soin dans leur construction, si l'on veut éviter, non seulement des ennuis dans leur manœuvre,

¹ *Iron Age*, vol. LXXVI, p. 741.

mais aussi les pertes de gaz. Toutefois, la valve à air n'ayant pas à subir des coups de chaleur comme la valve à gaz, elle n'est pas sujette aux mêmes déformations. Il existe de nombreux dispositifs de valves, parmi ceux-ci il y en a qui donnent d'excellents résultats, tandis que d'autres sont absolument à rejeter, par suite des ennuis qu'ils donnent. Dans le Chapitre XXIX, nous ferons la description et nous donnerons le dessin, des différents types de valve. En résumé, pour qu'une valve soit reconnue bonne, il faut qu'elle puisse être manœuvrée facilement et qu'elle n'ait qu'une perte minimum de gaz.

Dimensions des valves. — Dans le tableau suivant, nous donnons les dimensions moyennes des valves employées en Angleterre pour les fours Martin-Siemens.

TONNAGE DU FOUR	VALVE A GAZ	VALVE A AIR
5 tonnes.	0 ^m .45 de diamètre.	0 ^m .45 de diamètre.
10 —	0,55 —	0,65 —
20 —	0,70 —	0,75 —
30 —	0,75 —	0,82 —
40 —	0,87 —	1,00 —

Nous donnons ci-dessous, les dimensions données en Amérique, aux valves à air et à gaz par rapport au tonnage des fours.

TONNAGE DU FOUR	VALVE A GAZ	VALVE A AIR
15 tonnes.	0 ^m .60 Butterfly.	0 ^m .67 Butterfly.
20 — Alliance (Ohio). . .	0,67 Forter.	0,67 Forter.
25 — Wellman Seaver. . .	0,80 —	0,90 —
35 — Illinois Steel Co . . .	0,82 Mushroom.	0,82 Mushroom.
50 — Wellman Seaver. . .	1,05 —	1,20 Butterfly.

Tuyaux de conduite. — Toutes les conduites du four, doivent avoir des dimensions suffisantes, pour permettre le libre passage des gaz et de l'air, allant et revenant du four. Dans leur construction, il faut avoir soin de ménager quelques coudes, pour éviter que les courants gazeux ne détruisent la maçonnerie en venant la frapper trop violemment. La longueur des conduites dépend de l'emplacement des gazogènes et des régénérateurs. Certains constructeurs, préconisent l'emploi de conduites très courtes entre le four et les gazogènes, et pour cela, ils placent les gazogènes tout près du four comme par exemple dans le four Siemens « Nouveau type ». Cependant, lorsque les gaz doivent traverser les chambres des régénérateurs, comme c'est le cas pour les grands fours, les gazogènes sont rapprochés le plus possible des valves à renversement, en tenant compte pour cela, des conditions de situation et des facilités d'alimentation en houille.

Surface transversale des tuyaux de conduite. — La surface transversale des conduites de gaz, doit être légèrement plus grande que celle de la valve de renversement, qui détermine la quantité de gaz allant ou revenant du four. Un écrivain¹, a donné une règle qui permet de déterminer la dimension de la conduite de gaz, par rapport à la surface de la grille du gazogène, cette règle indique une surface de $0^{\text{m}^2}.092$ pour chaque $0^{\text{m}^2}.736$ de surface de grille. Toutefois, cette règle ne peut pas être appliquée d'une façon générale, car les surfaces de grille des différentes sortes de gazogènes, n'ont pas toutes les mêmes dimensions par rapport à la production du gaz. La surface transversale de la conduite allant de la valve de renversement jusqu'à la cheminée, est généralement très grande, par rapport à la surface de cette valve.

Cheminées. — Pour que le four travaille dans d'excellentes conditions, il faut qu'il ait un bon tirage.

Chaque four moderne est maintenant pourvu de sa cheminée, ce qui permet un réglage facile et efficace au moyen des registres. Ces cheminées se font rarement entièrement en briques, la pratique actuelle ayant adopté le type de cheminée représenté par la figure 155. L'enveloppe est faite en tôle d'acier, de $1 \frac{1}{2}$ à 2 centimètres d'épaisseur selon le diamètre et la hauteur de la cheminée, garnie intérieurement de briques réfractaires. L'enveloppe est supportée au moyen d'une bague en fonte, posée sur une solide fondation en béton. Cette bague est maintenue en place, au moyen de 6 gros boulons de fondations, noyés dans le béton.

Dimensions des cheminées. — Il existe dans les nombreux aide-mémoires ou recueils de formules à l'usage des ingénieurs, un grand nombre de règles qui permettent de déterminer la surface de section d'une cheminée et sa hauteur. Il n'y a donc pas lieu de les rappeler ici ; nous nous contenterons de donner les dimensions généralement appliquées dans la pratique.

Les dimensions suivantes, sont celles qui sont employées en Angleterre et qui varient considérablement avec les diverses régions.

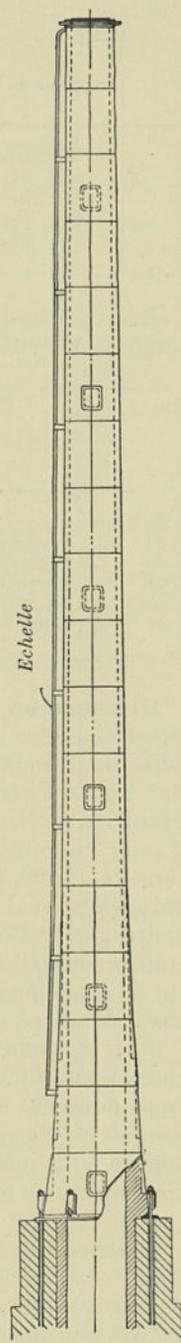


Fig. 155. — Cheminée en acier pour four Martin-Siemens.

¹ *Iron Age*, vol. LLXXVI, p. 740.

TONNAGE DU FOUR	SURFACE DE LA BASE en mètre carré.	HAUTEUR EN MÈTRES
5 tonnes.	0,372	18,24
10 —	0,557	22,80
20 —	0,789	24,32
30 —	0,929	27,36
40 —	1,207	30,40

Nous donnons également ci-dessous les dimensions des cheminées employées dans plusieurs aciéries américaines (p. 364) :

TONNAGE DU FOUR	DIAMÈTRE à la base.	SURFACE de la base en mètres carrés.	HAUTEUR en mètres.
15 tonnes	1 ^m ,21	1,461	27,36
25 — Wellman-Seaver. . .	1,52	1,820	38,00
35 — Bridgeport, Conn. . .	1,42	1,588	34,65
40 — Homestead	1,52	1,820	42,56
50 — Duquesne	1,67	2,201	45,60
50 — Illinois Steel Co. . . .	1,82	2,629	48,64

Dimensions de gazogènes pour fours Martin-Siemens. — Pour déterminer les dimensions qu'il faut donner au ou aux gazogènes, les principaux facteurs qu'il faut considérer sont la consommation de houille par tonne d'acier et le tonnage du four. Si l'on consomme 272 kilogrammes de houille, par tonne d'acier, et que le four produise 50 tonnes d'acier en huit heures, la consommation totale de houille du gazogène sera de 13600 kilogrammes soit 1700 kilogrammes à l'heure. Les gros gazogènes, sont capables de gazéifier 30 tonnes de houille en vingt-quatre heures, soit 1250 kilogrammes à l'heure, mais l'expérience a montré qu'il était préférable de baser le calcul des dimensions du gazogène, non pas sur le rendement garanti de celui-ci, mais sur un pourcentage inférieur aux indications données.

Il est également préférable de disposer d'un groupe de 2 ou 3 gazogènes pour alimenter le four car si l'on ne dispose que d'un seul, suffisamment puissant, on risque d'être obligé de l'arrêter pour une cause quelconque et d'arrêter par conséquent la fabrication. Quand il s'agit d'un four de 50 tonnes, il faut au moins 2 forts gazogènes, mais on a l'habitude d'alimenter un tel four avec 3 ou 4 gazogènes plus petits.

Surface de grille du gazogène par rapport au tonnage du four. — On admet généralement que le rapport entre les dimensions du gazogène et le tonnage du four, représente une surface de grille de 0^m2,325 par tonne de capacité, mais comme nous l'avons dit, ce rapport ne peut être pris comme règle générale; car tous les gazogènes n'ont pas le même taux de gazéification par mètre carré de surface de grille, de même que toutes les houilles employées ne sont pas de même qua-

lité. Dans le tableau LXXIX nous donnons les surfaces de grilles employées pour des fours de diverses dimensions.

TABLEAU LXXIX
Gazogènes employés avec des fours Martin Siemens.

FOUR	NOMBRE ET TYPE des gazogènes.	SURFACE DE LA GRILLE DU GAZOGÈNE EN MÈTRES CARRÉS	
		Totale.	Par tonne de capacité du four.
40 tonnes Rechitza	Siemens.	2,638	0,263
15 — Wellman-Seaver. . .	2 Talbot 3 ^m	8,646	0,576
20 — Alliance-Ohio	—	9,290	0,464
40 — Grand Crossing . . .	3 Morgan 3	21,738	0,543
50 — Illinois Steel C ^o . . .	4 — 3	28,984	0,580
50 — Lukens	4 Talbot 3	17,093	0,341
50 — Ohio	4 Duff 3,65	23,410	0,468

On remarquera que la surface de grille des gazogènes, par tonne de capacité du four, varie de 0^{m2},263 à 0^{m2},580 dans les cas particuliers indiqués ci-dessus. Cette variation a pour cause la qualité de la houille employée et l'efficacité du gazogène et du four, de sorte que les chiffres ci-dessus ne peuvent donner qu'une idée approximative.

CHAPITRE XXVIII

DISPOSITIFS DE REFROIDISSEMENT DES FOURS MARTIN-SIEMENS

Les matériaux réfractaires ordinaires, de bonne qualité, ne peuvent résister longtemps à l'action corrosive des gaz des fours. La température nécessaire, pour la fusion et la transformation en acier, des matériaux employés, ainsi que l'action des scories, font que les revêtements des fours s'usent très rapidement à différents endroits. Les parties qui souffrent le plus, sont les carneaux, les cloisons, les portes et les pieds droits des portes du four. Lorsque les carneaux sont usés, la voûte ne tarde pas à s'user à son tour, de sorte que le prix de la réparation devient rapidement excessif. Pour augmenter la durée de ces parties du four qui sont sujettes à une usure rapide, on a imaginé de nombreux dispositifs de refroidissement dont certains ont donné des résultats très encourageants.

Carneaux des fours.

Carneaux pleins. — La figure 156 (*a*) représente une coupe en élévation d'un carneau ordinaire plein pour four Martin-Siemens. Pendant ces der-

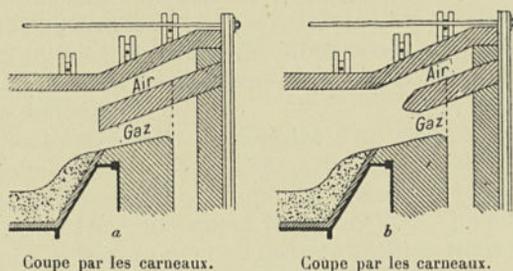


Fig. 156. — Carneaux pleins pour four Martin-Siemens.
a, à l'état neuf. — b, après usure.

nières années, de nombreux perfectionnements ont été apportés dans leur construction, car on a reconnu que l'angle d'inclinaison du carneau vers la sole du four, ainsi que la longueur du carneau, ont une influence énorme, non seulement sur la durée du carneau, mais aussi sur les conditions de la fusion. La figure 151 (*b*) représente le même carneau après usure. Dans cet

état, l'efficacité du four est diminuée, car on ne peut plus régler avec autant de certitude la direction des gaz. Au lieu de descendre sur le bain de métal, la flamme lèche la maçonnerie de la voûte dans le voisinage des carneaux, passe au-dessus du métal, et s'en va par les carneaux opposés, en n'ayant communiqué au métal qu'une partie de sa chaleur.

Carneaux refroidis par l'eau. — Pour empêcher l'usure excessive des carneaux analogues à celui représenté par la figure 156 (a), on a imaginé un certain nombre de carneaux refroidis par l'eau. La figure 157 représente celui de ceux-ci qui, expérimenté aux aciéries de la Pennsylvania Steel C^o, à Steelton, E. U; a donné les meilleurs résultats. Il a été imaginé et breveté par Luther L. Knox.

Ce carneau se compose d'un châssis mobile que l'on place entre la conduite d'arrivée des régénérateurs et la paroi extérieure du four. La figure 157 (a) représente une vue de face du carneau-châssis mobile, dans lequel se trouve une culasse (représentée en détail par la figure 157 (b) qui forme l'arche du carneau à gaz et le plancher des carneaux à air. Cette culasse est maintenue en place par des briques de silice et, quand le châssis est garni, on peut le placer en quelques minutes à l'aide d'un pont roulant, entre la paroi du four et la conduite de gaz du régénérateur.

Le châssis est lui-même d'un dessin très simple. La figure 157 (c) représente une vue en coupe du châssis muni de la culasse. L'eau circule dans celle-ci au moyen de tuyaux d'entrée et de sortie. Le tuyau d'arrivée d'eau, arrive sur le côté de la face de la culasse la plus rapprochée de la partie la plus exposée aux gaz chauds. Le courant d'eau, sous une pression de 1 à 3 kilogrammes par centimètre carré, est projeté, par les trous ménagés spécialement à cet effet dans le tuyau, sur la surface intérieure de la culasse et s'écoule par le tuyau de sortie placé à la même extrémité mais sur le côté arrière de la culasse. Un tube « purgeur » est installé pour permettre l'enlèvement périodique des dépôts. Les raccords des tuyaux sont convenablement placés du côté du four, de sorte que l'on peut faire le joint en quelques minutes, dès que le carneau-châssis mobile a été mis en place.

Entre le carneau-châssis mobile et la paroi du four, il y a des culasses de 15 à 20 centimètres de large, dans lesquelles on fait circuler de l'eau.

Ces culasses sont placées contre les parties des parois dont les maçonneries sont le plus soumises à l'action corrosive des gaz arrivant par les carneaux. La figure 158 (a), représente le carneau-châssis mobile en

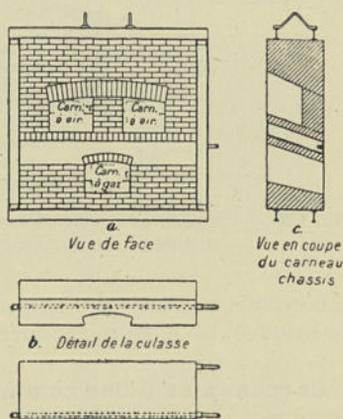


Fig. 157. — Première disposition du carneau breveté Knox.

ordre de marche et la figure 158 (b) représente l'emplacement des culasses de refroidissement sur le châssis.

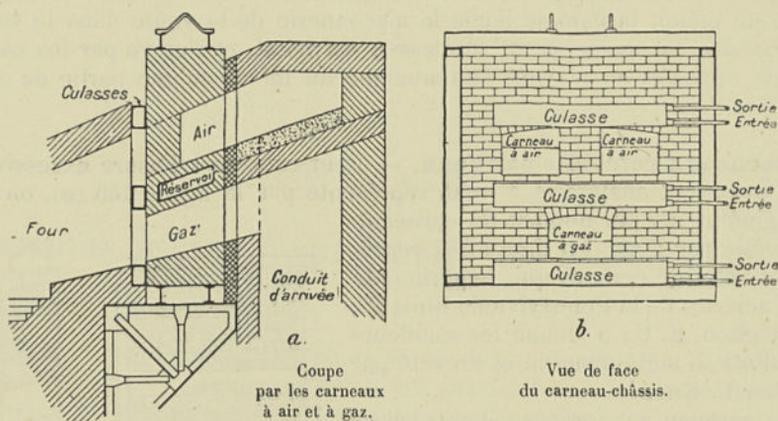


Fig. 158. — Châssis, avec refroidissement d'eau, de Carney et Mc Entee avec premier dispositif, du carneau breveté Knox, en ordre de marche.

L'espace restant entre le châssis et le four est rempli avec des débris de briques, de terre réfractaire et de sable.

Carneaux en acier comprimé de Knox. — Le carneau Knox, représenté par la figure 159, est un perfectionnement du carneau original et est disposé d'une façon telle, que le refroidissement de la paroi n'est pas nécessaire.

La figure 159, représente le carneau Knox construit dans un châssis mobile, comme celui précédemment décrit.

Le carneau perfectionné Knox, diffère cependant, comme forme, du car-

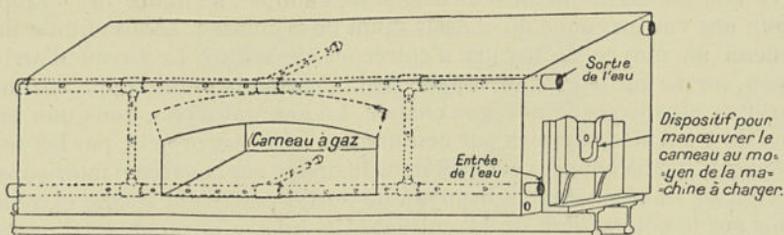


Fig. 159. — Carneau Knox en acier comprimé refroidi par l'eau.

neau original, car c'est le carneau tout entier et non seulement l'arche qui se trouve enfermé dans le châssis.

La culasse est faite avec des plaques en acier laminé, de 1 centimètre d'épaisseur, soudées aux joints. La faible épaisseur des plaques permet le refroidissement rapide. La figure 159, représente le dispositif d'arrivée de l'eau de refroidissement. Les tuyaux sont munis de trous, de sorte que l'eau peut être projetée sur les parties les plus exposées à la flamme.

Lorsque le carneau-châssis est en place comme l'indique la figure 160, on remplit avec du sable le vide qui se trouve entre le châssis et la paroi du four. Quand nous eûmes l'occasion, en 1912, de voir aux Etats-Unis l'application de l'un ou de l'autre des carneaux Knox sur des fours dont le ton-

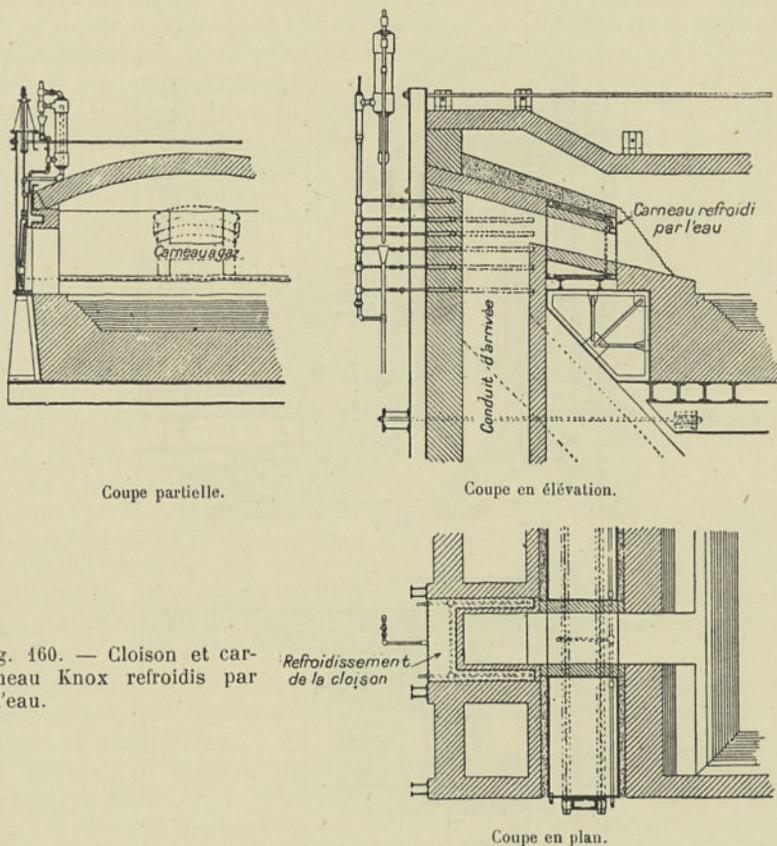


Fig. 160. — Cloison et carneau Knox refroidis par l'eau.

nage variait de 60 à 100 tonnes, il nous a été permis de recueillir les renseignements économiques suivants :

Economie dans l'entretien. — Dans une installation de fours, en Pennsylvanie, où l'on a appliqué les types de carneaux Knox refroidis par l'eau, on a remarqué qu'il n'était pas nécessaire de s'inquiéter de l'état des carneaux tant que le four lui-même ne nécessitait pas une réparation générale. Avant l'emploi des carneaux refroidis par l'eau, il fallait réparer ou remplacer le briquetage des carneaux toutes les 35 ou 40 chaufes. L'économie effectuée, quant à l'entretien du four, a été de 35 à 40 p. 100, et le tonnage a été augmenté de 18 000 à 20 000 tonnes par mois. Donc, on a eu comme résultat, de pouvoir travailler sans réparer le four pendant une période beaucoup plus longue, de sorte que l'on arrive finalement, non seulement à une diminution du prix d'entretien, mais encore du com-

bustible et de la main-d'œuvre et par conséquent du prix de fabrication de la tonne d'acier,

Carneaux Blair. — Le carneau Blair, se compose d'une culasse plate

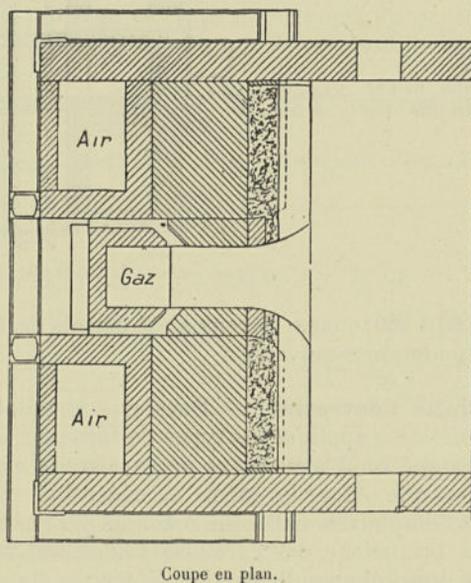
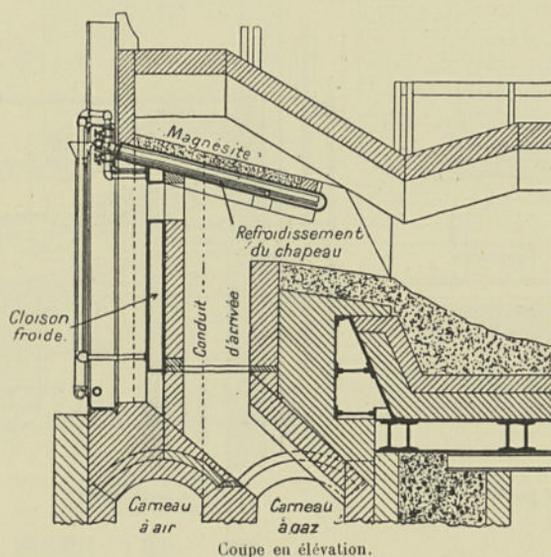


Fig. 161. — Cloison et carneau Blair, refroidis par l'eau.

refroidie par l'eau, de construction simple, qui se met à la place de l'arche du carneau à gaz et qui repose sur l'enduit en magnésite qui

forme les côtés du carneau à gaz. Le côté refroidi par l'eau, est exposé à la flamme, mais les joints sont placés sur l'autre côté sur lequel se trouve étendue une couche de 10 centimètres de magnésite pulvérisée, qui protège les soudures des joints contre l'action des flammes. L'expérience a montré que la magnésite résiste beaucoup mieux à l'action de la flamme, que les briques de silice, car elle est meilleure conductrice de la chaleur. Le refroidissement de la paroi se fait de la même façon que celle de l'arche. Il y a une culasse noyée dans la maçonnerie, et dans laquelle circule l'eau ayant servi à refroidir l'arche. La figure 161, représente une coupe en élévation et en plan de la partie d'un four muni d'un carneau refroidi par l'eau, ainsi que la paroi.

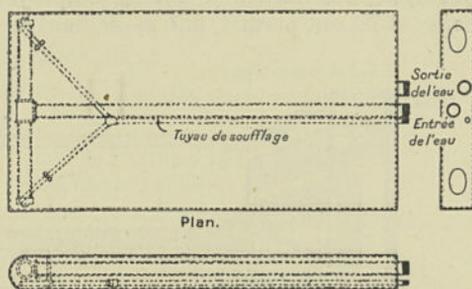


Fig. 162. — Détails de la culasse de refroidissement de Blair, pour carneaux à gaz.

La figure 162, représente les détails de l'arche du carneau, munie de ses tuyaux d'arrivée d'eau disposés en forme de T dans l'intérieur de la culasse. Ces tuyaux sont percés de petites ouvertures par lesquelles passe le courant d'eau envoyé sous une pression de 0^k,600 par centimètre carré. Un autre tuyau, d'un diamètre plus petit, sert à l'enlèvement des dépôts qui tendent à se former dans l'intérieur de la culasse. Pour ce nettoyage il faut employer une très forte pression d'eau.

Le dispositif de refroidissement de Blair, a été appliqué avec beaucoup de succès, sur un certain nombre de fours aux États-Unis. Il est également employé en Angleterre.

Le dispositif de Blair fut appliqué pour la première fois, en 1907, à la Lackawanna Steel Co, à deux fours Martin-Siemens fixes de 60 tonnes N^{os} 7 et 8. Par son application, les carneaux et la voûte ont pu supporter 266 chauffes sans nécessiter de réparations, en même temps que les régénérateurs de l'un des fours, pouvaient supporter 403 chauffes. Avant l'emploi du dispositif de Blair le nombre des chauffes obtenues était de 133, 143, 167 et 170 soit une moyenne de 153. Ces résultats furent obtenus avec le four N^o 7. Quant au four N^o 8, celui-ci a supporté, sans réparations, 592 chauffes, représentant une production durant cette campagne, de 37772 tonnes de lingots. Le chef de service de l'aciérie Martin, a constaté que durant cette période, la consommation de combustible par tonne de lingot, était de 203 kilogrammes au lieu de 272 kilogrammes. La dépense totale d'entretien, pour une campagne de huit mois et demi, fut de 32256 francs soit approximativement 0,84 fr. par tonne d'acier produit.

Carneau détachable de Friedrich. — La figure 163, représente des vues en élévation et en plan, du carneau détachable de Friedrich, utilisé dans le même but que ceux précédemment décrits. On remarquera, en

examinant cette figure, que le carneau détachable se trouve entre la paroi extérieure du four et le conduit d'arrivée des gaz du régénérateur. Ces carneaux sont disposés d'une façon telle, que l'on peut les enlever sans déranger en rien les maçonneries du four, ce qui permet de prolonger, non seulement la durée de celui-ci, mais d'augmenter également son efficacité. Le carneau peut être mis en place au moyen d'une grue, et déplacé sur le côté au moyen d'un truck spécial. Aux aciéries de Julienhütte, en Allemagne, ces carneaux ont été employés avec succès depuis quelque temps, et ils ont permis, non seulement de réaliser des économies impor-

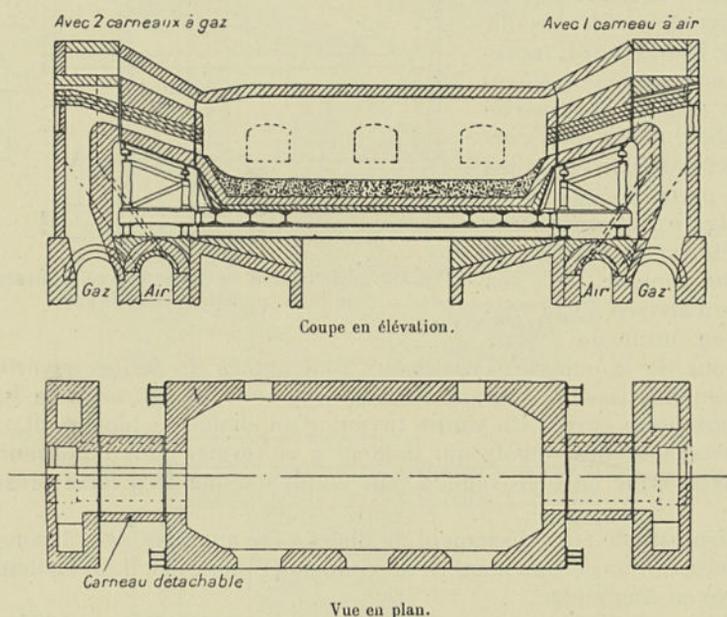


Fig. 163. — Carneau détachable de Friedrich.

tantes sur le prix des réparations, mais d'augmenter considérablement le rendement du four de 40 tonnes sur lequel ils étaient adaptés.

Prix de l'installation et économie effectuée. — Le poids d'un carneau détachable, pour un four de 40 tonnes, est d'environ 9 tonnes. Le prix en est détaillé ci-dessous¹.

	francs.	
Briques réfractaires.	718,78	} Montant des dépenses chaque fois que l'on replaces un carneau.
Salaire des briquetiers	100,88	
Prix de montage	113,50	
Salaire des monteurs	37,84	
Total.	971,00	

¹ *Iron and Coal Trade Review*, vol. LXXXII, p. 880.

	francs.	
Deux plaques en acier coulé.	1 513,20	}
Attaches de la voûte du carneau à air, y compris les matériaux et la main-d'œuvre	88,28	
Etançons, y compris les matériaux et la main-d'œuvre	126,10	
Total.	1 727,58	

Dépenses de premier établissement.

TABLEAU LXXX

Prix comparatifs des carneaux fixes et des carneaux détachables type Friedrich.

Comparaison pour un four de 20 tonnes avant et après l'emploi des carneaux Friedrich.

	AVEC CARNEAUX FIXES			AVEC CARNEAUX DÉTACHABLES FRIEDRICH		
	Poids en tonnes.	Prix à la tonne.	Prix total.	Poids en tonnes.	Prix à la tonne.	Prix total.
Silice	123,5	50,00	6 175,00	92,2	50,00	4 610,00
Mortier de silice	11,8	38,55	454,89	8,8	38,55	339,24
Magnésite	3,0	166,86	500,58	—	—	—
Mortier de magnésite	0,3	123,24	36,97	—	—	—
Maçonnerie	132,0	25,64	3 384,48	98,2	22,64	2 517,84
Raccords	4,6	385,86	1 774,95	2,3	385,86	887,47
Fer laminé	13,0	192,90	2 507,70	9,6	192,90	1 793,97
Culasses de refroidissement, traverses	15,3	205,54	3 144,76	—	—	—
Plaques en acier coulé.	—	—	—	2,8	385,06	1 080,40
Etançonnage des angles et des barres.	—	—	—	3,1	205,54	637,17
Traverses en fonte.	—	—	—	2,5	256,82	642,05
Vieux rails	—	—	—	0,5	128,37	64,18
Couronnement de la voûte.	—	—	—	0,98	320,91	314,49
Roues, essieux, coussinets.	—	—	—	1,2	378,93	454,71
Erection.	33,0	19,21	633,93	23,00	19,21	444,83
			18 616,21			13 783,35
Différence de prix : 4 832,86 fr.						

Carneau détachable de Head. — La figure 164, représente un dispositif simple de carneau mobile, imaginé par M. B.-W. Head. La construction reste fixe sur un châssis, supporté par un truck, un joint plein remplaçant le joint hydraulique de la conduite d'arrivée, lorsque l'on est obligé de déplacer le carneau du four.

Autres dispositifs de carneaux refroidis. — La figure 165, représente un carneau à gaz refroidi par l'eau, composé d'une série de tuyaux à circulation d'eau, placés horizontalement et parallèlement entre eux, à la place des briques en silice, formant la voûte au-dessus du carneau à gaz.

Sur ces tuyaux, on construit la voûte en magnésite ou autre substance réfractaire. Chaque tuyau est muni d'un robinet de contrôle. Ce dispositif,

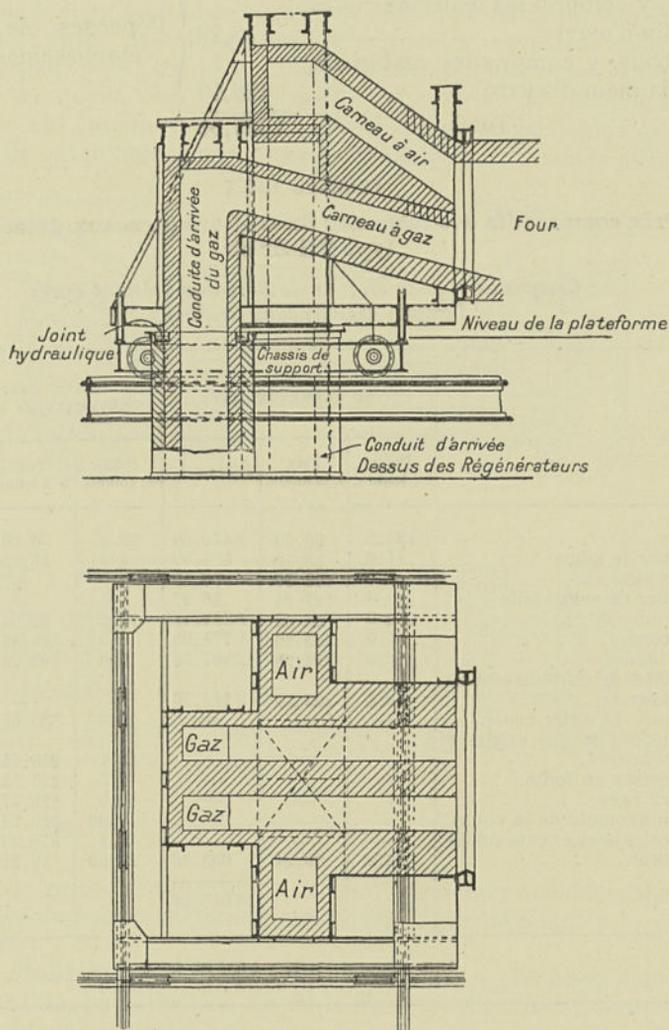


Fig. 164. — Carneau détachable de Head.

a été imaginé par Davison et Mathies¹, et a été employé avec beaucoup de succès, dans un certain nombre d'aciéries américaines.

Un autre type de carneau, à peu près semblable au précédent, (voir fig. 166) a été installé à la « Minnequa works of the Colorado Fuel and Iron Co » par F.-E. Parks et H.-A. Devel². Il se compose d'une série de

¹ *Iron Age*, vol. LXXV, p. 1436.

² *Iron Age*, vol. LXXXII, p. 1063.

tuyaux, de 6 centimètres de diamètre, placés sur le fond de l'arche du carneau à gaz.

De chaque côté, il y a un redan en bronze qui supporte cette arche, et

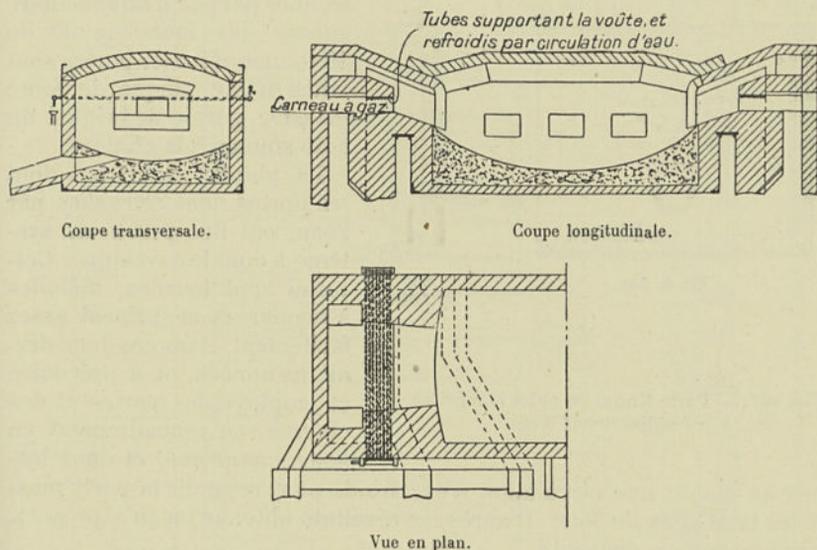


Fig. 165. — Carneau à gaz, à refroidissement d'eau, de Davison et Mathies.

empêche les briques de brûler et de tomber, il empêche également les carneaux de brûler sur le côté. L'alimentation d'eau se fait au moyen

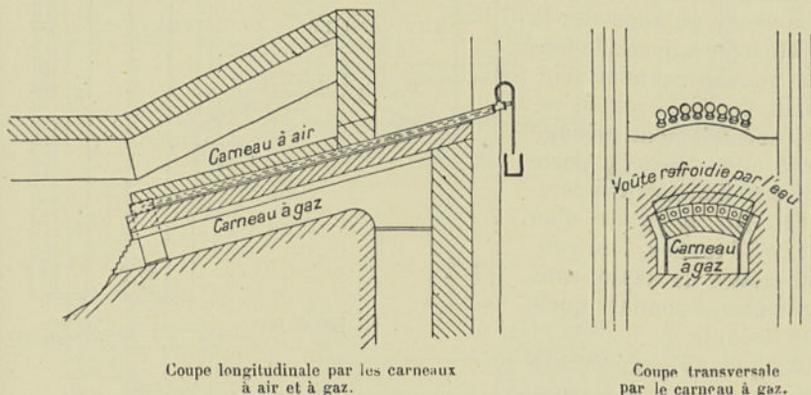


Fig. 166. — Arche à refroidissement d'eau de Parks et Devel.

d'un petit tuyau de 2,5 cm. qui débouche dans le bloc en bronze sur lequel sont fixés les tubes de refroidissement.

Plusieurs fours ont été munis de ce dispositif. Le prix moyen de cette installation est approximativement de 2500 francs, y compris tout le matériel et la main-d'œuvre.

Portes et encadrements refroidis par l'eau. — Quoiqu'il y ait déjà longtemps que l'on ait appliqué pour la première fois aux fours Martin-Siemens,

un système de portes refroidies par l'eau, on rencontre encore des fours de 30 ou 40 tonnes, dont les portes sont faites d'une plaque de fonte massive, garnie de briques du côté soumis à la chaleur.

La plupart des fours dont les portes sont refroidies par l'eau, ont des portes du système à double enveloppe. Celles-ci sont lourdes, difficiles à manier et se brisent assez facilement. Dans ces deux dernières années, on a préconisé et employé des portes et des châssis ou encadrement en acier comprimé, et dans les-

quels on établit une circulation d'eau froide pour refroidir la porte ainsi que les jambages du four. D'après les résultats obtenus jusqu'à présent,

il semble que ce dispositif doit donner toute satisfaction. Lors d'une visite que nous avons faite dans les aciéries des régions de Pittsburg et de Cleveland, nous avons pu constater la facilité avec laquelle le fondeur pouvait examiner l'intérieur du four, par le regard spécialement ménagé à cet effet, dans la porte sans être nullement incommodé. Sur la porte d'un four de 75 tonnes, l'on pouvait mettre la main sans inconvénient pendant quelques instants.

La figure 167, représente une porte en acier comprimé de 6 millimètres d'épaisseur. Cette porte diffère de celle en fonte, d'abord par son épaisseur, et en ce que le regard est muni d'un bloc mobile, de sorte que malgré l'usure de la barre employée par le fondeur pour remuer le métal liquide, cette ouverture n'est jamais plus grande que le diamètre de la barre.

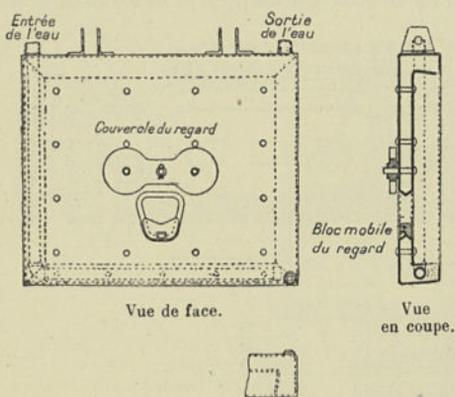


Fig. 167. — Porte Knox, en acier comprimé, à refroidissement d'eau.

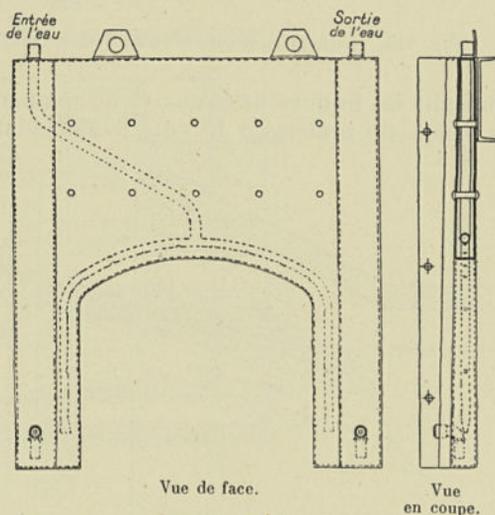


Fig. 168. — Encadrement de porte Knox en acier comprimé à refroidissement d'eau.

Dans une des plus grandes aciéries de Pittsburg, employant des portes refroidies par l'eau, en acier comprimé, le chef de service de l'aciérie

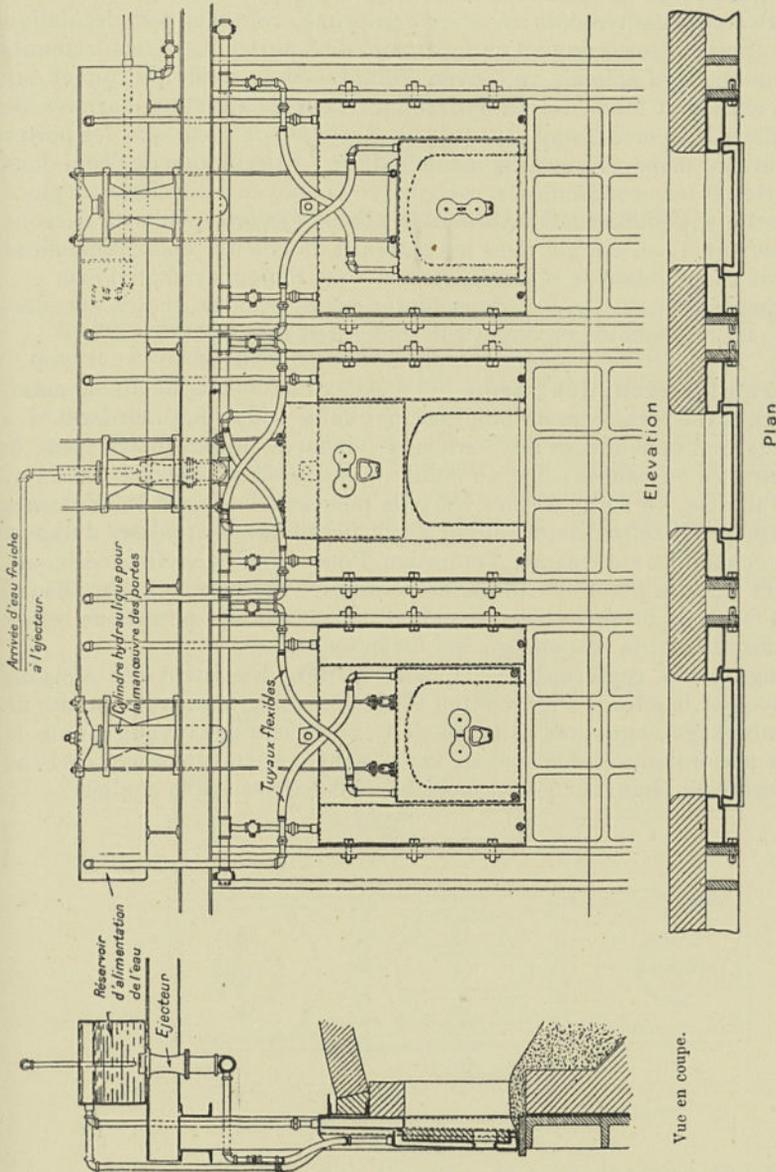


Fig. 169. — Arrangement sur un four Martin, des portes et encadrements brevetés Knox, à refroidissement d'eau.

nous a assuré, que ces portes avaient une durée 4 à 5 fois plus grande que les portes en fonte refroidies par l'eau. Le métal des portes en fonte, ayant environ 20 millimètres d'épaisseur, il s'en suit que l'action refroidissante de l'eau a beaucoup de mal de se faire sentir par suite de cette épaisseur.

La figure 168, représente les détails d'un encadrement de porte refroidi par circulation d'eau.

La figure 169, représente l'arrangement du dispositif breveté de Knox, de portes et encadrements en acier comprimé, refroidis par circulation d'eau, appliqué sur le front d'un four muni de 3 portes. Les encadrements sont maintenus d'aplomb, au moyen d'un procédé bien simple, quant aux portes elles sont manœuvrées hydrauliquement. Les tuyaux d'arrivée de l'eau dans les portes, sont des tuyaux flexibles, de sorte que les portes peuvent être manœuvrées sans inconvénient. La circulation de l'eau, dans les portes et les encadrements, est assurée au moyen d'un réservoir placé à la partie supérieure du four. Poussée par un éjecteur placé au-dessous du réservoir, l'eau circule dans les portes et dans leurs encadrements et retourne ensuite dans le réservoir qui est ainsi toujours rempli d'eau.

La disposition des tuyaux, dans l'intérieur des portes et des encadrements, est représentée en détail sur les figures 167 et 168.

Refroidissement des parois. — Il est extrêmement difficile de maintenir les parois des fours en bon état, par suite de l'action mordante des flammes qui, débouchant des carneaux, viennent butter contre toute la paroi arrière ou cloison, des conduits de sortie. Aux aciéries de Gary, dans l'Illinois, où sont installés les plus puissants fours du monde, on a constaté que le refroidissement par l'eau, permettait de réaliser d'importantes économies sur les frais d'entretien. Pour obtenir ce refroidissement, on place dans la paroi des tubes de section rectangulaire entre chaque 3 ou 4 rangs de briques. L'eau circulant dans ces tubes, permet de refroidir suffisamment la maçonnerie qui les entoure.

La figure 160, représente le dispositif de refroidissement des cloisons employé par la « Knox Pressed and Welded Steel Co » qui se compose de 6 chambres rectangulaires en forme de U, contenant des tuyaux munis de petites perforations et disposés de façon à envoyer constamment de l'eau sous forme de pluie, sur les surfaces les plus exposées à la chaleur.

CHAPITRE XXIX

VALVES POUR FOUR MARTIN-SIEMENS

Le rôle des valves est extrêmement important, au point de vue de la marche économique et efficace d'un four Martin-Siemens. Pour régler l'alimentation de gaz et d'air, on emploie des valves d'entrée qui sont généralement du type ordinaire, dit à champignon, ainsi que le représente la figure 171. Les difficultés rencontrées dans l'utilisation des valves de renversement, ont favorisé le développement de plusieurs types de valves, imaginées toutes, dans le but de réduire au minimum les fuites de gaz et d'être manœuvrées rapidement, avec un minimum de main-d'œuvre.

Valve de renversement de Siemens. — Pendant plusieurs années

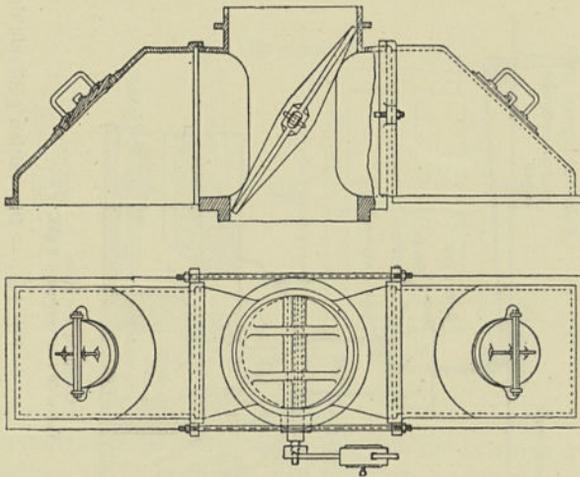
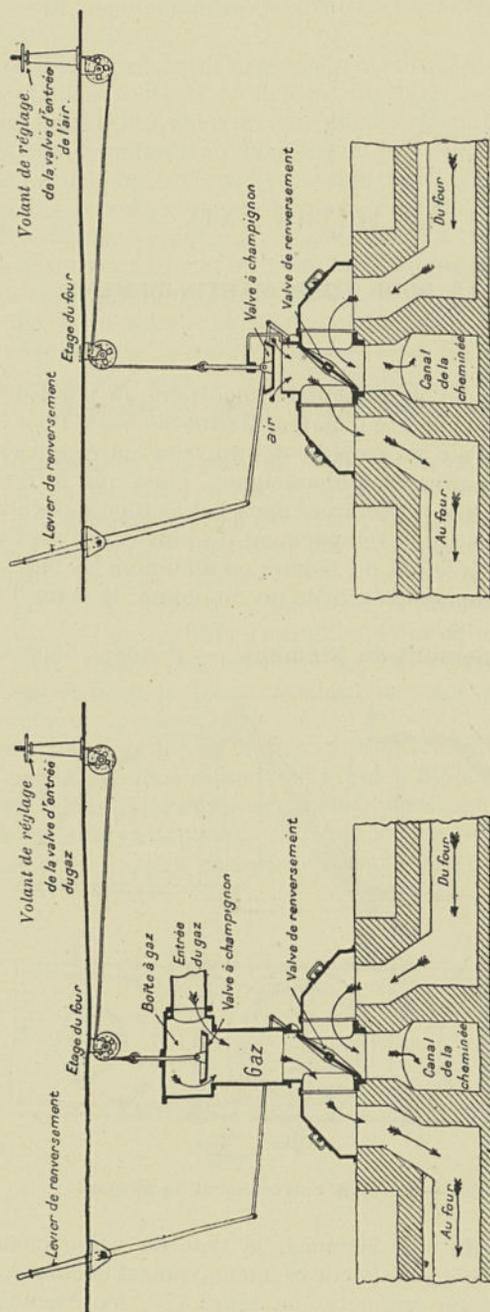


Fig. 170. — Valve de renversement de Siemens.

après l'introduction du four Siemens, le type de valve communément employée, fut la valve à papillon de Siemens, qui est encore actuellement employée sous sa forme originelle. La figure 170, représente une coupe partielle de ce dispositif. L'enveloppe est en fonte ou en acier, l'ouverture du haut étant reliée au conduit d'alimentation du gaz ou de l'air.

Le valve est supportée par un pivot, permettant de la placer d'un côté ou



Coupe en élévation.
Valve de renversement à air.

Coupe en élévation.
Valve de renversement à gaz.

Fig. 471. — Disposition générale des valves de renversement à gaz et à l'air.

d'un autre au moyen d'un système de levier convenablement disposé sur le dessus du four.

La figure 171, représente la disposition ordinaire des valves de renversement à gaz et à air, avec les valves d'entrée et le mécanisme de manœuvre.

Valve perfectionnée de Kirkham. — Dans le but de réduire les fuites de gaz, William Kirkham, de Sheffield, a imaginé une valve avec

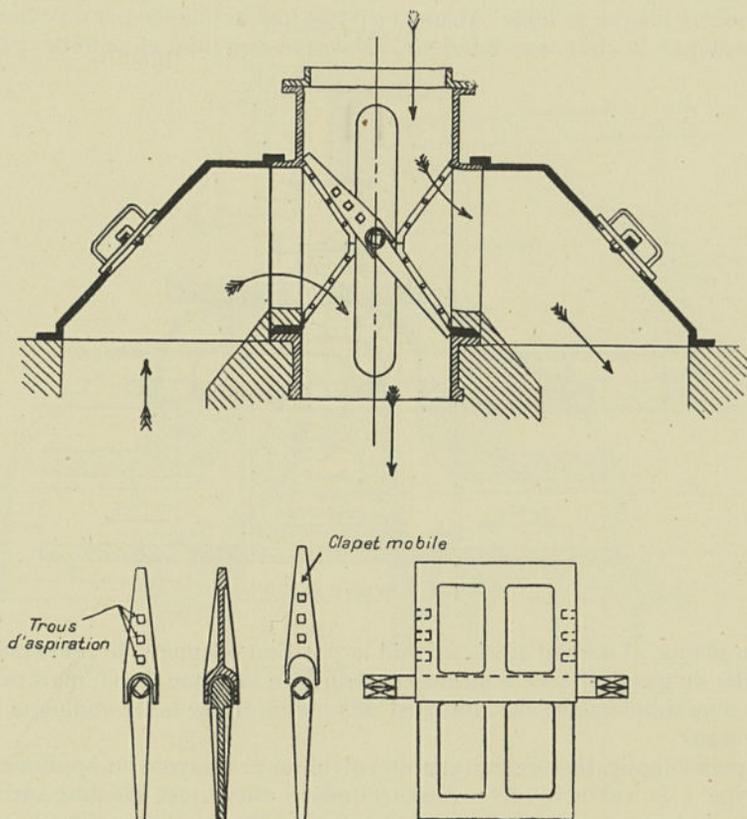


Fig. 172. — Valve Kirkham.

clapet ou languette en deux parties, comme le représente la figure 172. Un petit mouvement de la partie supérieure, oblige la valve à venir s'appuyer elle-même sur l'enveloppe. Il y a moins de danger à risquer, en utilisant la valve Kirkham, plutôt que la valve ordinaire. Les clapets peuvent être facilement remplacés quand ils sont usés.

Valve Schild. — Cette valve, se compose d'une plaque massive en fonte, dans laquelle on a ménagé trois orifices correspondants avec les ouvertures des carneaux à gaz du four et le canal de la cheminée. Sur cette plaque, glisse un chapiteau muni également de quatre ouvertures. Les deux ouvertures placées au centre du chapiteau, sont recou-

vertes par une hotte, livrant passage aux gaz perdus, et les deux ouvertures externes sont reliées entre elles au moyen d'un tube en forme de V renversé. La figure 173, montre une vue en coupe de ce dispositif. Au-dessus du tube en V, il y a un autre chapiteau, muni d'une ouverture, servant au passage, dans le tube, des gaz venant du gazogène. La partie inférieure des deux chapiteaux contient de l'eau. L'eau du réservoir supérieur sert de joint, entre le tube en V et la boîte à gaz, celle du bas sert à refroidir la plaque de fonte. Au moyen d'une tige actionnée par un cylindre hydraulique, le chapiteau inférieur, ainsi que son tube et sa hotte, glisse

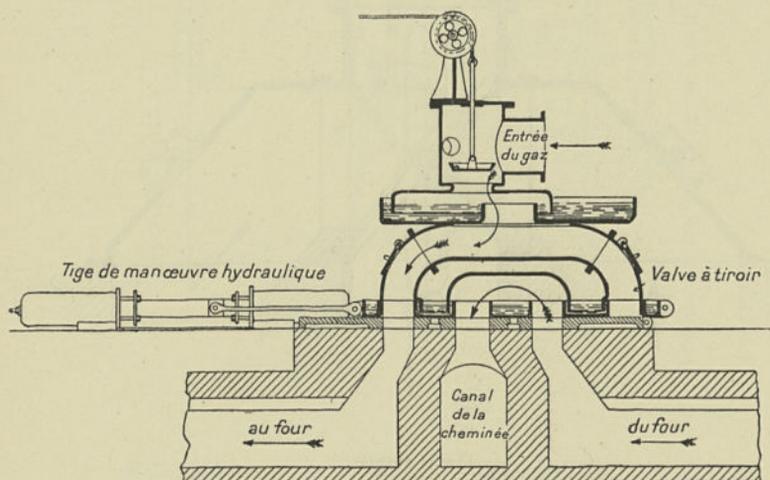


Fig. 173. — Valve Schild.

sur la plaque et permet ainsi, suivant la position occupée, de renverser la marche du gaz. La valve à air est construite de la même façon, mais beaucoup plus simplement, car elle n'est pas munie d'une boîte analogue à la boîte à gaz.

Depuis l'application de ce type de valve, on a essayé d'en appliquer le principe à la valve rotative. Cette dernière valve, est montée sur une plaque de base, percée de trois ouvertures à 120° , deux de celles-ci communiquent avec les carneaux à gaz conduisant aux générateurs, et la troisième avec le carneau conduisant à la cheminée. Un chapiteau, muni de trois ouvertures correspondant avec celles de la plaque de base, repose sur celle-ci, deux des ouvertures, communiquent entre elles, au moyen d'un tuyau, avec le carneau d'alimentation de gaz. Sur la circonférence du chapiteau se trouve une couronne dentée permettant de faire tourner le chapiteau.

Valve Fischer. — Celle-ci se compose d'un cylindre, muni d'une cloison placée en diagonale, jouant un rôle analogue à la valve ordinaire du type Siemens. Cette cloison permet d'isoler le passage reliant le four au conduit d'arrivée du gaz, du passage reliant le four au canal de la cheminée. En faisant faire un demi-tour à cette valve, on renverse la marche des

gaz. La fermeture du joint de la valve de sûreté, placée au-dessus de la boîte à gaz, est assurée au moyen d'un contrepoids. Le joint entre la valve et la conduite de la cheminée est rempli de sable ou d'amiante. Pour éviter les fuites de gaz, tous les joints sont munis de segments ou de boudins.

L'ouverture de la valve à gaz se fait au moyen d'une tige munie d'un

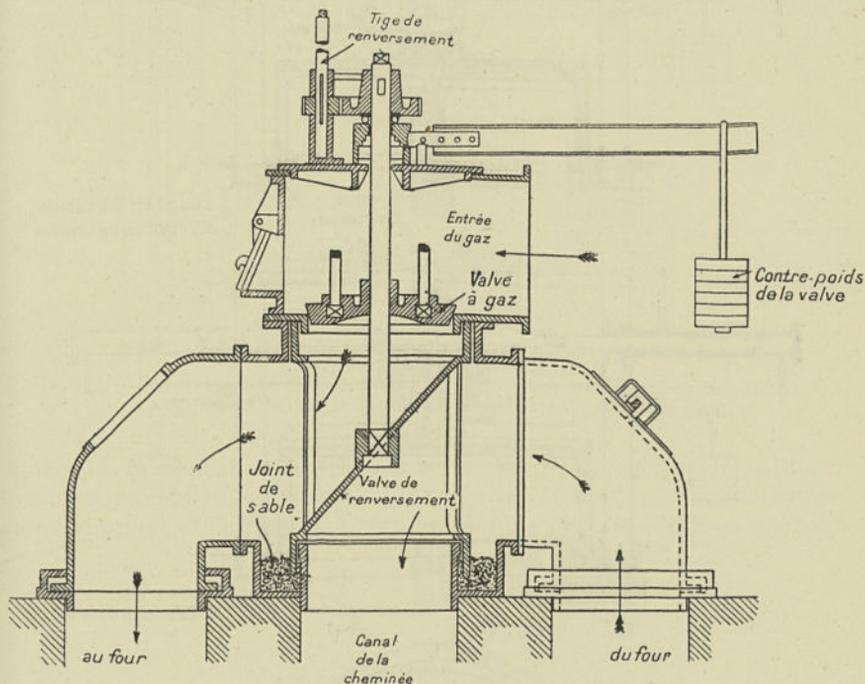


Fig. 174. — Valve Fischer.

contrepoids. La manœuvre de la valve de renversement se fait à la main. La figure 174 représente ce dispositif.

Valve Dyblie. — La figure 175, représente en élévation et en plan, cette valve qui est construite par la Morgan Construction Co. D'après cette figure, on remarquera que les carneaux du four, de la cheminée, des régénérateurs à air et à gaz, aboutissent sur une ouverture circulaire, et forment chaque un quart de la surface du cercle. Sur ces ouvertures se trouve une valve cylindrique en forme de boîte, divisée en deux compartiments au moyen d'une cloison, et qui repose dans un caisson rempli d'eau, formant joint hydraulique, fixé sur la maçonnerie. Le renversement de la valve se fait en élevant suffisamment celle-ci, au moyen d'une came manœuvrée hydrauliquement, pour que la cloison de séparation ne plonge plus dans le bac rempli d'eau formant joint hydraulique, la hauteur de cette cloison étant moindre que les bords extérieurs de la valve. Lorsque la valve est suffisamment élevée, le renversement se fait auto-

matiquement. La valve est entourée d'une enveloppe extérieure cylin-

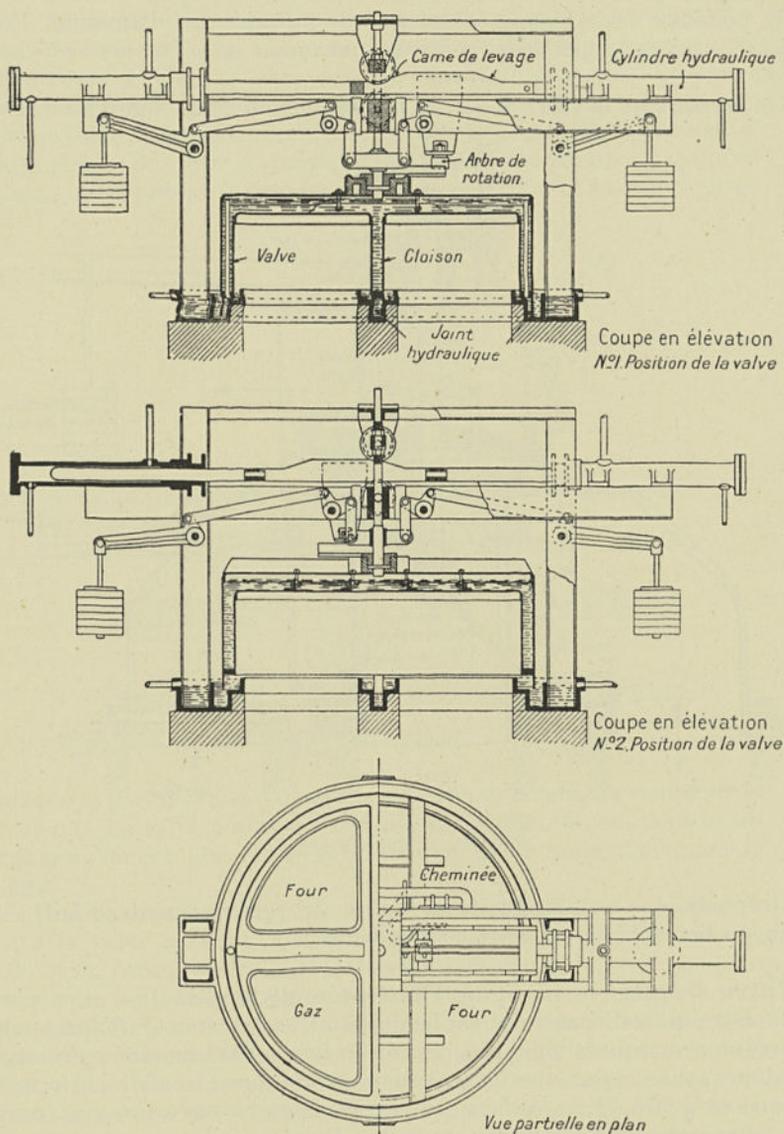


Fig. 175. — Valve de renversement de Dyblie.

drique, de sorte que le tout constitue une double enveloppe dans laquelle on met de l'eau.

Mécanisme de renversement de Blair. — Ce dispositif se compose de portions mobiles de carneaux, que l'on peut relier de façon à

envoyer l'air et le gaz à une extrémité ou l'autre du four et les gaz perdus à la cheminée sans l'intermédiaire de valves.

La figure 177 représente en plan les carneaux à gaz et à air et la

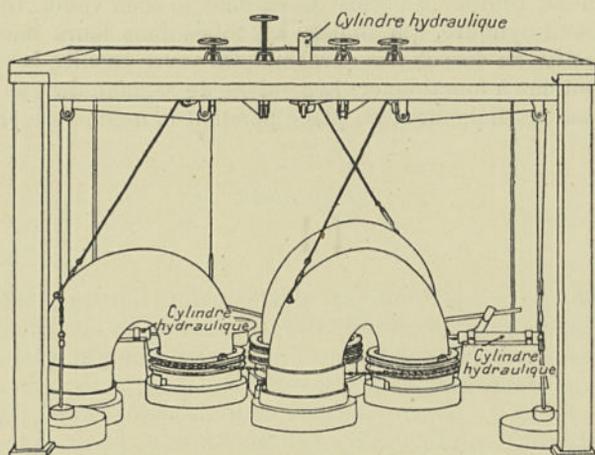


Fig. 176. — Mécanisme de renversement de Blair, montrant les tubes en position et les appareils de manœuvre.

figure 176, la disposition des parties mobiles des carneaux, système Blair. Ces parties mobiles, sont faites en tôle d'acier et sont garnies intérieurement de briques réfractaires. Leurs extrémités aboutissent dans un bac

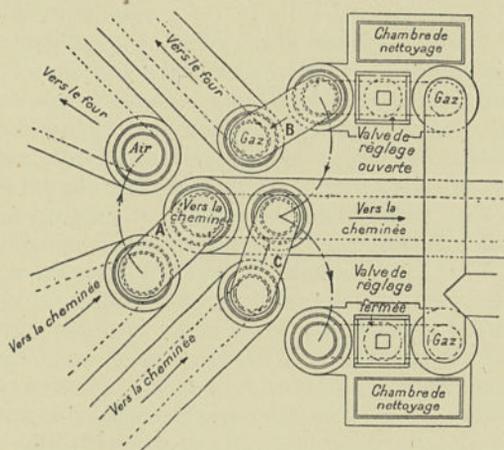


Fig. 177. — Vue en plan du mécanisme de renversement de Blair.

Le tube A, relie alternativement la sortie du four au canal de la cheminée et laisse ouvert le canal d'admission de l'air dans le four. Les tubes B et C relient alternativement les valves à gaz avec le four et le four avec la cheminée.

rempli d'eau, formant joint hydraulique. Pour renverser la marche du gaz, on ferme la valve de réglage de l'arrivée du gaz, au moyen d'un cylindre

hydraulique, qui à la fin de sa course, actionne la valve d'un second cylindre qui soulève les parties mobiles hors de leur bac hydraulique.

Arrivé à la fin de sa course, ce cylindre actionne la valve d'un troisième cylindre qui fait tourner les trois tubes dans le sens voulu. On actionne alors le second cylindre, qui abaisse les tubes dans leurs bacs hydrauliques respectifs, au-dessus des carneaux. On ouvre ensuite la valve à gaz et le four continue à fonctionner. Les valves de réglage du gaz et de l'air se mettent automatiquement en place pendant la manœuvre précédente.

CHAPITRE XXX

MÉLANGEURS

Avant 1889, époque à laquelle le capitaine Jones, en Amérique, et M. G. Hilgenstock, en Allemagne, introduisaient simultanément le mélangeur dans la pratique des aciéries, le métal liquide destiné aux convertisseurs Bessemer était pris, soit directement du haut fourneau, soit au cubilot, où la fonte subissait une seconde fusion. L'usage de prendre directement le métal au haut fourneau, entraînait des irrégularités de qualité et de rendement, par suite des variations de composition et des pertes de temps occasionnées par l'alimentation des convertisseurs en métal chaud. Si, d'autre part, la seconde fusion de la fonte remédiait jusqu'à un certain point à ces deux défauts, elle n'est pas, elle-même, exempte d'inconvénients, car cette opération augmente le prix de revient, sans améliorer la qualité du métal, puisqu'au contraire il y a augmentation de la teneur en soufre. Il est vrai que l'on obtient, de toute façon, un métal de composition plus régulière.

Le premier mélangeur installé sur le continent, avait une capacité de 70 tonnes. Il fut construit à Hoerde en 1889¹. La même année, on en installait un autre de 80 tonnes, en Angleterre, aux aciéries Barrow. Les mélangeurs ne furent guère employés, qu'en 1900, pour la fabrication de l'acier Bessemer, après que l'emploi des charges de métal fluide pour les fours Martin se fut généralisé. Pour les aciéries Martin, le mélangeur est devenu, de plus en plus, un appareil indispensable, que ce soit pour les fours fixes, acides ou basiques, ou pour les nombreux procédés continus travaillant avec des fours fixes ou oscillants.

Le mélangeur fut d'abord employé dans les aciéries comme collecteur des charges provenant des hauts fourneaux, dans le but d'unifier la composition du métal, et d'assurer le service des charges du four selon les besoins. Depuis cette époque, il s'est transformé en un énorme four, équipé de régénérateurs et d'appareils producteurs de gaz combustible, jouant le triple rôle de collecteur, de purificateur et de distributeur. Il est rapidement devenu l'accessoire indispensable de toutes les aciéries modernes.

Types de mélangeurs. — Il y a plusieurs types de mélangeurs, et nous en représenterons² quelques-uns, dans les figures 178 à 183 qui suivent.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1894, II, p. 761.

² Avec l'autorisation des directeurs de la « Berlin-Anhaltische Maschinenbau, Action-Gesellschaft », Köln-Bagenthal.

calotte, il y a une autre ouverture, destinée à l'entrée du mélange combustible d'huile ou de gaz. L'oscillation du mélangeur se fait au moyen d'un cylindre hydraulique dont l'extrémité de la tige du piston est fixée par un assemblage spécial à la base du mélangeur.

Ce dispositif est parfaitement visible sur la figure 179. Le mouvement du mélangeur est limité par une console, fixée sur le massif, tout près du fond de l'appareil.

Le mélangeur est garni intérieurement de matériaux réfractaires, acides ou basiques, selon la sorte de fonte produite par les hauts fourneaux.

Un pont roulant électrique sert à amener au mélangeur, les poches de métal ainsi que le représente la figure. Le contenu du mélangeur est coulé

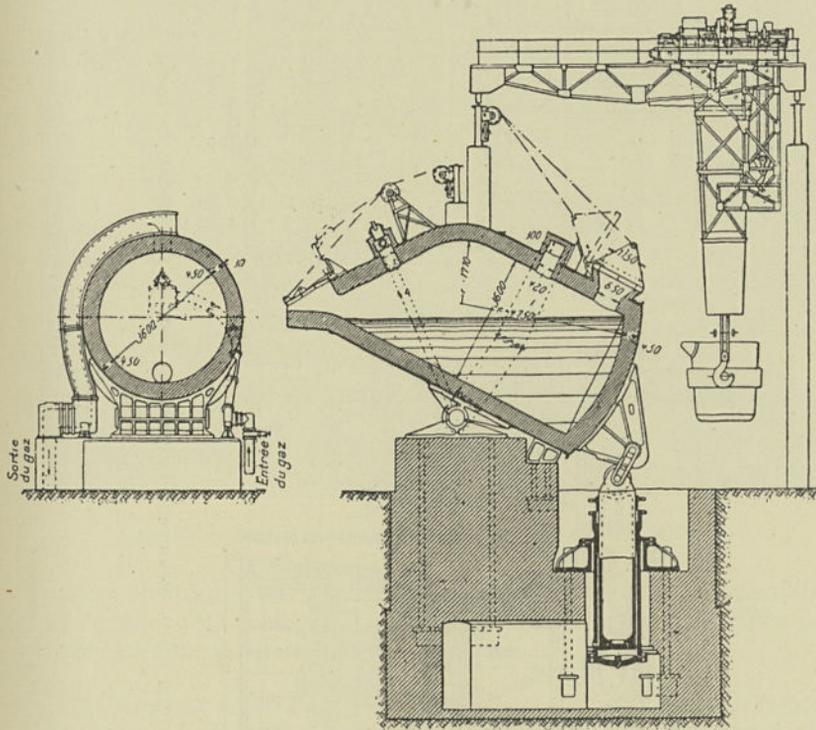


Fig. 179. — Mélangeur du type convertisseur (chauffage à l'huile ou au gaz).

dans une poche, accrochée à un pont roulant électrique analogue à celui représenté sur la figure, mais placé de l'autre côté ou dans une poche montée sur truck et tirée par une locomotive, selon la disposition de l'aciérie.

Mélangeur du type four Siemens. — La figure 180, représente un autre type de mélangeur employé pour les grandes quantités de métal. C'est un mélangeur de 900 tonnes, monté sur quatre chemins de roulement à galets, fixés sur les fondations. Ce mélangeur est actionné par deux cylindres hydrauliques placés à chaque extrémité. A chacune de celle-ci

il y a également une ouverture sur laquelle viennent s'adapter les conduites qui relient le mélangeur au régénérateur. Le régénérateur et la conduite ne sont pas représentés sur la figure.

Le métal du haut fourneau est versé d'un côté dans le mélangeur, la

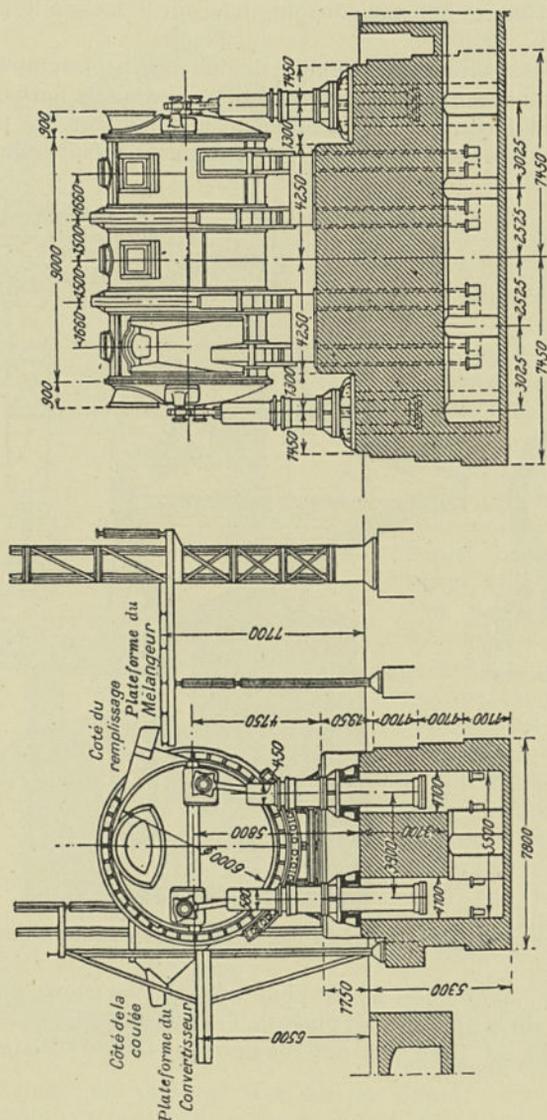


Fig. 180. — Mélangeur du type four Siemens (900 tonnes de capacité).

coulée se faisant de l'autre côté. L'enveloppe du mélangeur est constituée par des plaques laminées et rivées ensemble, les quatre patins de roulement sont boulonnés sur l'enveloppe. L'intérieur est garni de matériaux réfractaires.

Détails des patins de roulement. — La figure 181, représente les détails de la construction de ces patins et la façon dont on fixe sur l'enveloppe du mélangeur, les diverses parties qui les composent.

Le mouvement d'oscillation de ce mélangeur est commandé d'une façon différente que celui précédemment décrit. Sous le mélangeur se trouve boulonné un segment de couronne dentée, dans laquelle s'engage un pignon denté actionné, par l'intermédiaire d'engrenages convenables, par un

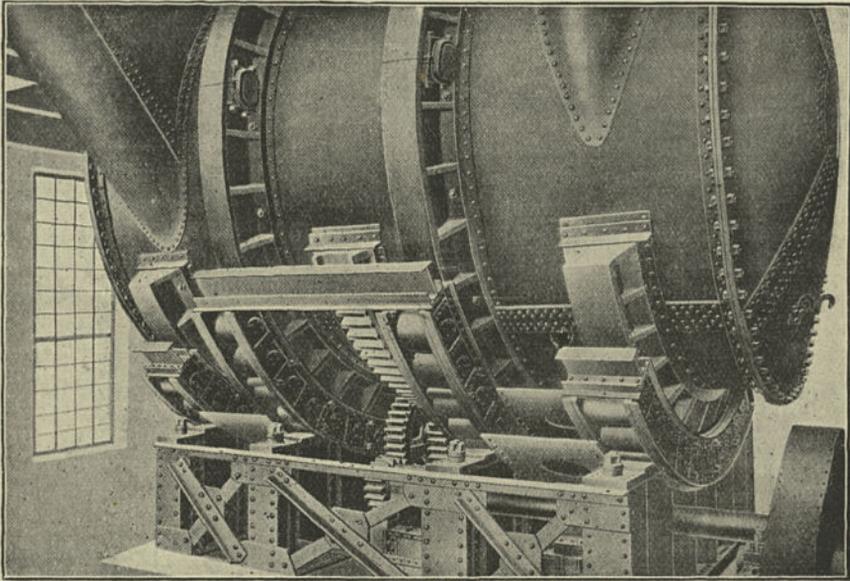


Fig. 181. — Détails des patins de roulement d'un mélangeur.

moteur électrique. Les plaques des extrémités ou fonds de l'appareil, sont boulonnées très solidement au corps de l'enveloppe, ainsi qu'on peut le remarquer sur la figure.

Mélangeur avec régénérateurs. — La figure 182, représente une coupe en élévation d'un mélangeur monté entre les carneaux à air et à gaz de deux groupes de régénérateurs.

Ce mélangeur est disposé comme un four oscillant ordinaire, il n'en diffère que par sa construction et par la longueur des patins de roulement. Le renversement de la marche du gaz se fait périodiquement comme dans les fours. Le métal est versé et coulé du mélangeur, sur le même côté, par des extrémités différentes.

La figure 183, est une photographie du mélangeur et de sa plate-forme de chargement.

Capacité des mélangeurs. — La capacité des mélangeurs varie de 150 tonnes, à plus de 1 000 tonnes. En ce qui concerne les meilleures dimensions à employer dans la pratique des aciéries, les opinions sont

partagées. Quand les mélangeurs sont employés comme affineurs de métal aussi bien que comme collecteurs et distributeurs, l'usure des revêtements est énorme.

Le Dr Petersen, examinant l'état actuel du procédé Martin, dit que les

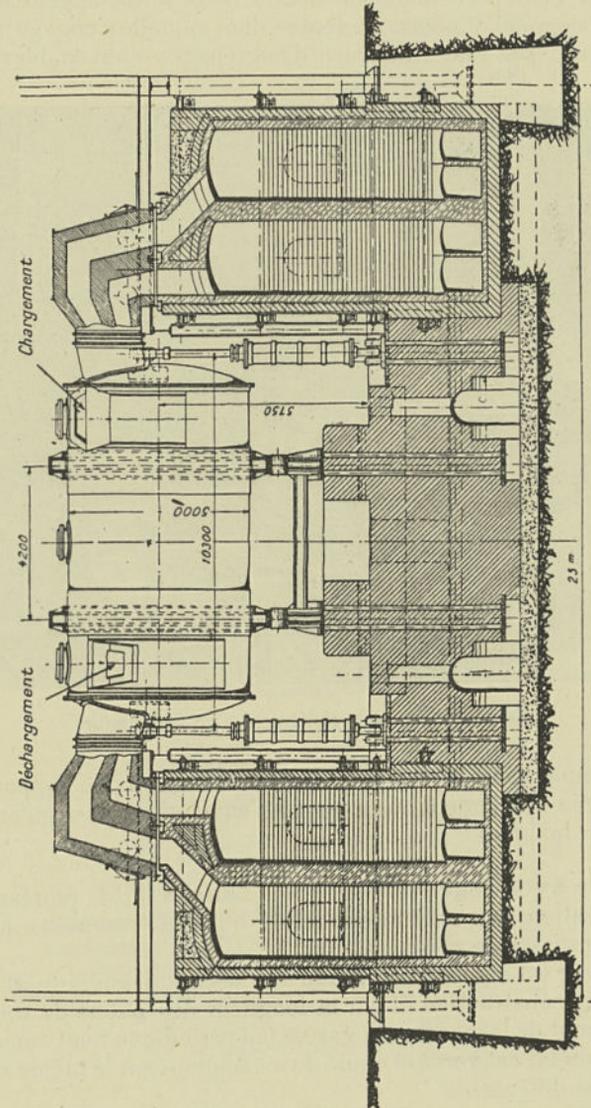


Fig. 482. — Mélangeur du type four Siemens chauffé au gaz, avec régénérateur.

dimensions des mélangeurs, employés comme affineurs, ne devraient pas avoir une capacité supérieure à 250-300 tonnes, non seulement à cause de l'énorme corrosion du revêtement sous l'action des oxydes et de la scorie, mais aussi à cause des difficultés de remplissage des appareils de grandes dimensions. Il y a cependant un fait certain, c'est que tous les petits

mélangeurs de 200 tonnes de capacité, ont été remplacés par des mélangeurs ayant une capacité beaucoup plus grande. Se limiter à de petits mélangeurs, c'est retarder les progrès des aciéries qui demandent beaucoup au ou aux mélangeurs. Toute décision relative aux meilleures dimensions à employer dépend, pour chaque aciérie, des conditions de fabrication de l'acier.

Emploi du mélangeur comme affineur. Mélangeurs non chauffés. — Comme affineur, le mélangeur joue un rôle extrêmement important dans les procédés Bessemer et Martin. Employé simplement comme collecteur et désulfureur, il élimine une grande quantité des diverses impuretés (à l'exception du carbone). Le fait le plus remarquable, signalé par M. le professeur O. Simmerbach, de Breslau, dans son intéressante étude sur les mélangeurs¹, est que la désulfuration se produit aussi bien dans des mélangeurs chauffés que dans ceux qui ne le sont pas. Il a noté les changements suivants, qui se produisent dans la composition d'une bonne fonte basique contenant de 1,1 à 1,3 p. 100 de manganèse, dans le temps qui s'écoule entre sa sortie du haut fourneau placé à une certaine distance du mélangeur, jusqu'à sa transformation en acier.

1. Teneur moyenne en soufre à sa sortie du haut fourneau.	0,254 p. 100.
2. Teneur moyenne en soufre à son entrée dans le mélangeur.	0,100 —
3. Teneur moyenne en soufre à son entrée dans le convertisseur.	0,084 —
4. Teneur moyenne en soufre de l'acier fini	0,052 —

L'élimination la plus importante du soufre, est celle qui se produit durant le transport de la poche contenant la fonte liquide, depuis le haut fourneau jusqu'au mélangeur, puisqu'elle représente les 76,24 p. 100 de l'élimination totale du soufre, alors qu'elle n'est que de 7,26 p. 100 dans le mélangeur, le restant étant éliminé dans le convertisseur basique. Sur d'autres essais, on a constaté que lorsque la fonte contenait un plus faible pourcentage de manganèse, il s'éliminait moins de soufre durant le transport de la poche du haut fourneau au mélangeur. Ce mélangeur avait une capacité de 750 tonnes, et l'analyse moyenne du métal, sur quatre jours, était de :

Si, 0,49 ; -Mn, 1,06 ; -P, 1,98 ; -S, 0,085 p. 100.

Mélangeurs chauffés. — Dans les mélangeurs chauffés, on peut contrôler le degré d'affinage du métal, aussi facilement que l'on contrôle le métal des fours Martin-Siemens.

Ces mélangeurs sont chauffés avec du gaz de gazogène et de l'air, ou avec de l'huile et de l'air, ou encore avec le gaz de haut fourneau ou de four à coke. Dans ces conditions, on peut régler la température du métal, de façon à se placer dans les conditions les plus favorables, pour éliminer les impuretés que l'on cherche particulièrement à enlever.

¹ *Stahl und Eisen*, 9 mars 1911.

On a obtenu les résultats suivants, avec un mélangeur de 200 tonnes chauffé avec un mélange de gaz de gazogène et d'air, ce dernier seul étant surchauffé. La température de la fonte entrant dans le mélangeur et celle y étant, était respectivement de 1245°C et 1350°C. A cette fonte, qui contenait : Si, 1,4 p. 100 ; -Mn, 1,00 p. 100 ; -S, de 0,14 à 0,17 p. 100 ; -P, 0.80 p. 100, on ajoutait $\frac{1}{2}$ p. 100 de minerai et $1\frac{1}{2}$ p. 100 de calcaire. On a

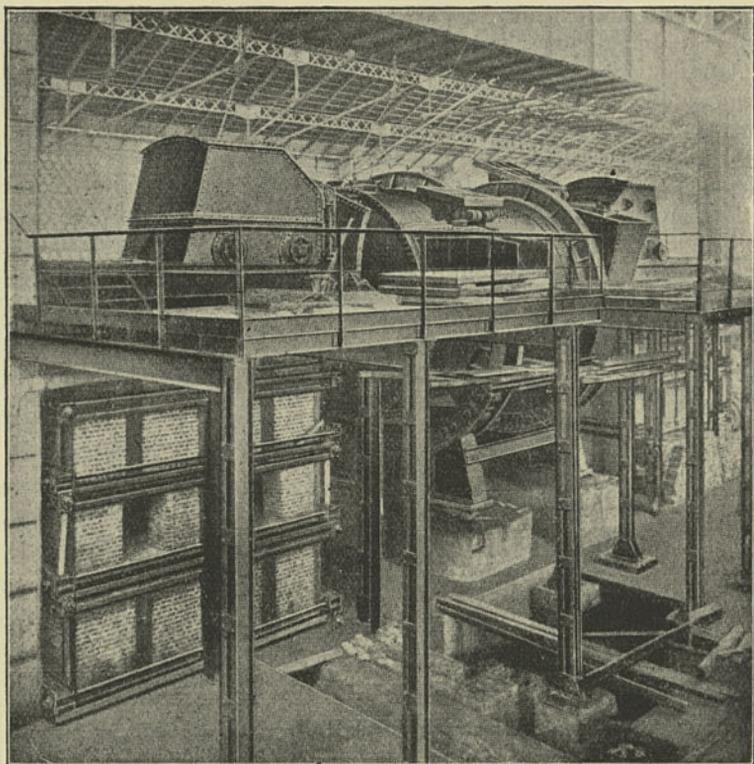


Fig. 183. — Mélangeur et sa plate-forme de chargement.

constaté que pendant une période de cinq semaines, l'élimination moyenne du Si fut de 30,29 p. 100 et celle du soufre de 50,54 p. 100.

Le minerai, qui contenait 3 p. 100 de Mn, favorisait, en même temps que la haute température du mélangeur, la désulfuration de la fonte.

On peut cependant éliminer le silicium dans une proportion supérieure à 30 p. 100. Mr. P. S. J. Cooper, a montré¹ qu'aux « North-Eastern Steel Works » Meddlesbrough, où l'on emploie deux mélangeurs de 400 tonnes chauffés au gaz, on abaissait la teneur en silicium de la fonte de 1,8 p. 100 jusqu'à 0,5 p. 100 et quelquefois davantage.

Nous pourrions citer d'autres exemples de charges et de composition pour montrer l'effet du mélangeur en tant que four d'affinage.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1908, II, p. 135.

Marche des mélangeurs. — Lorsqu'il s'agit d'un mélangeur récemment construit, il faut prendre avant de le remplir de métal, les mêmes soins que l'on prend pour les fours Martin-Siemens en ce qui concerne le séchage du revêtement, des carneaux et des régénérateurs. Pour les mélangeurs non chauffés, le séchage se fait au moyen d'un feu de houille et de coke, que l'on active au moyen d'un courant d'air amené par un tuyau flexible. On peut également les sécher en employant d'autres sortes de combustible, comme par exemple le gaz de gazogène, l'huile, etc., si toutefois ceux-ci, peuvent être facilement amenés dans le mélangeur. Lorsque l'aciérie utilise deux mélangeurs, le métal du haut fourneau est chargé dans l'un, tandis que l'on puise dans l'autre celui nécessaire aux charges d'acier. Cet emploi alternatif des mélangeurs permet d'accorder plus de temps, aux réactions chimiques qui s'y produisent, que lorsque l'on n'utilise qu'un seul mélangeur.

Pesée du métal versé et tiré du mélangeur. — On emploie différentes méthodes pour peser le métal entrant et sortant des mélangeurs. On utilise généralement des ponts-bascules qui sont placés, soit à l'entrée, soit sur le côté du bâtiment des mélangeurs, pour peser le métal venant du haut fourneau. Après pesage de la poche, celle-ci est enlevée de dessus son truck au moyen d'un pont roulant qui en verse le contenu dans le mélangeur ou bien, on amène la poche et son truck juste en face de la porte de chargement, et l'on bascule celle-ci pour en vider le contenu dans le mélangeur.

Pour peser le métal sortant du mélangeur, on met la poche et son truck sur un pont-basculé placé sous la plate-forme du mélangeur, et dans une position permettant la coulée du métal. L'opérateur chargé du mouvement du mélangeur a en face de lui le fléau de la bascule, qui lui indique la quantité de métal versé dans la poche. Il peut donc, tout en versant le métal, en contrôler le poids. Lorsque la poche et son contenu sont pesés, on conduit celle-ci au moyen d'une locomotive jusqu'au four où un pont roulant l'enlève de dessus son truck pour en verser le contenu soit dans le four, soit dans le convertisseur. Dans certaines installations, le pont roulant peut remplacer la locomotive, ce qui lui permet de servir à la fois les mélangeurs et les fours.

CHAPITRE XXXI

GAZOGÈNES

L'alimentation économique d'un bon gaz, en quantité suffisante, est l'un des problèmes les plus importants de la fabrication de l'acier, utilisant le gaz comme combustible, pour le chauffage des fours Martin-Siemens ou autres fours. L'augmentation croissante du prix de la houille et des salaires, la concurrence toujours plus active, ont conduit les industriels à employer des qualités de houille bon marché, dont ils cherchent à retirer la quantité maximum de bon gaz. Lorsque la houille était bon marché et la concurrence moins redoutable, les bénéfices étaient plus faciles à réaliser, de sorte que l'on admettait que pour la fabrication du gaz, il était indispensable d'employer une houille d'excellente qualité. Mais dans ces dernières années, le prix de la houille, de plus en plus élevé, a obligé les constructeurs à modifier le type des gazogènes, de sorte que ceux actuellement en usage, sont construits dans le but de donner du bon gaz, avec toutes les sortes de houille communes, dans les meilleures conditions économiques possibles. Quoique la plupart des gazogènes diffèrent les uns des autres, les méthodes de travail restent les mêmes dans la plupart des cas.

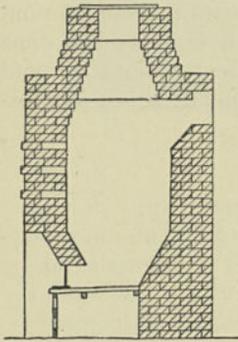


fig. 184. — Gazogene de Bischof.

Historique. — On admet généralement que le premier gazogène, à combustion interne, fut inventé en 1839, en Autriche, par Bischof. Il était adjoint à un four métallurgique, le passage de l'air, à travers le combustible incandescent, étant provoqué par le tirage de la cheminée. Le gaz produit, se rendait au four en passant par l'orifice de sortie, et le combustible était chargé par une ouverture, spécialement ménagée à cet usage, à la partie supérieure du four. La vapeur n'était pas utilisée en même temps que l'air. La figure 184, représente une vue en coupe de cet appareil.

En 1840, Ebelmann fit construire un gazogène, représenté par la figure 185, devant servir à la décomposition des goudrons hydrocarbonés, en obligeant les gaz volatils à traverser, avant de quitter l'appareil, une couche de combustible incandescent. Le gazogène était muni d'une

cloche de chargement, permettant au combustible de descendre lentement et progressivement jusqu'à la zone de combustion. Ce dispositif existe encore aujourd'hui, dans un certain nombre de gazogènes modernes, et quoique son but d'origine ne paraît pas avoir été entièrement atteint, il n'en est pas moins vrai que cette cloche joue le rôle d'un réservoir de chargement, dans lequel le combustible se trouve préalablement chauffé, avant d'atteindre la zone incandescente.

Avec l'introduction du four à creusets et des fours Martin-Siemens, chauffés au gaz, imaginés par sir William Siemens et son frère Frederick, il devenait indispensable de trouver, pour l'emploi de ces fours, les procédés pratiques de production économique du gaz. C'est pourquoi ils imaginèrent leur gazogène¹ en 1861. Il se composait d'une chambre en briques, garnie intérieurement d'un revêtement en briques réfractaires, et dans laquelle se trouvait une grille inclinée, composée dans sa partie supérieure de plaques métalliques garnies de briques réfractaires, et dans sa partie inférieure, d'une série d'échelons plats, placés horizontalement.

A la base de la grille, il y avait un réservoir d'eau alimenté par un bassin. Le combustible était chargé par des ouvertures, espacées les unes des autres, ménagées à la partie supérieure du four, le décrassage du four

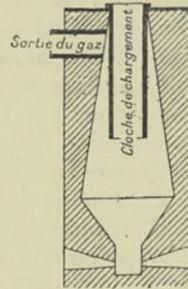


Fig. 185. — Gazogène d'Ebelmann.

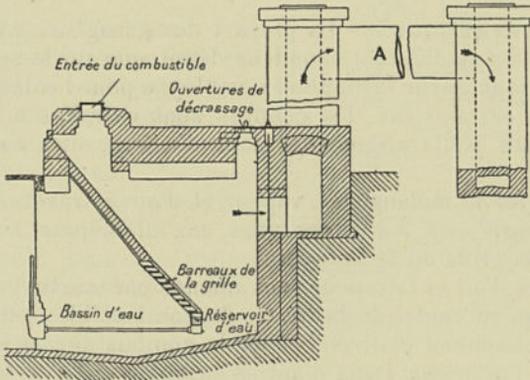


Fig. 186. — Gazogène original de Siemens.

se faisant par d'autres ouvertures, au moyen d'un ringard. Lorsque cet appareil était en marche, le gaz était produit par un courant d'air passant à travers la grille et par la vapeur, qui se dégageait du réservoir d'eau, par les ouvertures spécialement ménagées. Pour maintenir la pression du courant gazeux, le gazogène était placé soit à un niveau inférieur à celui du four, ou disposé selon la disposition adoptée dans la figure 186. Le tuyau horizontal marqué « A, » étant exposé à l'air, il en résulte une chute de température du gaz, laquelle augmentant sa densité, a pour effet d'agir sur la colonne descendante et à obliger le gaz à aller vers le four et à maintenir, par conséquent, une pression suffisante dans tous les tuyaux.

Depuis que les frères Siemens ont imaginé leur gazogène, il y a eu de nombreux perfectionnements garantis, naturellement, par de nombreux

¹ Siemens « *Collected Works* », vol. I, p. 219.

brevets. Mais en fait, l'idée principale est toujours restée la même, c'est-à-dire : produire un combustible gazeux, en faisant passer de l'air ou un mélange de vapeur et d'air, sur une masse incandescente de combustible.

Pour travailler économiquement et avantageusement, il faut satisfaire aux conditions indispensables suivantes :

1. La couche incandescente du combustible, doit être suffisamment épaisse, pour que la réduction de CO_2 en CO soit complète ainsi que la décomposition de la vapeur d'eau ;
2. Grande facilité d'enlèvement des cendres et des escarbilles ;
3. Production uniforme et continue d'un gaz de bonne qualité ;
4. Distribution uniforme du gaz ;
5. Appareil de conception simple et partant économique, tant en ce qui regarde la main-d'œuvre, que l'entretien.

Gazogènes à fond plein et à fond à grilles. — Ces types de gazogènes ne sont pas souvent employés, à cause des difficultés qu'ils présentent pour l'enlèvement des cendres, quand ils sont en service.

Quelques gazogènes ont conservé le fond à grille et le fond plein, et il nous paraît intéressant de noter qu'un gazogène, tout récemment préconisé, en l'espèce, le type S. F. H., décrit page 422 est muni d'un fond plein. Dans la description de ce gazogène, on notera toutefois que sa méthode de travail diffère quelque peu de celle de types habituels des gazogènes, dont la conception est parfois remarquable.

Gazogènes à fond hydraulique. — La plupart des gazogènes modernes sont de ce type, et ils ne diffèrent dans leur détail, que sur le système du cendrier hydraulique et sur la méthode employée pour l'enlèvement des cendres. Dans certains cas, les cendres sont extraites à la main et chargées dans des petits wagonnets, dans d'autres, elles sont extraites mécaniquement.

La méthode pour envoyer le mélange de vapeur et d'air à travers la couche de combustible, varie avec les divers types, car elle dépend surtout de la disposition de la grille ou de la tuyère.

Dans certains gazogènes, l'air et la vapeur sont amenés par une tuyère, passant par le fond, jusqu'au centre de la masse du combustible ; cette tuyère étant munie d'un chapiteau pour empêcher le combustible et les cendres de tomber dans l'intérieur. Dans d'autres gazogènes, il y a des grilles de différentes formes, soit fixes, soit animées d'un mouvement circulaire, pour faciliter le décrassage des cendres, l'air et la vapeur pénétrant par des ouvertures dans la masse du combustible.

Distribution du combustible. — Dans la plupart des gazogènes, le combustible est versé, par intervalles, dans une trémie de chargement convenablement disposée, ouverte et fermée au moment voulu. On a reconnu actuellement, que ce mode de chargement de la houille était défectueux, car l'introduction intermittente dans le gazogène, d'une grande quantité de houille froide, ne favorise pas la production d'un gaz de qualité uniforme. Ces gazogènes chargés à la main, sont maintenant remplacés par des gazogènes chargés mécaniquement, dans lesquels l'ali-

mentation de la houille se fait d'une manière continue ce qui permet de maintenir un degré uniforme de température et de produire un gaz de qualité régulière et uniforme.

Alimenteur mécanique de Bildt. — Le premier type d'alimenteur mécanique fut appliqué en Amérique. Il est connu sous le nom d'alimenteur Bildt. Il se compose d'une trémie de houille au-dessous de l'ouverture de laquelle est disposé un disque rotatif actionné au moyen d'un engrenage. Ce disque peut être élevé ou abaissé, selon la grosseur du combustible employé. La houille se trouve distribuée uniformément au-dessus de celle contenue dans l'appareil, par la forme du disque et par suite de son mouvement de rotation.

Installation de manutention de la houille. — L'emploi des gazogènes, chargés mécaniquement, a évidemment entraîné à perfectionner les procédés de manutention de la houille dans les halles des gazogènes. Au début, la houille était mise en tas sur le plancher de chargement, puis jetée dans les trémies au fur et à mesure des besoins.

Actuellement, toutes ces manutentions sont en rapport avec les perfectionnements des gazogènes modernes. Les dispositions dépendent évidemment des conditions locales, mais l'idée générale reste la même, puisque l'on cherche surtout, à mettre au-dessus du générateur, un réservoir de houille dont on pourra facilement verser le contenu dans les trémies des gazogènes pour que ceux-ci soient alimentés d'une façon régulière et constante.

La figure 187, représente une installation modèle de manutention de la houille, installée aux aciéries de la « Lackawanna Steel Co », Buffalo (E. U.). Les wagons de chemins de fer chargés de houille, sont amenés sur une

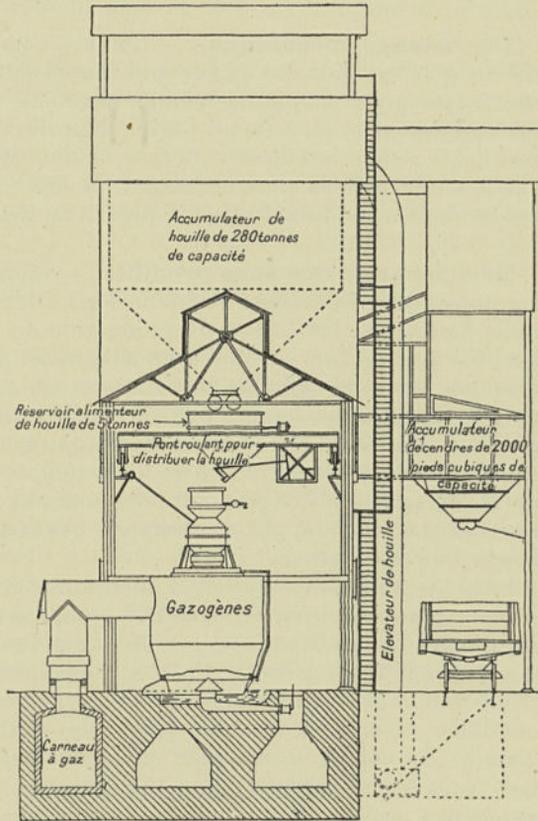


Fig. 187. — Installation de manutention de la houille et des cendres.
2000 pieds cubiques = 60 mètres cubes.

voie le long du bâtiment des gazogènes et leur contenu est versé dans la trémie d'un élévateur qui alimente deux accumulateurs de 280 tonnes de contenance chacun, placés sous la toiture du bâtiment. Ces accumulateurs alimentent à leur tour, un petit réservoir de 5 tonnes de capacité fixé à un pont roulant, qui approvisionne constamment les trémies des soixante gazogènes Morgan, de 3 mètres de diamètre, placés au-dessous.

Décrassage mécanique. — Comme complément de l'alimentation mécanique, certains gazogènes sont munis d'un dispositif de décrassage mécanique grâce auquel la houille, introduite par la cloche et la trémie, est uniformément répartie au moyen d'un ringard, marchant continuellement, qui remue la masse entière du combustible et en fait tomber les cendres. Il n'est pas alors nécessaire de faire le décrassage à la main, ce qui diminue considérablement le prix de la main-d'œuvre.

Récupération des sous-produits. — Dans ces dernières années, on a entrepris de nombreuses recherches pour la récupération des sous-produits fournis par les usines de production du gaz. Dans les régions où l'on fabrique le gaz, sur une grande échelle, pour le vendre aux usines, ainsi que dans les grandes installations, on a trouvé qu'il y avait économie à installer un atelier pour la récupération de l'ammoniaque et du goudron. Mais dans les aciéries, où les gazogènes sont adjoints aux fours Martin-Siemens, on est obligé de tenir compte de circonstances particulières, de sorte que l'on rencontre des courants d'opinion différents, sur la nécessité ou non qu'il y a, de récupérer ces sous-produits avant d'utiliser le gaz dans les fours.

Dans les communications de M. Humphrey¹ et de MM. Bone et Wheeler², on trouvera des renseignements très complets sur la question de la récupération de l'ammoniaque du gaz de gazogènes. Le gazogène Mond, imaginé par le Dr Ludwig Mond, F. R. S. a été spécialement construit pour la récupération de l'ammoniaque. Pour la récupération de l'ammoniaque, la condition essentielle consiste à injecter dans le gazogène, une grande quantité de vapeur surchauffée en même temps que l'air. Le gazogène doit travailler cependant à une température plus basse que celle des gazogènes ordinaires, à non récupération, car l'ammoniaque produit, ne doit pas être décomposé, mais seulement entraîné avec le gaz et une grande proportion de vapeur non décomposée, dans l'appareil de récupération qui condense la vapeur et refroidit le gaz, qui s'en va ensuite vers le four, en même temps que se fait l'absorption de l'ammoniaque.

L'ammoniaque est absorbé par l'acide sulfurique et forme une solution de sulfate d'ammoniaque. Celle-ci est concentrée par évaporation jusqu'à ce que le sel cristallise, lequel après séchage est prêt pour la vente. Le sulfate d'ammoniaque est de plus en plus employé comme engrais.

Quoique le sulfate rapporte de 250 à 350 francs à la tonne, il faut tenir compte, en premier lieu, des frais d'amortissement et d'intérêts de l'ins-

¹ *Proceedings Institution of Civil Engineers*, vol. CXXIX, pp. 190-217.

² *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, I, pp. 126-180.

tallation, et en second lieu des frais de main-d'œuvre et d'entretien, du prix d'achat de l'acide sulfurique, de la houille distillée, etc. L'économie réalisée par la récupération de l'ammoniaque dépend surtout de la quantité de houille gazéifiée. Il faut encore tenir compte de la qualité du gaz produit pour son emploi dans les fours. Dans un atelier Mond, avec récupération de l'ammoniaque, le gaz contient environ 11 p. 100 de CO tandis qu'il contient approximativement 27,5 et 16,5 d'hydrogène et d'acide carbonique.

Certains aciéristes prétendent que le gaz de fours Martin-Siemens doit être riche en oxyde de carbone et en vapeurs goudroneuses, car on obtient d'abord une flamme plus éclairante et qu'ensuite, sa combustion étant plus lente, il développe dans le four une chaleur plus uniforme. Selon M. Sehmer ¹, les aciéries Martin-Siemens de l'Allemagne « refuseraient un gazogène donnant normalement plus de 10 p. 100 d'hydrogène avec un maximum de 14 p. 100 », ce qui justifie l'opinion que le gaz de gazogène riche en hydrogène, et par conséquent pauvre en oxyde de carbone, ne convient pas pour l'usage des fours Martin-Siemens.

Combustible employé dans les gazogènes. — La capacité d'un gazogène et la composition analytique du gaz produit dépendent surtout du genre de combustible employé, de sorte que c'est une erreur de croire, qu'il suffit de dire, pour être renseigné, que le gazogène a une capacité de tant de tonnes par jour, ou donne un gaz de telle composition, si en même temps on ne donne pas la nature du combustible employé. Pour montrer l'influence de la qualité de la houille sur le rendement et la composition chimique du gaz, nous donnons dans le tableau LXXXI le rendement en gaz, d'un même type de gazogène, travaillant avec différentes sortes de combustibles et dans le tableau LXXXII, page 403, nous indiquons les résultats analytiques moyens obtenus avec une batterie de trente gazogènes, du type Kerpely, employant des combustibles différents et de diverses provenances.

TABLEAU LXXXI

Dimensions et capacités des gazogènes Hilger.

NATURE DU COMBUSTIBLE	CAPACITÉ EN TONNES DU GAZOGÈNE PAR 24 HEURES			
	Diamètre 2 m.	Diamètre 2,20 m.	Diamètre 2,58 m.	Diamètre 3 m.
Lignite de Bohême	16-18	20-22	26-29	33-36
Briquettes de lignite du Rhin	16-18	20-22	26-29	33-36
Noisettes de houille lavées.	10-12	12-14	16-19	21-24
Houille cassée avec 20 p. 100 de poussière	9-11	11-13	15-18	19-22
Grenette avec 50 p. 100 de poussière	7,5-8,5	9-11	12-14	16-18
Rebut.	6-6,5	7-8	9-11	12-14

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1907, I, p. 175.

La plupart des combustibles employés, dans les gazogènes adjoints à des fours Martin-Siemens, sont : des lignites, des houilles bitumineuses ou anthraciteuses, ou des briquettes de poussier de houille. En général, on peut utiliser, sans difficulté, les houilles qui contiennent même une forte proportion de cendres dans le gazogène à fond hydraulique, mais dans ce cas, il faut veiller à ce que la teneur en soufre soit faible. C'est à la présence du soufre, qui en fondant et en se combinant avec les cendres pour former des clinkers, qu'il faut attribuer la plupart des ennuis rencontrés dans la fabrication du gaz de gazogène, et qui fait qu'une houille bon marché, coûte parfois plus cher qu'une houille de meilleure qualité. De plus, une certaine quantité du soufre contenu dans la houille est entraînée par le gaz dans les fours, ce qui constitue une raison de plus pour n'utiliser que des houilles peu sulfureuses.

Le meilleur type de combustible est sans contredit une bonne houille, passée au crible, et concassée en morceaux de 24 à 65 centimètres cubes. Le menu, quoique coûtant meilleur marché, est généralement moins économique, car il fournit un gaz de qualité inférieure, encrasse le gazogène et augmente le prix de la main-d'œuvre.

Types de gazogènes modernes.

Dans les pages suivantes, nous donnerons les descriptions et illustrations des meilleurs types connus de gazogènes employés dans les aciéries, en conjonction avec les fours Martin-Siemens, classés alphabétiquement dans les trois groupes : Anglais, Américains et Continent. Les renseignements donnés sur les rendements, etc., ne s'appliquent pas dans chaque groupe, à l'emploi des combustibles menus ni à l'efficacité de conditions analogues de travail, mais sont les résultats des conditions actuelles du travail dans les différents pays et dans les diverses circonstances. Aucune tentative n'a d'ailleurs été faite, pour comparer entre eux les nombreux types de gazogènes décrits, mais on a seulement donné page 423, un modèle-type du prix de revient, basé sur les informations exposées dans les descriptions suivantes, et qui sont la fidèle reproduction des résultats expérimentaux obtenus sur plusieurs types de gazogènes modernes.

Gazogènes anglais.

Gazogène Dawson. — Ce gazogène, représenté en coupe par la figure 188, est du type à fond hydraulique et se compose d'une enveloppe cylindrique, garnie intérieurement de briques réfractaires, et reposant au moyen de colonnes sur le fond du réservoir d'eau.

Ce réservoir d'eau reçoit non seulement les cendres et les clinkers qui tombent mais joue, en même temps, le rôle d'un joint hydraulique empêchant le gaz de s'échapper lorsque le gazogène est en marche. La houille se charge dans l'appareil au moyen d'une cloche et d'une trémie placées à sa partie supérieure, tandis que le mélange de vapeur et d'air est injecté sur la masse incandescente au moyen d'une tuyère, munie à sa partie supérieure d'un capuchon conique empêchant le combustible de

TABEAU LXXXII
Résultats moyens obtenus avec les gazogènes Kerpely.

NUMÉROS	ORIGINES DE COMBUSTIBLE			CARACTÉRISTIQUES du combustible.	DIMENSIONS du combustible.	COMPOSITION analytique centésimale moyenne du combustible.					COMPOSITION analytique centésimale moyenne du gaz				POUVOIR CALORIFIQUE TOTAL déduction faite du goudron. En calories par mètre cube.		
	PAYS	RÉGION	LOCALITÉ			Matères volatiles.	Cendres.	Humidité.	Soufre.	En calories.	CO ₂	H	Hydrocarbures.	Combustible total.			
1	Angleterre.	Yorkshire.	Pearm Valley, Sheenbridge.	Cokéfiant et fondant.	Noisettes jusqu'à la poussière.	54,8	29,5	6,2	7,8	1,3	6 400	4,0	29,0	10,0	3,7	42,7	1 400
2	—	Newcastle.	—	Cokéfiant.	Noisettes avec 30 % de poussière.	52,2	35,6	6,5	5,8	0,9	6 700	2,2	28,6	9,0	2,5	40,1	1 300
3	Belgique.	Mons.	Flenu.	Cokéfiant. Tendance à former des cinners.	Noisettes, menu et fine houille.	—	33,3	5,0	—	—	6 600	3,5	27,5	11,6	3,4	42,5	1 370
4	France.	Saint-Etienne.	Decize.	Très fortement cokéfiant.	Menu.	60,0	19,6	13,1	7,3	1,2	7 300	4,5	25,4	8,6	3,6	37,6	1 270
5	Autriche.	Styrie.	Fohnsdorf.	Houille miroitante.	Grosse houille.	48,0	27,0	17,0	10,0	2,2	5 000	2,8	30,5	14,0	2,1	46,6	1 400
6	—	Silésie.	Dombrau.	Cokéfiant.	Grosse houille.	57,2	28,1	14,5	3,2	—	6 600	4,0	25,0	13,0	1,5	39,5	1 180
7	Hongrie.	Kirald.	Banszalias.	Lignite.	Grosse houille avec 60 % de poussière.	18,5	36,9	16,0	24,0	0,8	3 200	5,0	27,0	13,6	1,8	42,4	1 270
8	Bosnie.	—	Banjatuka.	—	Noisettes, menu.	11,8	55,3	20,6	15,0	3,8	4 200	5,5	26,5	12,0	1,5	40,0	1 182
9	Allemagne.	Prov. Rhénane.	Brühl.	Briquettes.	50 à 75 millimètres.	47,3	34,8	4,6	13,3	—	4 900	3,4	31,5	11,0	2,5	45,0	1 400
10	—	Westphalie.	Werne.	Cokéfiant et fondant.	Grosse houille avec 40 % de poussière.	57,0	31,0	8,0	4,0	—	6 700	2,7	27,5	6,0	3,6	37,4	1 280
11	—	Silésie.	Friedensgr.	Cokéfiant.	Menu.	59,4	28,7	7,8	4,1	—	6 900	3,2	26,8	9,3	6,0	42,1	1 495
12	Russie.	Pologne.	Mine Park.	Non cokéfiant.	Noisettes lavées 12 millimètres.	48,0	32,0	8,5	14,5	—	5 600	1,4	31,5	12,4	2,2	46,1	1 400
13	—	Sud.	Alexandrow.	Très fortement cokéfiant.	Grosse houille.	49,5	32,7	16,2	1,5	3,1	6 400	2,2	27,8	10,0	3,8	41,6	1 380

tomber à l'intérieur. Le gaz produit s'échappe de l'appareil, par une

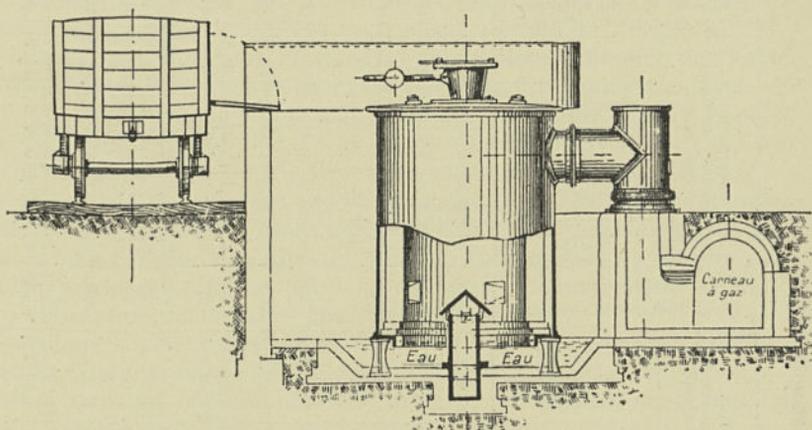


Fig. 188. — Gazogène Dawson.

ouverture spécialement ménagée à cet effet dans la partie supérieure, d'où il se rend au four au moyen de tuyaux et de carneaux.

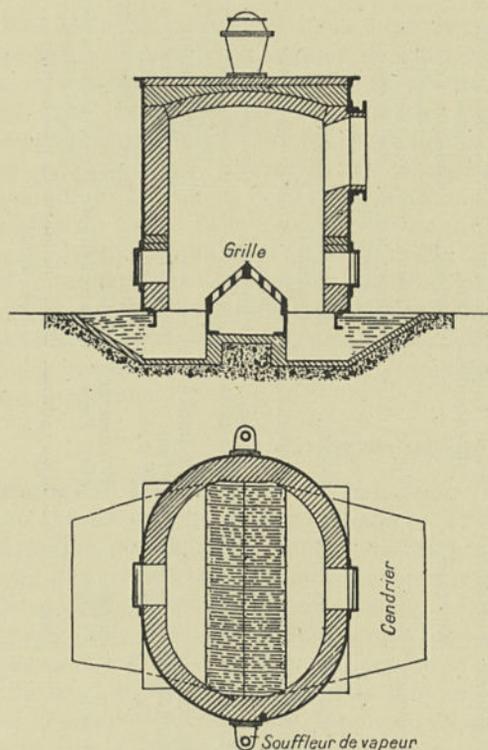
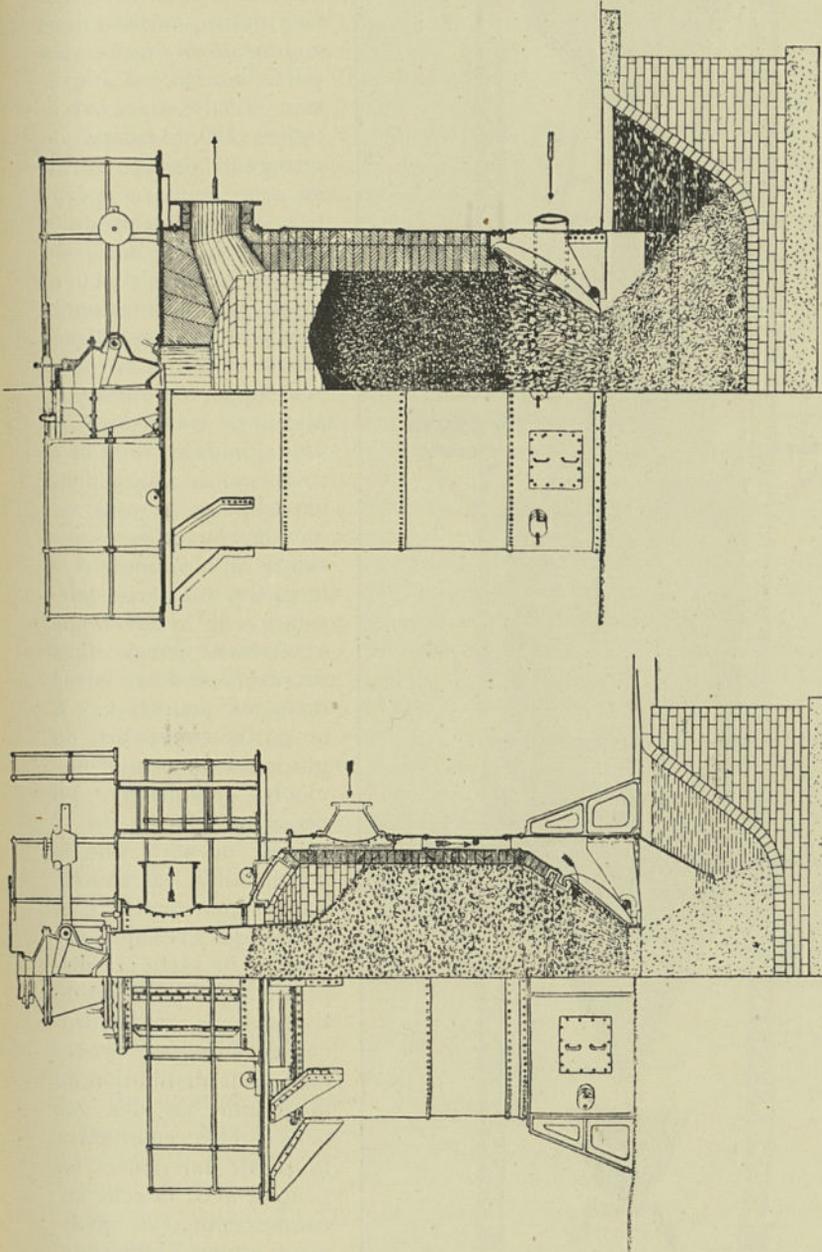


Fig. 189. — Gazogène Duff.

Gazogène Duff. — Le gazogène Duff, représenté par la figure 189, a été imaginé dans le but d'utiliser les mauvaises houilles bitumineuses. Il est du type à fond hydraulique et est muni d'une grille destinée à distribuer uniformément l'air et la vapeur à la surface de la masse incandescente. Sur les côtés, on a ménagé des portes pour faciliter l'accès de l'intérieur du gazogène, en vue de son examen et des réparations nécessaires. Le chargement de la houille se fait de la manière habituelle, au moyen d'une cloche et d'une trémie. Ce gazogène se fait en cinq dimensions différentes, pouvant gazéifier respectivement 50, 100, 250, 500 et 750 kilogrammes de houille à l'heure.

Les quatre premiers numéros sont de forme circulaire, tandis que le dernier numéro est de forme ovale, l'air et la vapeur étant soufflés des deux côtés de la grille.



(b) Type sans récupération.

(a) Avec récupération des sous-produits.

Fig 490. — Gazogène Mond.

Gazogène Mond. — Le gazogène Mond, qu'a fait adopter le regretté

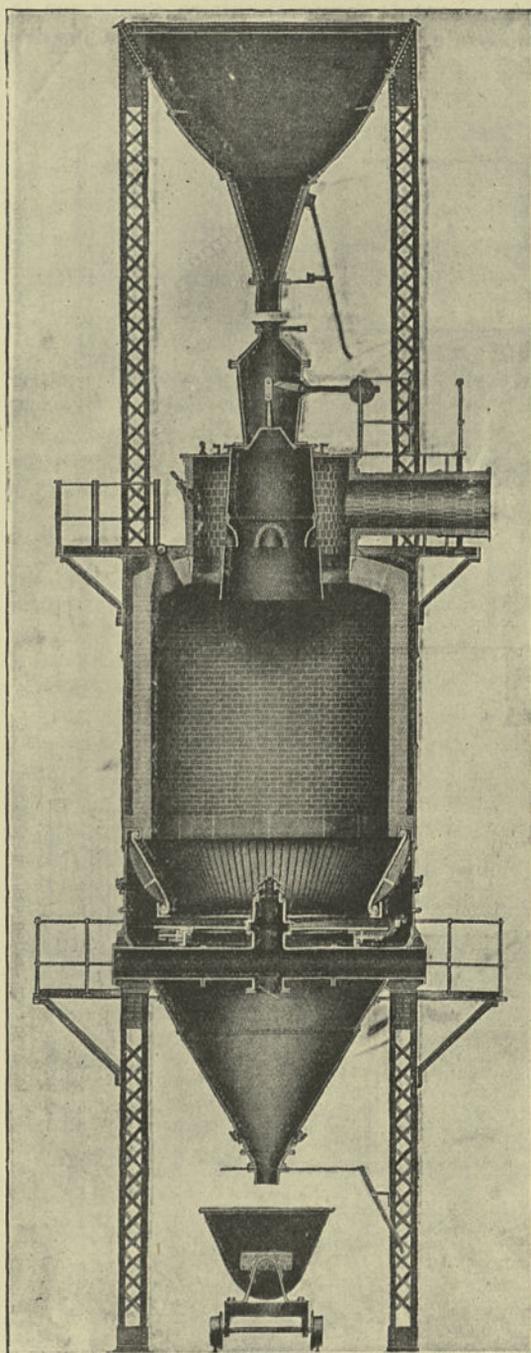


Fig. 191. — Gazogène Mond-Trump.

D^r Ludwig Mond, F. R. S. est construit en vue ou non de la récupération des sous-produits. Ces deux genres de gazogènes sont représentés partiellement en élévation et en coupe par la figure 190. Lorsque le gazogène est construit en vue de la récupération des sous-produits (fig. 190 a), il se compose d'une première enveloppe, garnie intérieurement de briques réfractaires, et d'une seconde enveloppe, entourant la première, en laissant un vide annulaire de 0,05 à 0,15 cm. de large dans lequel passe le vent venant de l'ouverture supérieure et se rendant à la grille. La partie inférieure de l'enveloppe extérieure plonge dans un réservoir d'eau formé dans les fondations. A la partie supérieure du gazogène se trouve une cloche cylindrique, qui reçoit la charge de la trémie, de sorte que le combustible est chauffé par les portions légères du gaz qui s'échappe par l'orifice de sortie; ce dispositif ayant pour but de transformer ces hydrocarbures légers provenant de la distillation de la houille en des gaz fixes, en les remettant, à la partie inférieure, en contact avec la zone incandescente avant qu'ils aient atteint l'orifice de sortie des gaz. Avec le

vent, on emploie une grande quantité de vapeur, qui représente environ 1 kilogramme de vapeur pour chaque $\frac{1}{2}$ kilogramme de houille gazéifiée. A la sortie du gazogène, les gaz chauds passent d'abord dans un récupérateur tubulaire dans lequel ils abandonnent la plus grande partie de leur chaleur au profit du mélange d'air et de vapeur entrant dans l'appareil. Les gaz pénètrent ensuite dans un laveur mécanique, composé d'une chambre rectangulaire dans laquelle le gaz vient en contact avec des jets d'eau pulvérisée, produits par un système de disques rotatifs. Ici, la température du gaz se trouve considérablement abaissée, ce qui provoque le dépôt partiel des poussières et du goudron. A la sortie de ce laveur, le gaz se rend dans un appareil où il abandonne l'ammoniaque qu'il contient à une solution faible d'acide sulfurique en formant une liqueur de sulfate d'ammoniaque. Cette solution, désignée sous le nom de liqueur ammoniacale est soutirée périodiquement pour être, soit vendue pour être distillée à nouveau, soit évaporée à sec pour en retirer le sulfate d'ammoniaque. Le gaz, ainsi débarrassé de son ammoniaque, est propre à la consommation du four.

Dans le type de gazogène sans récupération, représenté par la figure 190 *b*, la construction est différente en ce sens que l'espace annulaire et la double enveloppe sont supprimés. La cloche cylindrique est également supprimée, de sorte que cet appareil ressemble aux types bien connus de gazogènes à fond hydraulique. Dans ce cas, les gaz passent chauds du gazogène au four.

Lorsque l'on utilise des houilles donnant une forte proportion de cendres, ces gazogènes sont quelquefois munis d'un dispositif de déchargement mécanique des cendres, ils sont alors désignés sous le nom de gazogènes Mond-Trump. La figure 191 représente cet appareil supporté sur un châssis en acier et muni d'un collecteur conique de cendres, permettant leur déchargement facile dans les wagonnets placés en dessous.

Nous donnons, ci-dessous, la composition analytique du gaz produit par les gazogènes Mond avec et sans récupération de l'ammoniaque.

GAZ MOND PROVENANT D'UN COMBUSTIBLE BITUMINEUX

	SANS RÉCUPÉRATION de l'ammoniaque.	AVEC RÉCUPÉRATION de l'ammoniaque.
CO	23,0 p. 100.	11,0 p. 100.
H	17,0 —	27,5 —
Hydrocarbures	3,0 —	3,0 —
CO ²	5,0 —	16,5 —
Az et humidité	52,0 —	42,0 —

Gazogènes Siemens. — Depuis sa première application datant de 1863, le gazogène Siemens a subi de nombreuses modifications et de nombreux perfectionnements. L'un des types le plus moderne, actuellement employé en liaison avec les fours Martin-Siemens nécessitant la construction du gazogène dans le sous-sol, est représenté par la figure 192.

Ce gazogène est à fond hydraulique et à marche continue. La trémie

habituelle est disposée pour le chargement du combustible. Puisque le chargement de cet appareil se fait au niveau du sol, ce type de gazogène convient surtout dans les usines où le déchargement de la houille se fait sur le sol, car dans ce cas, on peut décharger la houille à proximité du gazogène pour charger facilement, à la main, la trémie de remplissage.

Avec le type de gazogène cylindrique qui se place habituellement dans le sous-sol, la trémie de chargement est élevée de plusieurs pieds au-dessus du sol, de sorte qu'il faut construire une plate-forme pour en

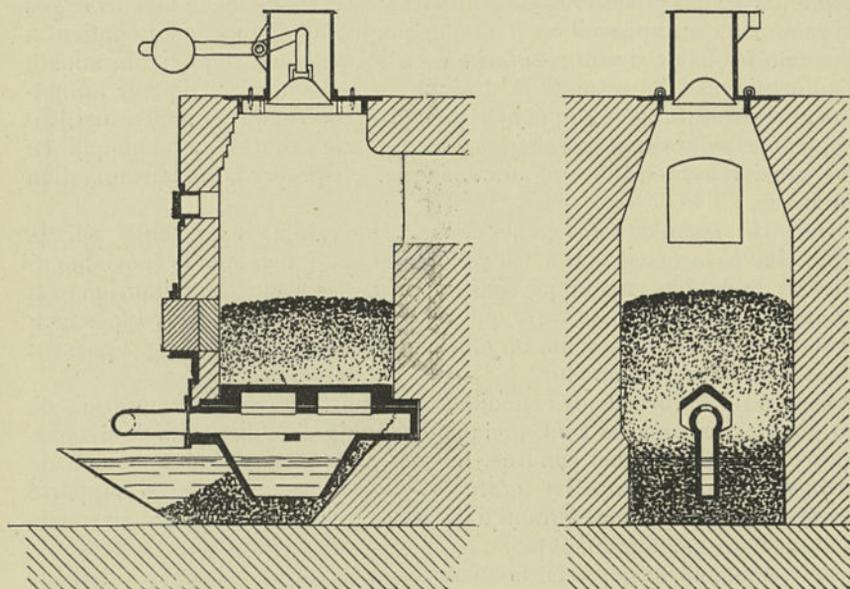


Fig. 192. — Gazogène Siemens.

faciliter le chargement. Si donc les wagons de houille ne peuvent pas être amenés sur un quai, à hauteur de cette plate-forme, il faut amener la houille sur la plate-forme au moyen d'élévateurs ou de transporteurs.

Gazogène Thwaite. — M. B.-H. Thwaite a imaginé un certain nombre de gazogènes de différents types, la figure 193 représente l'un de ceux-ci. L'enveloppe du gazogène, qui est cylindrique et garnie intérieurement de briques réfractaires, est entourée d'une seconde enveloppe formant ceinture dans laquelle passe l'air nécessaire à la combustion où il s'échauffe avant son entrée dans l'appareil. Le gazogène est muni de grilles, d'un fond hydraulique, d'une trémie de chargement et des ouvertures pour le piquage du feu, que l'on trouve dans la plupart des types de gazogènes modernes.

Dans le but de transformer en gaz fixes, les matières volatiles de la houille, Thwaite a imaginé un gazogène double dans lequel le gaz formé passe alternativement à travers la zone incandescente de chaque gazo-

gène avant d'être employé. Dans un autre système de gazogène, Thwaite réalise l'enrichissement du gaz au moyen de l'huile gazéifiée.

Gazogène Wilson. — Sous sa forme originale, cet appareil est un gazogène à fond plein, de coupe cylindrique, muni de portes de nettoyage pour l'enlèvement périodique des cendres et des clinkers. Cet appareil fut ensuite perfectionné pour pouvoir marcher de façon continue. Il est représenté par la figure 194. Comme précédemment, il se compose d'une enveloppe cylindrique, garnie intérieurement de briques réfractaires, mais le fond, au lieu d'être plein, est muni d'une vis d'Archimède tournant len-

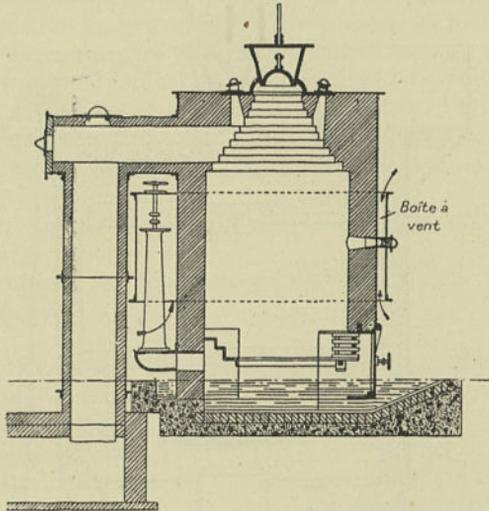


Fig. 193. — Gazogène Thwaite.

tement dans un cendrier plein d'eau, et servant à l'enlèvement continu des cendres. Le gazogène est également muni d'une tuyère tournante, servant non seulement à distribuer régulièrement, à la surface de la masse incandescente, le mélange d'air et de vapeur, mais aussi à remuer cette masse pour en faire tomber les cendres.

Un autre perfectionnement a été également apporté dans le dispositif de chargement, qui se compose d'un tambour creux tournant sur son axe, alimenté par une trémie placée au-dessus et remplie de charbon. En passant sous la trémie, la cavité se remplit de charbon, lequel est ensuite versé dans l'appareil lorsque le tambour a tourné d'un demi-tour.

Dans le cas où il est absolument nécessaire d'éliminer les poussières du gazogène, celui-ci est muni d'une chambre à poussière construite dans son enveloppe et consistant en une chambre cylindrique, garnie de briques réfractaires, placée à côté du gazogène proprement dit et enfermée dans la même enveloppe.

Les gaz qui sortent du gazogène par l'orifice de sortie placé à la partie supérieure, sont ramenés par un conduit à la partie inférieure de la chambre à poussière garnie de clinkers, de mâchefer ou de cendres, où

ils abandonnent les poussières entraînées tout en conservant, grâce à la haute température maintenue, leurs matières goudroneuses.

Le gazogène Wilson, à chargement et à nettoyage automatiques, est représenté par la figure 194. Il mesure 3 mètres de diamètre, et peut gazéifier par heure, une tonne de houille de médiocre qualité. Le prix d'une

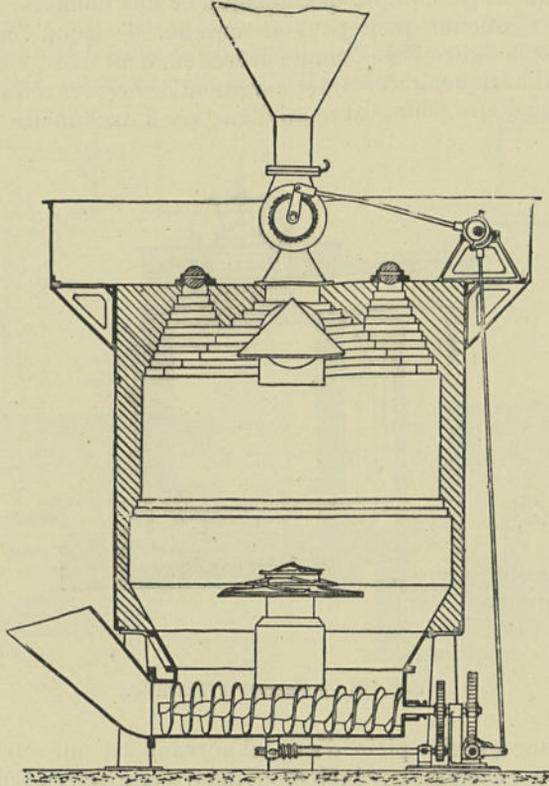


Fig. 194. — Gazogène Wilson, à chargement et nettoyage automatiques.

installation de gazogènes Wilson, pour alimenter un four de 10 tonnes, varie de 7 500 à 10 000 francs.

Gazogènes américains.

Gazogène Forter-Trump. — Ce gazogène est muni des dispositifs automatiques de chargement et d'enlèvement des cendres. Le gazogène lui-même, est du type cylindrique et est muni d'un fond de forme conique formant cendrier et fond hydraulique. L'air et la vapeur sont soufflés par une tuyère centrale et par une grille circulaire entourant l'enveloppe du gazogène. L'appareil de chargement se compose d'un rateau et d'un plateau tournant à différentes vitesses, refroidi par l'eau, et distribuant convenablement le combustible dans l'intérieur de l'appareil. Les cendres sont

coupées par tranches au moyen d'un râteau tournant, tombent sur un plateau à rainures qui les verse dans le cendrier, rempli d'eau, au moyen de deux cuillers fixées à la bague du râteau.

Cet enlèvement automatique des cendres facilite l'alimentation régulière du combustible. Le râteau circulaire est maintenu en place au moyen de deux galets, il est actionné sur le côté au moyen d'engrenages appropriés mus par un petit moteur électrique. La force nécessaire pour actionner le râteau circulaire (lequel fait un tour complet toutes les deux heures) est d'environ 2 HP.

Un gazogène de 3 mètres de diamètre, peut gazéifier par jour 30 tonnes de houille bitumineuse ou 25 tonnes d'un mélange de houille, composé moitié de morceaux de la grosseur d'une noisette et moitié de la grosseur d'un pois. Un gazogène de 2 mètres, peut gazéifier en vingt-quatre heures 7 tonnes d'antracite. L'efficacité du « gaz chaud » est de 85 p. 100, celle du « gaz froid » (refroidi entre 24 et 26° C) est de 80 p. 100. La main-d'œuvre d'une équipe conduisant une batterie de 8 gazogènes, dont l'alimentation en houille de l'appareil de chargement se fait mécaniquement, se compose de :

Un ouvrier chargé de surveiller le fonctionnement des gazogènes à l'étage de chargement ;

Un ouvrier chargé de l'enlèvement des cendres ;

Un contremaître.

Gazogène Hughes. — Le point caractéristique de cet appareil consiste dans l'emploi d'un dégraisseur mécanique, qui se compose d'une pièce en acier, refroidie par circulation d'eau, fixée à la partie supérieure à un tourillon et actionnée par un excéntrique calé sur l'arbre principal actionné par un moteur. La figure 195, représente une vue en coupe de ce gazogène. L'enveloppe a la forme circulaire habituelle, elle est garnie intérieurement de briques réfractaires, et porte à la partie inférieure une bague en fonte sur laquelle se trouve boulonné un cendrier formant joint hydraulique. La base repose sur un plateau tournant, supporté par des galets coniques, de sorte que le cendrier et l'enveloppe

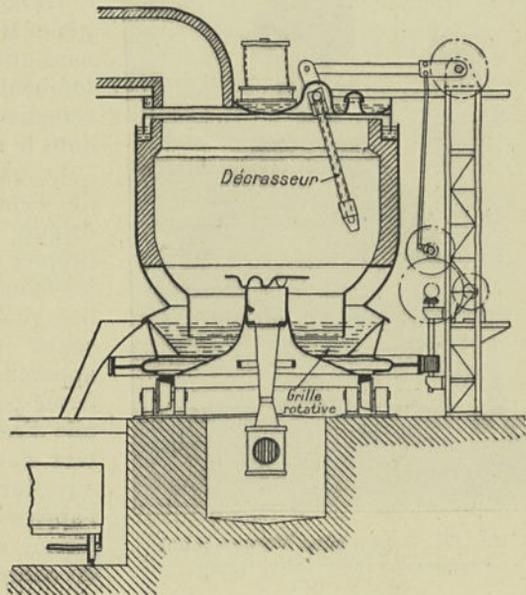


Fig. 195. — Gazogène Hughes.

du gazogène et son contenu tournent ensemble. Le dégraisseur fonctionne de haut en bas et de bas en haut alors que le gazogène tourne, de sorte que la masse de combustible est continuellement remuée et débarrassée des cendres, qui tombent dans le bas. La partie supérieure du gazogène est munie de deux ouvertures, placées à deux distances différentes du centre, de sorte que le chargement de la houille se fait en deux tas concentriques sur le combustible déjà contenu dans l'appareil, tas qui sont ensuite nivelés par le dégraisseur.

L'arbre principal et les engrenages de commande sont supportés par un cadre en acier, scellé au sol et solidement fixé à la partie supérieure du gazogène, laquelle se compose d'une pièce en acier coulé, refroidie par circulation d'eau et formant joint hydraulique de la surface extérieure du couvercle du gazogène. Ces gazogènes sont généralement équipés d'un moteur de 3 HP.

Dans les conditions moyennes, ces gazogènes peuvent gazéifier 113 kilogrammes de houille par 0,0929 m² de surface, un gazogène de 3 mètres de diamètre a donc une capacité normale d'environ une tonne. Pour conduire une batterie de 8 gazogènes, il faut environ six ouvriers si le chargement des trémies se fait au moyen d'accumulateurs placés au-dessus et remplis de charbon.

Ce gazogène est beaucoup employé aux Etats-Unis où il fut inventé et donne les résultats les plus satisfaisants.

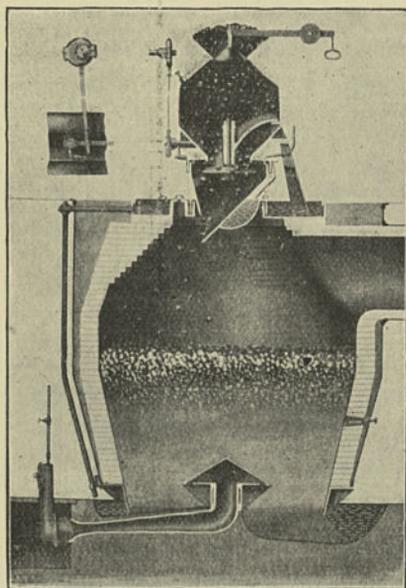


Fig. 196. — Gazogène Morgan muni du chargeur automatique George.

Gazogène Morgan. — Le gazogène Morgan est du type à fond sans grille, dans lequel les cendres tombent dans une sorte d'auge remplie d'eau et ménagée à cet effet dans la maçonnerie.

Le gazogène même se compose de l'enveloppe habituelle cylindrique, garnie intérieurement de briques réfractaires et reposant sur les fondations au moyen de colonnes en fonte. La figure 196 représente une vue en coupe de cet appareil. Le dessus du gazogène est fermé par une pièce en fonte remplie d'eau, formant cuvette, et portant dans sa partie centrale une ouverture qui fait communiquer l'appareil de chargement avec l'intérieur du gazogène. Cet appareil de chargement est connu sous le nom de « chargeur automatique

George » et constitue la partie caractéristique du gazogène. Il se compose d'une gouttière de chargement inclinée, refroidie par circulation d'eau et tournant lentement sous la trémie de chargement placée au-dessus,

ce qui fait qu'elle distribue uniformément le combustible dans l'intérieur de l'appareil. Ce chargeur sert en outre de joint à gaz entre le gazogène et la trémie de chargement, grâce à l'emploi d'un joint hydraulique.

On suit la marche de la combustion, et par suite le fonctionnement du gazogène, au moyen de petites ouvertures ménagées dans l'enveloppe de l'appareil à une hauteur de 0,90 m. au-dessus du niveau de l'eau contenue dans l'auge servant de cendrier, hauteur qui correspond à celle des cendres dans le gazogène. La quantité de vapeur employée est d'environ 33 à 40 p. 100 du poids de la houille gazéifiée. En utilisant des houilles bitumineuses, contenant environ 10 p. 100 de cendres et 1 p. 100 de soufre, ce gazogène est construit pour gazéifier 4,500 kg. de houille par heure et par 0,0929 m² de surface. Ce chiffre peut être porté à 5.400 kg. et 6.800 kg. par 0,0929 m² et par heure, si l'on emploie une houille à gaz, riche en matières volatiles et aussi pauvre que possible en cendres.

Nous donnons, ci-dessous, les caractéristiques principales des gazogènes Morgan.

DIAMÈTRE intérieur entre le revêtement.	AIRE de la surface gazéifiante.	QUANTITÉ de bonne houille gazéifiée en vingt-quatre heures.	DIAMÈTRE extérieur.
1,82 m.	2,60 m ²	4 tonnes.	6,08 m.
2,43 —	4,64 —	7 —	8,20 —
3,04 —	8,29 —	10 —	10,03 —
3,64 —	10,49 —	15 —	12,16 —

Les quantités consommées indiquées ci-dessus sont naturellement fonction de la nature du combustible. Nous donnons, ci-dessous, la composition chimique du gaz obtenu, dans les conditions ordinaires de travail d'un gazogène Morgan, employant dans l'Illinois, la variété de houille connue sous le nom de « New-Kentucky ».

ANALYSE DE LA HOUILLE		ANALYSE DU GAZ	
	p. 100.		p. 100.
Carbone fixe	50,87	Oxyde de carbone	24,5
Matières volatiles	37,32	Hydrogène	17,8
Humidité	5,08	Hydrocarbures	6,8
Cendres (avec 1,42 p. 100 de soufre)	6,73	Acide carbonique	3,7
		Oxygène (libre)	0,4
		Azote	46,8

Pour la conduite du gazogène, il faut employer, par équipe, la main-d'œuvre suivante :

Atelier de 2 gazogènes .	1 ouvrier gazier et 1 manœuvre (occupé la moitié du temps).
— 3 —	1 ouvrier gazier et 1 manœuvre.
— 4 —	— — 2 manœuvres.

Dans les ateliers plus importants, en plus de l'ouvrier gazier, il faut un manœuvre pour chaque série de six gazogènes. La main-d'œuvre indiquée ci-dessus ne comprend naturellement pas celle nécessaire au

déchargement des wagons de houille, laquelle varie avec les conditions générales du travail de l'usine.

La figure 197, représente le dernier type de gazogène Morgan, muni d'une grille rotative.

Gazogène Talbot. — Le gazogène Talbot, représenté par la figure 198, a conservé les caractéristiques bien connues des anciens types de gazo-

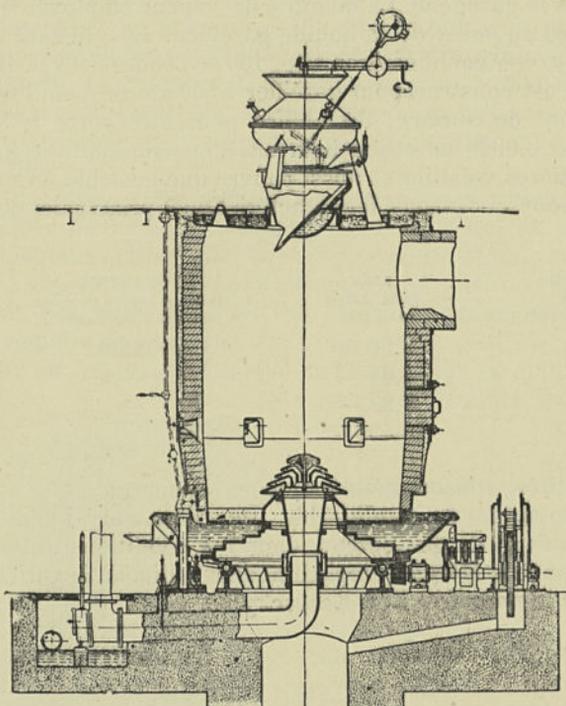


Fig. 197. — Gazogène Morgan muni d'une grille rotative et du chargeur automatique George.

gènes, c'est-à-dire la grille fixe, mais il emploie un dégraisseur alternatif et rotatif, destiné à maintenir uniforme le niveau de la couche du combustible et à faciliter la descente des cendres.

Le dégraisseur a la forme d'un vilebrequin, il tourne lentement tout en montant et en descendant, entraîné par son arbre vertical qui entre par l'axe du couvercle du gazogène. Cet arbre, ainsi que son vilebrequin, sont en acier et sont refroidis par circulation d'eau froide. Il est établi qu'un gazogène de ce type, qui mesure 3,10 m. de diamètre, peut gazéifier, en donnant un gaz de bonne qualité, de 28 à 30 tonnes de houille bitumineuse de Durham.

Gazogène Taylor. — Le gazogène Taylor, plus connu sous le nom de « gazogène Wood », se distingue des précédents en ce qu'il est muni d'un plateau cendrier rotatif. La figure 199 montre la disposition employée.

Les cendres tombent d'abord sur un disque plat, tournant au moyen d'un engrenage, puis de là dans le fond du gazogène, ayant la forme d'un entonnoir, où elles s'accumulent. Quand il y en a une quantité suffisante, on les verse à l'aide d'une porte spécialement ménagée à cet effet, dans des petits wagonnets circulant sous le gazogène. Ce gazogène peut être

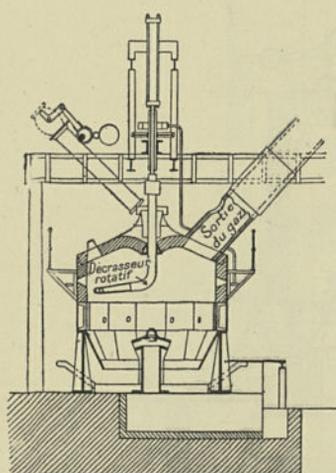


Fig. 198. — Gazogène Talbot.

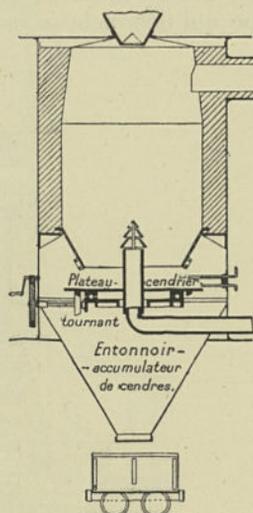


Fig. 199. — Gazogène Taylor.

considéré comme ayant été le premier type muni d'une grille mécanique.

Gazogènes employés sur le continent.

Gazogène Goliath. — Cet appareil, construit spécialement pour les forts rendements, est représenté en coupe par la figure 200. Au début, la partie inférieure de l'enveloppe tournait dans un sens opposé à celui de la grille rotative et elle était munie de rateaux qui, remuant la masse du combustible et des cendres, facilitaient la production rapide d'un gaz de bonne qualité. Ce dispositif a été modifié et les gazogènes de ce type, que l'on construit actuellement, sont du modèle représenté par la figure 200. Il se compose essentiellement d'une enveloppe cylindrique, garnie intérieurement de briques réfractaires, et dont le fond est une extension faite de segments de fortes plaques, devant résister à l'action corrosive des clinkers. Le bassin de la grille supporte la grille proprement dite, laquelle se compose d'anneaux simples garnis de dents et d'un certain nombre d'ouvertures à travers lesquelles passent l'air et la vapeur envoyés sur le combustible. Le bassin de la grille, entraîné par un moteur, tourne au moyen d'un engrenage et d'une roue dentée actionnée par une roue à friction. L'enveloppe est supportée, au-dessus du bassin de la grille, au moyen de quatre colonnes, les fuites de gaz étant empêchées par l'eau contenue dans le bassin, et formant joint hydraulique.

Le dessus du gazogène est fermé par une plaque, au centre de laquelle se trouve placée la trémie de chargement. Autour de la trémie, on a ménagé un certain nombre de trous, par lesquels on peut piquer la masse du combustible.

Ces derniers sont munis d'une fermeture spéciale qui empêche les fuites de gaz au moment du piquage. L'air et la vapeur sont amenés par un tube qui débouche sous la grille, d'où ils se rendent sur le combus-

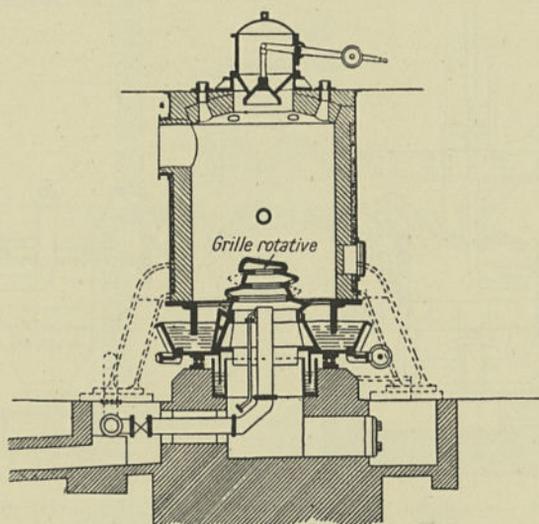


Fig. 200 — Gazogène Goliath.

tible, en passant par les ouvertures ménagées dans les anneaux en fonte de la grille.

Ce gazogène travaille sous une pression d'air de 100 à 150 millimètres d'eau, la vapeur étant injectée selon les besoins. La pression du gaz à sa sortie de l'appareil varie entre 25 et 37 millimètres d'eau. Le bassin et sa grille fait de 4 à 5 tours en vingt-quatre heures, ce qui exige une force de 2 HP. Selon la nature du combustible employé, sa hauteur dans le gazogène est maintenue entre 0,90 m. et 1,10 m.

Un gazogène de ce type ayant 2,55 m. de diamètre intérieur, employant en proportions égales des houilles anglaises et de Westphalie, la première étant une houille non cokéfiante contenant environ 10 p. 100 de cendres et la seconde (provenant des mines de Dorstfeld) cokéfiante et donnant de 7 à 10 p. 100 de cendres, peut en gazéifier 25 tonnes en vingt-quatre heures. Nous donnons, ci-dessous, la composition chimique moyenne du gaz fabriqué pendant un mois, avec l'un de ces gazogènes, dans une aciérie allemande, utilisant le mélange de houille ci-dessus.

CO ²	CO	H	Hydrocarbures	Az
2,1 p. 100.	29,5 p. 100.	11,1 p. 100.	1,86 p. 100.	55 p. 100.

Le prix d'un gazogène de cette taille, complètement construit, monté et revêtu intérieurement de son garnissage en briques réfractaires,

mais sans moteur ou autre organe de force, ni plate-forme de travail, ni

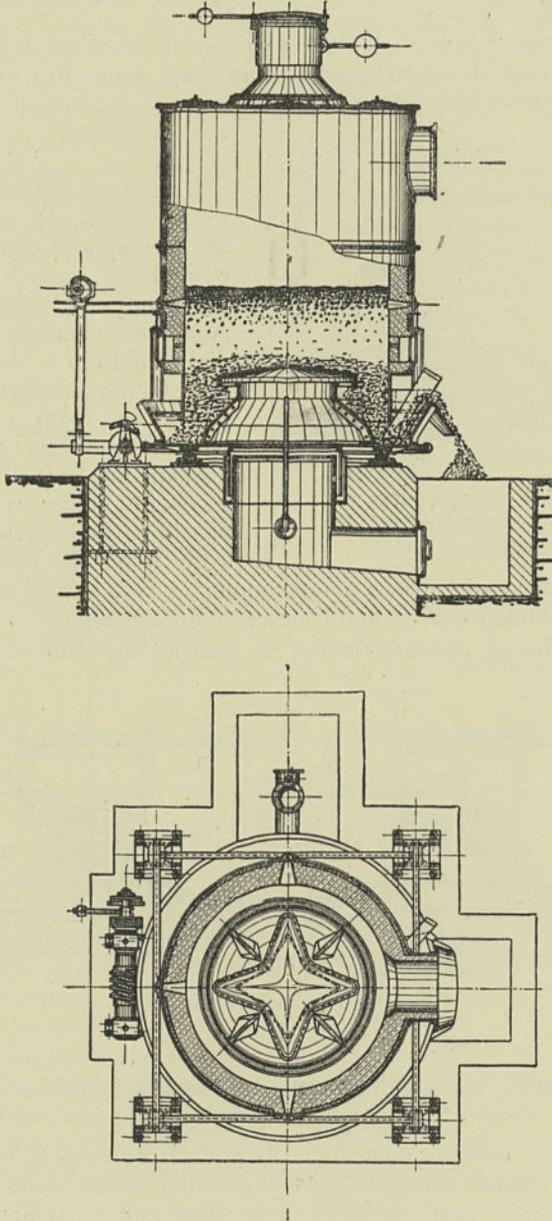


Fig. 201. — Gazogène Hilger.

fondations, est approximativement de 20 000 francs. Installé dans des conditions normales, le prix de ce gazogène, prêt à fonctionner, c'est-à-dire

avec les transmissions de force, les conduites d'air et de vapeur, les conduites de gaz, la plate-forme de travail et les fondations, est environ de 30 000 francs.

Un tel gazogène peut alimenter un four Martin-Siemens de 40-50 tonnes, faisant de 14 et 15 fusions par semaine (c'est-à-dire 675 tonnes d'acier environ) et consommant des charges ordinaires de fonte et de débris ou scraps d'acier.

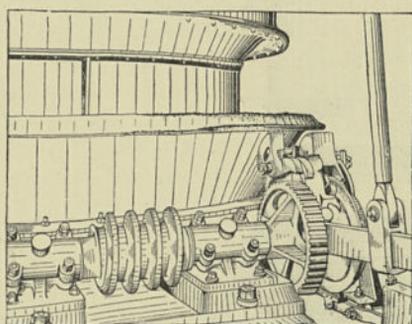


Fig. 202. — Gazogène Hilger.
Détails du mécanisme de rotation.

Gazogène Hilger. — Ce gazogène, représenté par la figure 201, se compose d'une enveloppe cylindrique, garnie de briques réfractaires, fermée à la partie supérieure et munie d'une trémie d'alimentation à double fermeture. La partie inférieure se compose d'un foyer en forme de bassin, tournant au moyen d'une vis sans fin. La grille repose sur le foyer et se divise en deux parties, la partie supérieure formant

avec la partie inférieure, une ouverture en forme d'étoile, à pointes inclinées vers le bas, distribuant le vent sur la totalité de la section transversale du gazogène.

La grille tourne alternativement de gauche à droite et de droite à

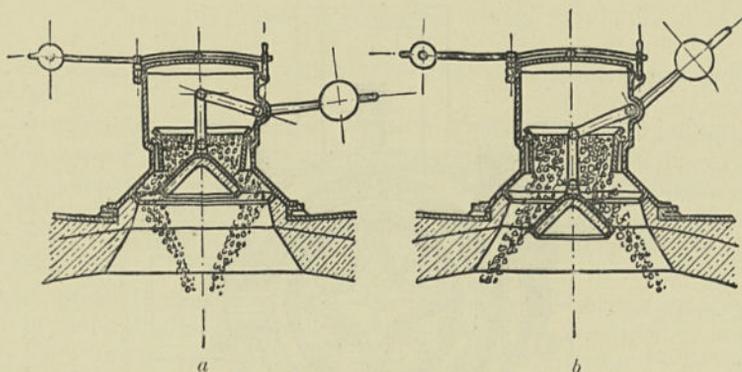


Fig. 203. — Gazogène Hilger. Détail de l'appareil d'alimentation.

gauche, grâce à l'emploi d'un dispositif spécial, représenté en détail par la figure 202. Comme on peut régler la grandeur de ce mouvement alternatif, la quantité de cendres retirée dépend naturellement de la nature du combustible employé.

L'alimentateur représenté par la figure 203 est disposé d'une façon telle que si le contrepoids du cône se lève doucement quand la trémie est pleine, le combustible tombe dans le milieu du gazogène, comme on le voit en (a).

Si au contraire le contrepoids est levé brusquement, le combustible tombe autour de la paroi du gazogène, comme cela est représenté en (b). On maintient la colonne de combustible à une hauteur comprise entre 0,80 m. et 1 mètre.

Les renseignements ci-dessous sont relatifs à des essais particuliers, exécutés sur deux gazogènes Hilger à grille rotative, ayant chacun 2,55 m. de diamètre intérieur et alimentant en gaz, un four Martin-Siemens, aux aciéries de Dorman, Long and C^o Ltd, Middlesbrough. Durée de l'essai : 12 jours ouvrables. Combustible employé : 8 sortes de houilles anglaises, du district de Durham, savoir : houille de Randolf, — houille de Lamblon, — houille de Horden, — houille de Manisforth, — houille menue de Wheldale, — houille domestique de Gordon, — houille de Trimdon Grange et houille de Chilton. La composition chimique moyenne de ces houilles était de

Carbone fixe	54,7 p. 100.
Matières volatiles	33,0 —
Humidité	2,8 —
Soufre	2,3 —

Carbone total de la houille, 75 p. 100. Valeur calorimétrique de la houille 7300 calories.

Les 40 analyses de gaz, faites pendant la période d'essai, ont donné la composition moyenne suivante.

CO ²	CO	H	CH ⁴	Matière combustible totale.
2,3 p. 100.	30,0 p. 100	10,4 p. 100.	2,9 p. 100.	43,2 p. 100.

Les cendres ont donné à l'analyse 93 p. 100 de cendres et d'humidité et 6,5 p. 100 de matières combustibles, ce qui correspond à une perte de 0,7 p. 100 de matière combustible dans le combustible proprement dit.

Chaque kilogramme de houille a donné 4 mètres cubes ayant un pouvoir calorifique de 900 calories par mètre cube. A la sortie du gazogène, la température du gaz était de 625° C et sa pression dans la conduite était de 625 millimètres à 762,5 mm. d'eau. La consommation de houille par tonne d'acier produite était de 210 kilogrammes.

Le prix approximatif d'un gazogène Helger de 2,55 m. de diamètre intérieur est de 16 400 francs. soit en comprenant le revêtement, le montage, les fondations, la plate-forme de travail, l'air, la vapeur, les tuyauteries et les valves à gaz, etc., 22 700 à 25 000 francs selon les conditions. Les dépenses de ce gazogène sont les suivantes :

Force utilisée par le ventilateur	4 à 5 HP	} Pour un gazogène de 2,55 m.
— — pour la rotation de la grille	0,7 à 0,9 HP	
Vapeur consommée = 25 p. 100 du poids de combustible gazéifié.		

Par journée de travail de douze heures, deux hommes suffisent pour conduire une batterie de 3 gazogènes en supposant que la houille destinée au remplissage des trémies de chargement est fournie par des accumulateurs placés au-dessus des trémies.

Gazogène Kerpely. — Le gazogène Kerpely, représenté par la figure 204, est muni d'une grille tournante, consistant en un cône simple, fixé dans une position excentrée par rapport à l'enveloppe du gazogène. Ce cône se compose d'un certain nombre de plaques, qui reçoivent et distribuent dans l'appareil, l'air que l'on y envoie. Les cendres qui s'accu-

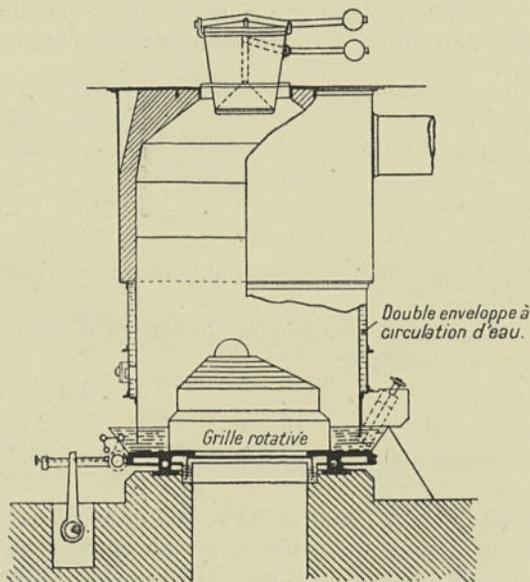


Fig. 204. — Gazogène Kerpely.

mulent dans le bassin refroidi par l'eau, sont enlevées automatiquement pendant la rotation du bassin, au moyen d'un râteau convenablement disposé.

La grille tourne à une vitesse de un tour complet chaque $2\frac{1}{2}$ à 3 heures, et absorbe pour ce travail une force de 2 HP. Le nombre des ouvriers nécessaires pour assurer la marche de ces gazogènes varie considérablement selon la catégorie de houille gazéifiée. Dans le cas où l'on emploie une houille très cokéfiante, il faut employer un homme par gazogène et par tournée. Si, au contraire, le combustible employé brûle facilement, deux hommes suffisent pour conduire une batterie de 8 gazogènes, munis d'accumulateurs de houille au-dessus des trémies de chargement et du dispositif d'enlèvement mécanique des cendres. Dans un autre cas, une batterie de 22 gazogènes équipés comme ci-dessus, employait :

1 surveillant	} Par équipe.
2 ouvriers pour charger les trémies	
2 — pour le service des grues	
1 — chargé du nettoyage et du graissage	

Cet atelier gazéifie 380 tonnes de houille en vingt-quatre heures.

Gazogène Rehmman. — Le gazogène Rehmman, représenté par la figure 205, est analogue au gazogène Kerpely, sauf en ce qui concerne la construction de la grille. La grille du gazogène Rehmman se compose de

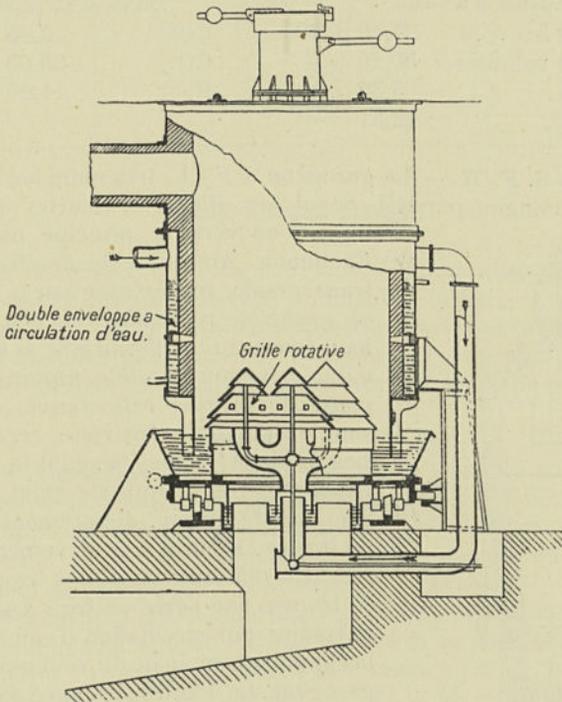


Fig. 205. — Gazogène Rehmman.

plusieurs cônes qui tendent, dans leur mouvement de rotation, à remuer la masse de houille. Cette grille est du type rotatif, l'air est envoyé sous chaque cône, qui le distribue ensuite dans l'appareil par des ouvertures spéciales, au moyen d'une tuyauterie dans l'intérieur de laquelle se trouve également le tuyau d'arrivée de vapeur.

La partie inférieure de l'enveloppe du gazogène est faite de segments mobiles, en fonte, pour faciliter le nettoyage et les réparations.

Les gazogènes Rehmman se construisent en plusieurs types, dont les dimensions, à l'intérieur du revêtement, varient de 1,80 m. à 3 mètres, le type le plus fort pouvant gazéifier de 12 à 22 tonnes de braisettes de houille en vingt-quatre heures. Nous indiquons ci-dessus deux compo-

lions du gaz produit avec deux houilles dont nous donnons aussi l'analyse chimique.

Analyse de la houille.		Analyse du gaz produit.	
Carbone fixe . . .	63,67 p. 100.	CO ²	3,25 p. 100.
(1) Matières volatiles .	28,67 —	CO.	28,70 —
Cendres	6,37 —	H.	8,70 —
Humidité.	4,19 —		

Essai fait avec des briquettes de Grehlwerk.

Analyse de la houille.		Analyse du gaz produit.	
Carbone fixe . . .	37,29 p. 100.	CO ²	3,20 p. 100.
(2) Matières volatiles .	50,20 —	CO.	30,60 —
Cendres	5,39 —	H.	14,20 —
Humidité.	12,51 —		

Gazogène S. F. H. — Le gazogène S. F. H., très employé sur le Continent, a été imaginé par MM. Sepulchre, Fichet et Heurtey et constitue

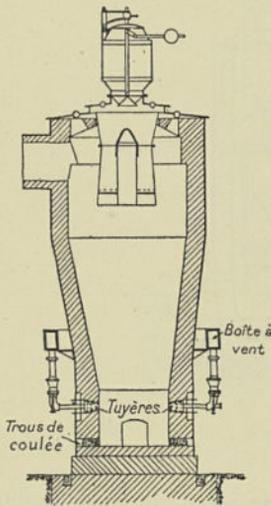


Fig. 206. — Gazogène S. F. H.

un retour vers le principe du gazogène Ebelmann. Ainsi que le montre sa coupe transversale, représentée par la figure 206, ce gazogène ressemble un peu à un petit haut fourneau chauffé au bois. Il se compose d'une enveloppe en tôle, garnie intérieurement de briques réfractaires, et dont la sole, solidement construite, reçoit les scories fondues formées pendant la marche de l'appareil. Deux trous de chiot, placés en face l'un de l'autre, directement au-dessus de la sole, servent à l'enlèvement des scories. Un peu au-dessus des trous de chiot, se trouve une série de trois à six tuyères, refroidies par circulation d'eau et reliées à la conduite principale du vent qui entoure le gazogène. La houille employée dans le gazogène est préalablement mélangée avec du calcaire, du sable ou du laitier granulé de haut fourneau, pour faciliter la fusion des cendres et fournir avec celles-ci une scorie

liquide que l'on enlève du gazogène chaque heure ou toutes les deux heures. L'air envoyé dans cet appareil sous une pression de 0,060 à 0,16 kg. par centimètre carré n'est pas mélangé de vapeur. Il s'ensuit, par conséquent, que la teneur en hydrogène du gaz est très faible comme le montre d'ailleurs le tableau suivant (p. 423).

La puissance de gazéification de ce gazogène est indiquée comme étant de 80 à 100 kilogrammes de houille par heure et par 0,0929 m² de surface de chauffe et l'on estime qu'un gazogène n'ayant que 1,20 m. de diamètre intérieur, mesuré entre le revêtement, peut gazéifier en vingt-quatre heures 24 tonnes de houille de qualité moyenne. Il est évident que ce puissant

rendement a sa répercussion sur les briques du revêtement, dans le voisinage de la zone incandescente, car il faut les remplacer tous les trois mois. Le reste de la maçonnerie peut résister plusieurs années.

TABLEAU LXXXIII

Composition chimique du gaz produit par le gazogène S.F.H.

	LIGNITE	HOUILLE BRUNE	HOUILLE	BRIQUETTES de coke.
CO	29,5	28,3	31,0	27,9
H	6,7	7,7	6,0	1,2
CH ⁴	3,2	7,5	6,5	2,0
CO ²	2,5	1,4	1,0	1,6
Az.	58,1	55,1	55,0	67,3

Prix du gaz produit.

Les prix indiqués ci-dessous sont ceux obtenus avec plusieurs sortes de gazogènes représentant le type principal de la série, et sont ceux d'une installation de gazogènes, alimentant un four Martin-Siemens de 60 tonnes, faisant 13 chauffés par semaine et employant des charges froides de fonte et de scraps. La production du four est donc de 780 tonnes par semaine.

Prix de l'installation. — Pour fournir la quantité suffisante de gaz au four ci-dessus, il faut employer deux gazogènes de 2,55 m. de diamètre ce qui représente une dépense de premier établissement d'environ 50 440 francs. Ce prix ne comprend ni les accumulateurs à houille, ni la manutention mécanique de l'installation.

En admettant 10 p. 100 d'amortissement et 5 p. 100 d'intérêts, la charge annuelle, sur le capital de 50 440 francs, sera donc de 7 566 francs. En supposant que les gazogènes marchent 48 semaines par an, la production du four aura été pendant cette période de $780 \times 48 = 37 440$ tonnes d'acier liquide. On a donc :

Frais d'amortissement et d'intérêts de l'installation des gazogènes par tonne d'acier liquide = $\frac{7 566}{37 440} = 0,22$ fr.

Dépense en combustible. — En supposant une consommation de 250 kilogrammes de houille par tonne d'acier liquide, coulée du four, et un prix de 10 francs la tonne de houille rendue à l'usine, la dépense en combustible par tonne d'acier liquide sera donc de 2,50 fr.

Prix de la main-d'œuvre. — Dans les conditions habituelles normales, et en supposant que l'alimentation en houille des trémies de chargement se fasse à la main, il faut employer par tournée de douze heures, pour assurer le travail des gazogènes, un ouvrier gazier et un manœuvre.

Le salaire payé chaque semaine aux ouvriers de jour et de nuit s'élève à 142,50 fr. En ajoutant 50 p. 100, pour représenter les frais de direction, le prix de la main-d'œuvre de l'atelier des gazogènes sera donc de

$$\frac{142,50 + 71,25}{780} = \frac{213,75}{780} = 0,27 \text{ fr.}$$

Prix des réparations, de la force motrice, de la vapeur et des approvisionnements. — Ces différents chapitres sont très petits et par suite extrêmement difficiles à indiquer. On estime cependant que l'ensemble de ces dépenses ne dépasse pas 0,27 fr. par tonne d'acier liquide.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Amortissements et intérêts	0,22 fr.
Dépense en combustible	2,50 —
Prix de la main-d'œuvre	0,27 —
Prix des réparations, force motrice, etc.	0,27 —
Prix de revient du gaz par tonne d'acier liquide	3,26 fr.

Si on laisse de côté le prix du combustible, le prix de revient n'est que de 0,76 par tonne d'acier liquide.

Les dépenses de l'atelier des gazogènes n'influencent pas considérablement le prix de revient de l'acier produit.

Il faut néanmoins s'assurer, avant de faire une installation de gazogènes, que le type que l'on a choisi est le plus économique et le plus efficace, car une économie sur la consommation de houille (chapitre le plus important du prix de revient) a vite compensé une augmentation quelconque de la dépense de premier établissement.

Prix du gaz produit dans les grandes installations de fours Martin-Siemens. — Lorsque l'on installe une batterie de gazogènes devant travailler en conjonction avec plusieurs fours Martin-Siemens, on fait souvent aussi une installation complète pour la manutention de la houille, de sorte que la main-d'œuvre exigée pour le bon fonctionnement des gazogènes se trouve réduite à son minimum. A la page 399, nous avons représenté et décrit une installation modèle-type. L'augmentation de la dépense de premier établissement est plus que compensée par l'économie réalisée sur les frais de main-d'œuvre.

En admettant que les frais annuels d'amortissement et d'intérêts d'une grande installation, pourvue de la manutention mécanique du charbon, soit de 0,27 fr. par tonne d'acier produite, et que la consommation de la houille, soit de 250 kilogrammes par tonne d'acier (ce qui fait une dépense de 2,50 fr. en supposant que le prix de la houille soit de 10 francs la tonne); le prix de la main-d'œuvre oscillera entre 0,07 fr. et 0,10 fr. par tonne d'acier et le prix des réparations, force motrice, etc. égalera 0,27. On aura donc :

Prix du gaz produit par tonne d'acier = 3,24 fr., soit une économie de

0,10 fr. par tonne d'acier, par suite de l'installation de la manutention mécanique.

Prix du gaz produit dans les petites installations de fours Martin-Siemens. — Il est évident que le prix du gaz produit dans les petites installations de fours Martin-Siemens, est considérablement plus élevé que celui des grandes installations. Non seulement le prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier est plus élevé, mais la quantité de combustible par tonne d'acier est également augmentée. Ainsi, dans le cas d'un four de 10 tonnes (dont les frais d'installation du gazogène et de ses accessoires se sont élevés entre 7500 et 10 000 francs), la consommation de la houille s'élève à 450 kilogrammes par tonne d'acier produite, et en supposant que cette houille soit payée 12,50 fr. la tonne, le prix de revient du gaz, par tonne d'acier fabriquée, sera de 7 francs à 7,50 fr.

Théorie de la fabrication du gaz.

Théoriquement, la méthode la plus économique pour utiliser la chaleur de la combustion de la houille, c'est de la brûler directement. Malheureusement l'énergie calorifique contenue dans la houille n'est pas entièrement donnée aux matériaux contenus dans les fours à chauffage direct, de sorte que, généralement, ce procédé est beaucoup moins économique que quand on utilise le gaz préalablement généré de la houille, à l'aide d'un gazogène. D'autre part, le chauffage au gaz présente un certain nombre d'avantages marqués sur le chauffage direct à la houille : d'abord la surveillance et le contrôle des fours chauffés au gaz est excessivement facile et ensuite on peut à volonté rendre la flamme oxydante ou réductrice. Enfin, et c'est là le point capital, le chauffage direct à la houille ne peut pas être appliqué à la pratique des fours Martin-Siemens. C'est pour cette raison que les frères Siemens, tout en étudiant leur four à réverbère, ont également étudié, en même temps, un type commercial et pratique de gazogène, car ce sont les combustibles gazeux seuls, qui brûlés dans leur four, en mélange avec l'air, leur ont permis, avec l'aide de la régénération, d'obtenir les températures qu'ils désiraient.

Réactions qui se produisent dans les gazogènes. — Le fonctionnement d'un gazogène est surtout basé sur le passage de l'air, ou d'un mélange d'air et de vapeur, au travers d'une masse combustible incandescente.

Il se forme d'abord de l'acide carbonique CO_2 , par suite de la combinaison de l'oxygène de l'air avec le carbone du combustible, mais comme ce gaz ne tarde pas à se trouver en présence du charbon incandescent, il est réduit en oxyde de carbone CO , par suite de l'absorption d'un atome de carbone et en vertu de la réaction $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$. Si on emploie de la vapeur en même temps que l'air, il se produit des réactions complémentaires, par suite de la rupture de la molécule d'eau, H_2O , en hydrogène et en oxygène. Une partie de cet hydrogène se combine au carbone pour former des hydrocarbures, et le reste s'écoule avec le gaz à l'état

d'hydrogène gazeux. L'oxygène libre de la molécule d'eau, s'unit avec le carbone pour former CO^2 , puis ensuite CO , au contact du charbon incandescent. Quant à l'azote de l'air qui a été mis en liberté, il se mélange à l'oxyde de carbone et à l'hydrogène et passe dans le four sous forme de gaz inerte.

Les matières volatiles et l'humidité contenues dans la houille, sont éliminées avant que le combustible n'atteigne la zone incandescente, et se mélangent avec les autres gaz, tandis que les cendres et une partie du soufre traversent le gazogène, et tombent dans le fond de celui-ci sous forme de cendres et de clinkers.

L'autre partie du soufre contenu dans la houille est entraînée par les gaz et se rend dans le four. Comme la présence de cet élément est nuisible dans l'acier, il faut avoir soin de n'employer qu'un combustible aussi exempt que possible de soufre. Dans certains cas, on ajoute de la chaux à la houille du gazogène, afin d'obtenir un clinker fusible entraînant avec lui la majeure partie du soufre.

L'emploi de l'air seul, sans jet de vapeur, dans le gazogène, produit une élévation de température peu désirable, ainsi qu'une augmentation de la proportion de clinker ou mâchefer. C'est pour cette raison, qu'il est nécessaire d'envoyer un jet de vapeur en même temps que l'air. Lorsque le carbone brûle en CO^2 , la réaction est exothermique, c'est-à-dire qu'elle dégage de la chaleur et quand CO^2 est transformé en CO la réaction est endothermique, c'est-à-dire qu'elle absorbe de la chaleur. Dans le premier cas 1 kilogramme de charbon brûlant en CO^2 dégage 8000 calories et lorsque cette quantité ainsi formée de CO^2 se combine à un excès de carbone pour former CO , elle absorbe 5600 calories. Cet excès de 2400 calories constitue la chaleur dégagée par le combustible. Si cette réaction était continue, la chaleur s'accumulerait trop rapidement dans le gazogène pour être dissipée par radiation ou autres pertes et le gazogène serait alors surchauffé. Pour maintenir la température au rouge, et diminuer en même temps la quantité d'azote nécessairement apportée par l'air, on souffle de la vapeur en même temps que l'air. La rupture de la molécule vapeur (H^2O) en ses composants, hydrogène et oxygène, absorbant la chaleur du combustible incandescent, il faut avoir soin de ne pas envoyer une trop grande quantité de vapeur car la température s'abaisserait vite au-dessous des limites nécessaires pour un bon rendement. La quantité de vapeur introduite dans les gazogènes travaillant sans récupération de l'ammoniaque, est environ de 33 p. 100 du poids du combustible gazéifié, et le poids de l'air est d'environ quatre fois le poids du combustible gazéifié.

Efficacité des gazogènes. — Celle-ci peut être exprimée par le rapport des unités thermiques contenues dans le gaz produit par le gazogène, aux unités thermiques contenues dans la houille employée pour la gazéification. (A ces dernières il faut ajouter les unités thermiques de la vapeur, si on emploie celle-ci en même temps que l'air.) Les pertes des gazogènes peuvent être classées comme suit :

1. Pertes sensibles de chaleur dans les gaz ;
2. Chaleur perdue par la radiation du gazogène ;

3. Chaleur entraînée par les cendres et par le charbon non consommé qu'elles contiennent.

Dans le but de contrôler la marche des gazogènes, on a proposé différents types d'appareils qui, par leur emploi, indiquent d'une manière ou d'une autre, l'efficacité de l'installation productrice de gaz. Un contrôleur de CO^2 , du type enregistreur, donne continuellement la quantité de CO^2 , contenue dans le gazogène, or, comme la présence de CO^2 indique soit la combustion de CO dans le gazogène, soit la production incomplète de CO , on peut obtenir sur ce point de vue une mesure de l'efficacité. De même, un pyromètre enregistreur, placé à proximité de l'orifice de sortie du gaz, indique la température de celui-ci et montre si le gazogène fonctionne normalement.

De plus, il peut enregistrer automatiquement et d'une façon continue

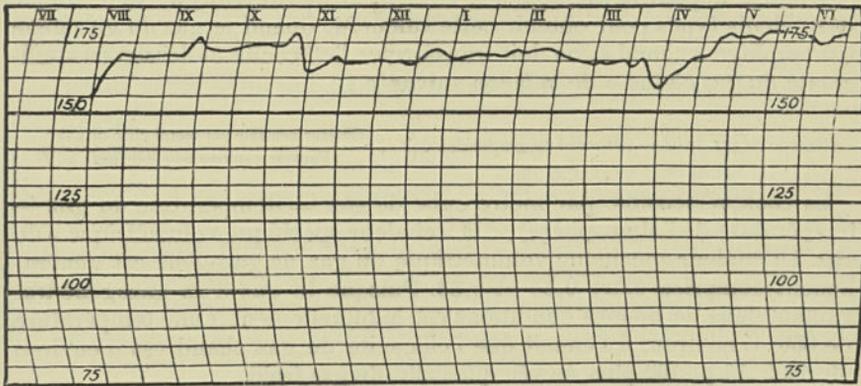


Fig. 207. — Diagramme montrant la valeur calorifique du gaz.

la valeur calorifique du gaz produit. La figure 207, représente le diagramme pour une journée de travail, obtenu avec un calorimètre à gaz enregistreur de Beasley, placé sur un gazogène Wilson. Un appareil de ce genre permet d'obtenir d'excellentes indications sur la marche et l'efficacité des gazogènes. En plus de ces enregistreurs automatiques et continus, on peut obtenir des renseignements sur la qualité du gaz et l'efficacité du gazogène au moyen de l'analyse; il suffit de prélever systématiquement des échantillons du gaz et de les analyser. Si les analyses du gaz sont complétées par les analyses de la houille employée et des cendres produites, on obtient une indication exacte de l'efficacité des gazogènes et les dépenses occasionnées par ce système de contrôle sont plus que contrebalancées par l'économie réalisée par le parfait fonctionnement des appareils.

Pour déterminer complètement l'efficacité d'un gazogène, nous ne pouvons que renvoyer le lecteur aux ouvrages traitant de la question des combustibles en métallurgie, ainsi qu'à l'étude extrêmement intéressante de M. C.-F. Jenkin¹ sur « Les efficacités des gazogènes ». — Dans

¹ *Proceedings Institution of Civils Engineers*, vol. CXXIII. pp. 328-351.

cette étude, M. Jenkin a donné une formule permettant de déterminer l'efficacité d'un gazogène.

Si M = la chaleur de combustion du gaz par kilogramme de carbone qu'il contient,

K = la proportion de carbone contenue dans la houille,

G = la proportion de carbone transformée en gaz,

H = la chaleur de combustion de 1 kilogramme de houille.

L'efficacité du gaz froid sera égale à

$$\frac{M \times K \times G}{H}$$

L'auteur appelle la valeur « M », « valeur de mérite » du gaz, et il indique des calculs types pour obtenir cette valeur M . Quand le gaz du gazogène est employé « chaud », on doit transformer l'efficacité ci-dessus en « efficacité du gaz chaud » de la façon suivante :

$$\text{Efficacité du gaz chaud} = (\text{efficacité du gaz froid}) \times \left(1 + \frac{\text{Chaleur sensible par mètre cube de gaz}}{\text{Pouvoir calorimétrique de gaz}} \right).$$

La chaleur sensible par mètre cube de gaz = (température du gaz — température de l'atmosphère) \times la « chaleur spécifique volumétrique » du gaz. La chaleur spécifique volumétrique du gaz de gazogène est généralement comprise entre 0,35 et 0,33. Puisque le gaz d'un gazogène travaillant dans de bonnes conditions est habituellement à une température de 650° C environ, il s'ensuit que l'efficacité du gaz chaud est d'environ de 12 à 14 p. 100 plus élevée que celle du gaz froid.

La méthode la plus exacte, pour déterminer l'efficacité d'un gazogène, serait de mesurer la quantité de gaz fournie par un poids connue de houille et de déterminer la valeur calorimètre de ce gaz et de la houille. L'efficacité serait alors donnée par la formule :

$$\frac{\text{Valeur calorimétrique du gaz par m}^3 \times \text{nombre de m}^3 \text{ de gaz donnés par kg. de houille}}{\text{Valeur calorimétrique du kg. de houille} + \text{chaleur apportée par la vapeur par kg. de houille}}$$

Supposons que la valeur calorimétrique de la houille soit de 7 300 calories par kilogramme, la chaleur produite dans le gazogène par kilogramme de houille sera donc de : 7 300 + la chaleur apportée par la vapeur employée par kilogramme. Supposons que l'on utilise 33 p. 100 du poids de la houille de vapeur, et que cette vapeur contienne 624° — 16° = 608 calories par kilogramme, la chaleur apportée au gazogène par la vapeur sera donc de $\frac{33}{100} \times 608 = 200$ calories par kilogramme de houille.

On a donc :

Chaleur totale de gazogène = 7 300 + 200 = 7 500 calories par kilogramme de houille.

Si nous supposons que chaque kilogramme de houille produise 3,5 m³ de gaz, dont la valeur calorimétrique serait de 900 calories par mètre cube,

le gaz dégagé par chaque kilogramme de houille contiendra : $900 \times 3,5 = 3150$ calories. On aura donc :

$$\text{Efficacité du gaz froid du gazogène} = \frac{3150}{7500} = 41 \text{ p. } 100.$$

L'efficacité de gaz chaud qui est, en somme, l'efficacité réelle du gazogène puisqu'on tient compte de la chaleur sensible du gaz, se détermine en ajoutant la chaleur sensible aux unités de chaleur utiles du gaz froid. Si nous admettons que la température du gaz sortant du gazogène soit de 650° et que la température extérieure soit de 16° , la chaleur sensible de gaz sera donc de $(650 - 16) \times$ chaleur spécifique du gaz qui est égale à 0,33. D'où :

$$\text{Chaleur sensible} = 634 \times 0,33 = 209 \text{ calories.}$$

Dans ces conditions, 1 kilogramme de gaz équivaut à $0,900 \text{ m}^3$ mesuré à 16°C et on a :

$$\text{Chaleur sensible du gaz par mètre cube (supposé à } 16^\circ \text{ C)} = \frac{209}{0,900} = 23 \text{ calories.}$$

D'où on tire :

$$\text{Efficacité du gaz chaud du gazogène} = \frac{(900 + 23) \times 3,5 \text{ m}^3}{7500} = 43 \text{ p. } 100.$$

Gaz de haut fourneau et de four à coke. — Jusqu'à présent, les gaz des hauts fourneaux et des fours à coke n'ont pas été utilisés pour la fusion, sur une grande échelle, dans les fours à réverbère. Dans le but de les utiliser à la place du gaz des gazogènes, diverses tentatives ont été faites, et si certaines d'entre elles ont donné des résultats négatifs, d'autres au contraire ont parfaitement réussi. De ces essais, il résulte que ces gaz ne peuvent être employés seuls, mais qu'il faut les mélanger ensemble ou avec du gaz de gazogène.

Les essais entrepris par la Friedrich-Wilhelmshütte à Mülheim Ruhr¹ ont en effet montré, que si le gaz des hauts fourneaux peut être employé seul, la durée de la fusion et par conséquent de la fabrication de l'acier, est beaucoup plus longue que quand on emploie le gaz des gazogènes. D'où la nécessité de mélanger ensemble, dans une proportion de 1 à 4 le gaz des fours à coke avec le gaz des hauts fourneaux. Le mélange de ces gaz doit se faire avant leur entrée dans la valve de distribution. Ces essais ont été entrepris avec deux fours Martin-Siemens ayant respectivement 12 et 14 tonnes de capacité.

Aux aciéries de Hubertushütte², on a employé avec succès dans les fours Martin-Siemens, le gaz des fours à coke. Ces essais ont en outre montré que la durée du revêtement des fours était diminuée de 8 à 10 p. 100, mais que, par contre, les chicanes des briques des régénérateurs, duraient au moins 40 à 60 p. 100 plus longtemps.

Gaz naturel. — Le gaz naturel est employé aux États-Unis, depuis 1884, dans les aciéries Martin-Siemens, tant pour le chauffage que pour

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXXV, pp. 1295-1304.

² *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXX, p. 123.

l'éclairage. Il a surtout reçu une extension considérable pour le chauffage des fours à creusets. Les demandes croissantes d'exploitation montrent les immenses avantages que l'on en retire, et l'ouverture des nouveaux champs de pétrole vont fournir les approvisionnements nécessaires de gaz naturel, celui-ci se trouvant à proximité de ces terrains pétroliers.

Le gaz qui s'échappe de la terre, sous des pressions variables qui peuvent dépasser parfois 15 kilogrammes par centimètre carré, est donc facile à distribuer et à conduire au moyen de canalisations aux distances, souvent très grandes, qui séparent leur source, des aciéries. Pour donner un exemple des quantités disponibles disons qu'on a établi qu'en 1906 la production de gaz naturel des États-Unis¹ a été de 11.276.434.298 mètres cubes, mesurée à la pression atmosphérique et représentant une somme de 244 135 050 francs. Ce gaz est livré aux aciéries du district de Pittsburg au prix de 0,63 fr. à 0,73 fr. les 29 mètres cubes (prix de 1912).

Nous donnons, ci-dessous, la composition chimique type du gaz naturel de Pittsburg².

Méthane ou gaz des marais	67,0 p. 100.
Hydrogène	22,0 —
Ethane (C ² H ⁶)	5,0 —
Ethylène (C ² H ⁴)	1,0 —
Oxyde de carbone	0,6 —
Acide carbonique	0,6 —
Azote	3,8 —

Aux États-Unis, il y a un grand nombre d'aciéries dont les batteries de gazogènes sont immobilisées pour longtemps, car on ne les met en service que si les approvisionnements de gaz naturel viennent à diminuer ou si le prix de ce gaz dépasse celui du gaz de gazogène.

Nous donnons ci-dessous les valeurs relatives du gaz de gazogène et du gaz naturel. La chaleur calorimétrique d'un kilogramme de houille moyenne de Pittsburg est donnée par la Morgan Construction C° comme équivalente à celle contenue dans 0,800 m³ du gaz naturel provenant du même district. Si nous supposons que l'efficacité du gaz froid de gazogène est de 76 p. 100, le gaz produit par un kilogramme de houille équivalant à 0,600 m³ de gaz naturel, on voit que ces deux gaz peuvent être employés dans les fours avec une égale économie. Si nous admettons que le prix de la main-d'œuvre, d'entretien, d'amortissement, etc., d'une installation de gazogène, soit de 1,36 fr. par tonne de houille gazéifiée, nous obtenons les chiffres suivants, comme prix correspondants de la houille et du gaz naturel.

Prix de la houille par tonne.	3,78	5,04	6,30	7,56	8,82	10,08	18,34	12,60
Prix équivalent du gaz naturel par 29 mètres cubes.	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	0,65

¹ *Engineering*, vol. LXXXV, p. 32.

² *Brislee, Industry Chemistry*, p. 159.

Ce qui montre que, quand le prix de 29 mètres cubes de gaz naturel dépasse 0,42 fr. et que la tonne de houille reste à 7,56 fr., il est plus avantageux de transformer ou de gazéifier la houille.

Au Canada, on a découvert d'immenses réserves de gaz que l'on utilise actuellement pour l'éclairage et la force motrice, et il est hors de doute, que ce gaz rendra d'importants services à l'industrie de l'acier qui va en se développant tous les jours dans ce pays.

Dans les champs pétrolifères de la Russie, le gaz naturel est excessivement abondant, mais son emploi dans la fabrication de l'acier en est restreint, par suite de la faible production en acier de ce pays. Nous donnons ci-dessous la composition chimique du gaz naturel de Bibi-Eibat (Russie).

	PROFONDEUR DU SONDAGE 632 mètres.
Acide carbonique	3,0 p. 100.
Hydrocarbures lourds	1,2 —
Oxygène	7,0 —
Méthane	54,8 —
Hydrogène	13,6 —
Azote.	20,4 —

L'absence apparente dans notre pays (l'Angleterre) de sources naturelles de gaz, nous oblige à porter toute notre attention sur le développement et les perfectionnements des gazogènes, ainsi que sur l'utilisation complète du gaz des hauts fourneaux et des fours à coke, de façon à permettre aux industriels anglais de pouvoir lutter contre la concurrence des autres pays mieux favorisés. Toutefois, l'existence du gaz naturel, en Angleterre, est prouvée par sa découverte à Heathfield, Sussex, où il a été obtenu sous une pression de 15 kilogrammes par centimètre carré¹. En 1887, le gaz naturel fut employé au chauffage d'une chaudière aux Charbonnages de Hebburn près de Newcastle², mais ces cas sont malheureusement isolés, car la preuve de leur existence en quantité suffisante dans certains districts reste encore à faire.

Gaz à l'eau. — Les expériences entreprises pour utiliser le gaz à l'eau comme combustible, dans les fours Martin-Siemens, ne semblent pas avoir favorisé la création d'installations pour la fabrication de ce gaz. Le procédé Dellwik-Fleischer, qui a pris la tête du mouvement durant ces dernières années, donne un gaz ayant la composition chimique moyenne suivante :

H.	49 p. 100.
CO	39 —
CO ²	5 —
Méthane.	0,7 —
Azote.	6,3 —

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, II, p. 580.

² *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. I, p. 117.

On cite¹ une firme anglaise qui a utilisé le gaz à l'eau, avec succès, pour la fusion de l'acier et Nydqvist et Holm ont fait marcher d'une façon satisfaisante, à Trollhättan, en Suède, deux fours de 5 à 8 tonnes avec du gaz Dellwick-Fleischer. La seule objection que l'on puisse faire au gaz à l'eau, est la chaleur intense qui se développe pendant sa combustion, et qui amène, par conséquent, une destruction plus rapide du revêtement des fours.

Le gazogène ordinaire conserve donc encore la première place comme source de chaleur du four Martin-Siemens et, tant qu'il ne se trouvera pas en présence, soit d'une nouvelle sorte de gaz, soit d'une nouvelle méthode de chauffage, dont l'application présenterait soit des avantages sur lui ou permettrait de réaliser une notable économie, le gazogène n'a pas encore à redouter jusqu'à ce jour une rivalité sérieuse.

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXVII, pp. 1181-1187 et 1223-1228.

CHAPITRE XXXII

DISPOSITION DES GRANDES INSTALLATIONS DE FOURS MARTIN-SIEMENS DANS LES ACIÉRIES

Il existe un certain nombre de facteurs déterminants, qui inspirent, et modifient parfois, la disposition définitive des différentes sections d'une aciérie. Dans les grandes installations, l'acier peut être fabriqué par l'une ou par toutes les méthodes suivantes :

1. Fusion et transformation en acier, de matériaux pris à l'état froid, dans des fours Martin-Siemens, fixes ou oscillants ;

2. Fusion et transformation en acier, dans des fours Martin-Siemens, fixes ou oscillants, de charges composées partie de fonte liquide et partie de scraps ou débris d'acier solides ;

3. Transformation en acier, dans des fours Martin-Siemens fixes ou oscillants, de la fonte liquide ;

4. Affinage d'un métal fondu (partiellement transformé en acier par d'autres moyens) dans des fours fixes ou oscillants ;

5. Transformation partielle de la fonte en acier, dans des fours Martin-Siemens, fixes ou oscillants, et affinage final dans des fours électriques.

Il s'en suit que la méthode ou le procédé employé, servira de guide sur le genre d'installation à établir, ainsi que sur sa disposition. Dans le cas de la méthode (1), par exemple, il n'est pas besoin d'installer de haut fourneau ni de mélangeur, mais si l'on compte travailler d'après les autres méthodes, la fonte doit être prise directement au haut fourneau pour être conduite, soit dans le four Martin-Siemens, soit dans le mélangeur et de ce dernier dans le four Martin-Siemens. La fusion de la fonte dans des cubilots, avant son emploi sur la sole du four Martin-Siemens, n'est ni usuelle, ni économique.

Pris dans leur ensemble, les dispositions à employer pour fabriquer l'acier, par les différents procédés employés avec les fours Martin-Siemens, peuvent être de deux sortes :

1. Pour le traitement de matériaux à l'état solide, leur fusion et transformation en acier ;

2. Pour le traitement de matériaux fondus, leur transformation et affinage en acier.

Lorsque l'on a fait choix de la méthode qui sera employée, il y a, bien entendu, d'autres considérations dont il faudra tenir compte pour

l'établissement et la disposition de l'aciérie. Parmi celles-ci nous citons :

1. L'unité entre la fonderie et l'aciérie proprement dite, avec les voies de chargement et de déchargement des matières premières d'une part, et d'autre part, avec les laminoirs où doivent être utilisés les lingots coulés ;

2. L'unité entre les hauts fourneaux et les mélangeurs ;

3. L'unité entre les mélangeurs et les fours Martin-Siemens ;

4. Les moyens de transport des matériaux du parc à débris ou scraps aux fours, des hauts fourneaux aux mélangeurs et des mélangeurs aux fours Martin-Siemens ;

5. Les moyens de manutention de l'acier produit par les fours Martin-Siemens, l'enlèvement et la mise en dépôt des scories ;

6. L'alimentation en combustible des fours Martin-Siemens et des mélangeurs, la manutention de la houille et des cendres des gazogènes.

Dans les aciéries modernes, où toute liberté est donnée à l'ingénieur pour créer une usine type, sans qu'il soit limité, soit par des questions de terrains ou d'argent, il est relativement facile d'arriver au but voulu, d'après la nature du produit fabriqué et l'importance de sa fabrication. Mais le problème est autrement difficile quand il s'agit de vieilles usines qu'il faut transformer, et où l'on est tenu, pour arriver à la meilleure réorganisation, par des questions d'emplacement et des questions d'argent.

Installation de fours Martin-Siemens utilisant des charges froides. — En Amérique et en Allemagne, où les ressources naturelles favorisent une production d'acier de beaucoup supérieure à celle de l'Angleterre, il y a avantage et même nécessité de créer de nouvelles aciéries et de remanier les anciennes, dans le but d'arriver à une fabrication plus rapide et moins coûteuse de l'acier. Si nous prenons, par exemple, le chiffre de la production des fours Martin de 30 à 40 tonnes du continent, fondant ou transformant en acier des charges froides, et que nous le comparions à des fours anglais de même capacité et travaillant de la même façon, on verra que les fours du continent ont une production doublée de ceux de l'Angleterre. Cela tient à ce que sur le continent, les fours du tonnage ci-dessus font habituellement 4 fusions (et même quelquefois 5) par journée de travail de vingt-quatre heures, tandis qu'en Angleterre le bon chiffre moyen n'est que de 2 fusions par vingt-quatre heures. M. B. W. Head¹, a montré que dans la Galles du Sud, où l'on emploie une grande proportion de scraps ou débris d'acier, et où l'on travaille généralement par le procédé acide, on considère qu'en faisant 12 fusions par semaine on arrive à un résultat excellent, fait qui nous a d'ailleurs été confirmé d'autre part. Même en Italie, à la Siderurgica di Savona, où l'on fabrique du fer blanc, on arrive à faire 5 à 6 fusions par jour avec un four de 25 tonnes, malgré la mauvaise disposition des appareils de manutention mécanique des matériaux.

Quoique la disposition de l'installation, les facilités de manutention,

¹ Développements récents dans la pratique des Aciéries, *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, 1911-12, pp. 14-15.

d'enlèvement et de chargement des matières premières, et le type de four entrent pour une large part dans la question des gros rendements, ceux-ci dépendent encore d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels il faut citer la rapidité des opérations de chargement, de fusion, de coulée, de décreusage et de réparation des fours entre chaque fusion.

La durée ou campagne d'un four du continent est relativement courte si on la compare à celle des fours anglais car le nombre des fusions ne dépasse guère trois cents à trois cent cinquante, mais avec une installation de cinq fours, on peut en avoir quatre en fonctionnement et le cinquième en réparation, laquelle est confiée à une équipe spéciale et experte travaillant constamment. On a constaté que cette manière d'opérer était préférable à celle qui consistait à réparer les fours chaque semaine, car on arrivait finalement à une diminution progressive de la production.

Manutention des matériaux. — La disposition habituelle des aciéries modernes qui travaillent avec des charges froides, consiste à placer les fours sur une seule ligne avec, d'un côté, les halles de coulée et de l'autre, les plates-formes de chargement, avec des ponts roulants convenablement disposés. Sur la plate-forme de chargement, on utilise des machines à charger, suspendues à un pont roulant, analogues à celle représentée par la figure 208, pour le chargement rapide des fours.

Sur le parc à scraps, placé à proximité du bâtiment des fours, des grues électriques chargent les scraps et la fonte dans des wagonnets qui sont ensuite conduits sur la plate-forme de chargement où ils alimentent la chargeuse mécanique. Quand la charge contient une forte proportion de débris ou scraps, on a trouvé qu'il était plus économique d'acheter les scraps en paquets, ou de faire ces paquets sur les parcs, au moyen de presses spéciales. Dans tous les pays, la façon d'opérer est celle que nous venons d'indiquer avec, bien entendu, des modifications de détails en ce qui concerne la disposition et la manutention des matériaux.

Installation de fours Martin utilisant des charges de fonte liquide. — Dans ces dernières années, l'emploi des charges de fonte liquide a été introduit dans la pratique des fours Martin-Siemens, et cette innovation a provoqué bien des modifications, soit dans l'installation des aciéries modernes, soit dans la transformation des anciennes aciéries. Les fours Martin-Siemens travaillent, dans ce cas, selon plusieurs procédés de fabrication, basés sur l'emploi de charges soit partiellement liquides, soit entièrement liquides, ce qui nécessite pour chaque cas, une installation particulière pour la manutention des matériaux, mais dont le principe fondamental est la conséquence de l'emploi des charges liquides sortant des hauts fourneaux ou des mélangeurs, avec les installations auxiliaires nécessaires pour transporter le métal fondu jusqu'aux mélangeurs, et de ceux-ci aux fours.

Dans certaines aciéries, mais cette façon d'opérer est devenue une exception, on transporte directement au four Martin-Siemens, le métal fondu du haut fourneau.

Emplacement des hauts fourneaux. — Il n'est pas nécessaire que les hauts fourneaux soient placés à proximité des mélangeurs, nous

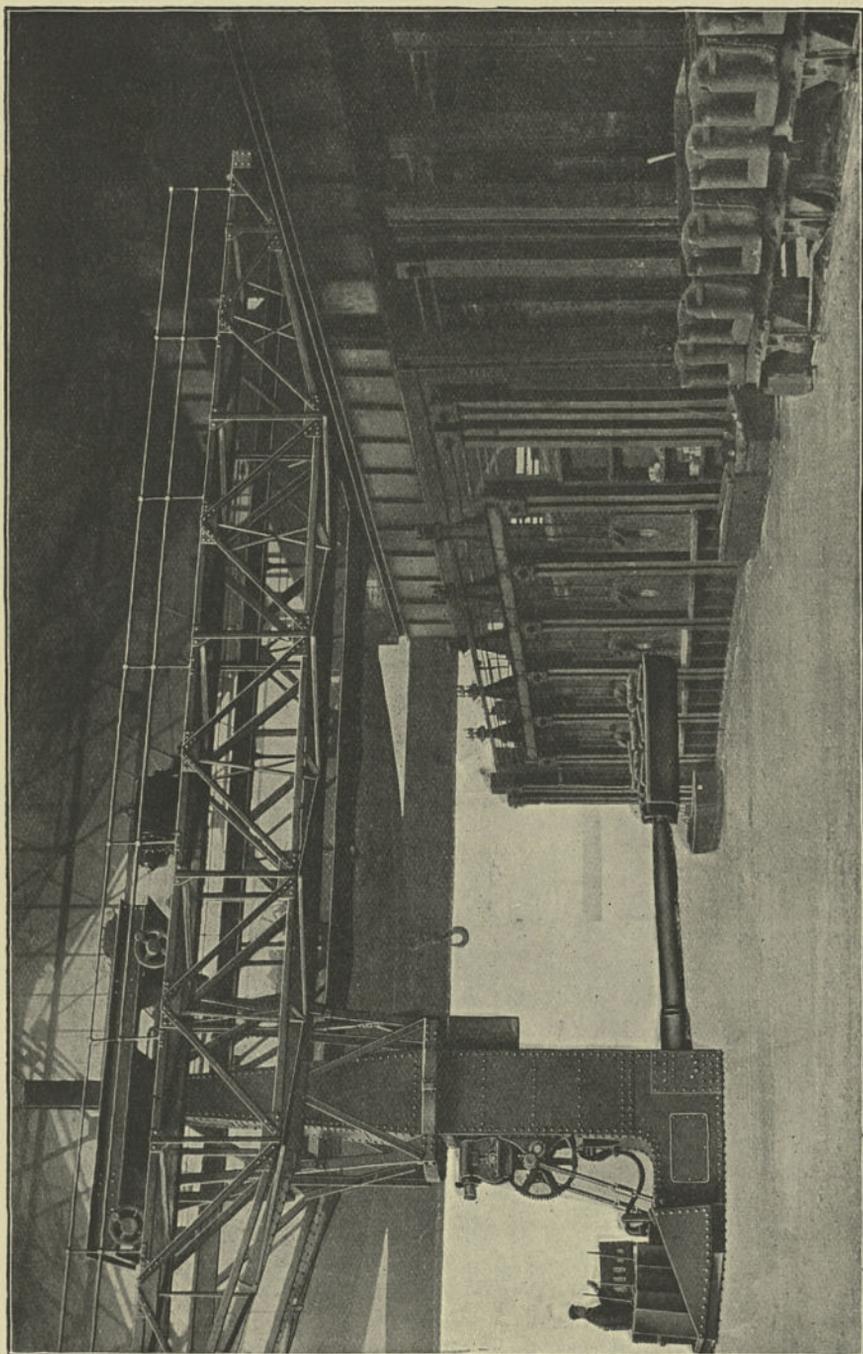


Fig. 208. — Machine à charger de Wellman.

dirons même que, généralement, ils sont construits à une certaine distance de ceux-ci. Dans certains cas (lorsque les hauts fourneaux ne sont pas placés dans le voisinage des aciéries) le métal est transporté sur plusieurs kilomètres de distance, dans des poches spéciales montées sur wagon et tirées par des locomotives. Dans un pareil cas, on a à redouter il est vrai, que le métal ne se « fige » dans la poche, mais cet inconvénient est relativement de peu d'importance, si l'on a soin de faire ce transport aussi vite que possible.

Emplacement des mélangeurs. — L'emplacement des mélangeurs par rapport à celui des fours n'est réglementé par aucune loi fixe. Habituellement, les mélangeurs sont placés dans le même bâtiment que les fours et sur la même ligne de sorte que, les machines à charger et les ponts roulants électriques peuvent servir aux uns comme aux autres. Dans d'autres aciéries, les mélangeurs sont encore placés dans le même bâtiment que les fours, mais au lieu d'être sur la même ligne, ils sont placés vis-à-vis l'un de l'autre sur deux lignes parallèles. Enfin, dans d'autres aciéries, les mélangeurs sont placés dans un bâtiment tout à fait séparé, mais voisin de celui des fours. Ce dernier dispositif convient surtout aux aciéries dans lesquelles les mélangeurs desservent plusieurs fours placés dans des bâtiments différents. En ce qui concerne la position à employer, celle-ci dépend des besoins des fours et du meilleur dispositif, le plus pratique, pour recevoir le métal des hauts fourneaux et pour distribuer celui-ci dans les fours de fusion et de transformation.

Manutention auxiliaire. — Les charges de métal liquide sont invariablement conduites des hauts fourneaux aux mélangeurs au moyen de poches tirées par des locomotives à vapeur ou électriques. Après avoir pesé le métal sur un pont-bascule, on le verse électriquement ou hydrauliquement dans le mélangeur. Le métal sortant du mélangeur est transporté de la même façon à proximité des fours, où la poche est saisie par les griffes d'une grue électrique, qui l'amène à la hauteur de l'orifice de chargement, où une autre grue l'incline et en verse le contenu dans le four.

On emploie les mêmes machines à charger que celles utilisées par les installations employant des charges solides, elles servent ici au chargement du minerai, de la chaux, des battitures et des scraps ou déchets lorsque ceux-ci sont employés en certaines proportions avec la fonte liquide.

Acieries modernes types, équipées de fours Martin-Siemens.

En Angleterre, la plupart des aciéries ont adopté depuis plusieurs années le procédé utilisant les charges liquides. La Frodingham Iron and Steel Co, la Cargo Fleet Co et plus récemment la Skinningrove Iron and Steel Co, ont installé le procédé Talbot continu.

Il y a quelques années, la Glengarnock Iron and Steel Co.'s Works, de Ayrshire, fut transformée par M. Edgar W. Richards qui y a installé 3 fours oscillants de 50 tonnes, et un mélangeur chauffé au gaz de

250 tonnes, tous du type Wellmann travaillant en conjonction avec les hauts fourneaux.

Quelques années auparavant, M. John H. Darby¹ avait démontré à Brymbo, l'importance du procédé Bertrand-Thiel sous sa forme modifiée, et introduit un type d'installation permettant d'employer économiquement ce procédé.

Les plans de la plupart des grandes aciéries anglaises modernes, ont été publiés, avec leur description, dans les revues techniques, aussi ne donnerons-nous ci-dessous, que la description et les installations des grandes aciéries américaines et allemandes qui ont été soit complètement transformées, soit construites dans ces dernières années.

Aciéries américaines.

*n*stallation Gary de l'Indiana Steel C^o.

L'installation Gary de fours Martin-Siemens de l'Indiana Steel C^o est peut-être la plus grande du monde. Ces usines dont « The Iron and Coal Trades Review² » a donné un compte rendu complet, se composent de six bâtiments indépendants, renfermant chacun quatre fours Martin de 60 tonnes. Chaque bâtiment mesure 357 mètres de long sur 58 mètres de large. La figure 209, représente une coupe transversale de l'un de ces bâtiments et la figure 210, une vue partielle en plan. Chaque bâtiment des fours renferme deux mélangeurs de 300 tonnes. Toutes les opérations de réception de la fonte des hauts fourneaux, et sa distribution dans les fours, sont indépendantes pour chaque bâtiment, qui constituent en somme des unités séparées et pouvant être, en quelque sorte, considérées comme autant d'aciéries indépendantes.

Disposition des bâtiments. — Les bâtiments des fours Martin sont groupés par paire, et sont séparés entre eux par un immense parc à scraps, parcouru par trois voies ferrées et muni d'un casse-fonte pour briser les scraps pesants et les fonds de poche. Le bâtiment renfermant le mélangeur est placé à l'extrémité de celui qui renferme les fours, et où se trouvent des voies, spécialement disposées pour l'approvisionnement de la fonte liquide venant des hauts fourneaux et pour conduire celle des mélangeurs aux fours. Le bâtiment des gazogènes est placé parallèlement à celui des fours et à proximité du quai d'arrivée de la houille, laquelle est distribuée aux gazogènes à l'aide d'un transporteur spécial.

Installation auxiliaire. — Une grue d'une force de 75 tonnes, aidée d'une autre grue de 15 tonnes, pour basculer la poche, est employée dans le bâtiment du mélangeur pour la manutention du métal chaud. Une poche de 60 tonnes, manœuvrée électriquement, sert à transporter dans les fours le métal du mélangeur. Des grues analogues sont placées sur la plate-forme de chargement des fours et servent à verser le métal de la poche dans les

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, I, p. 122.

Vol. LXXVIII (1909), p. 563.

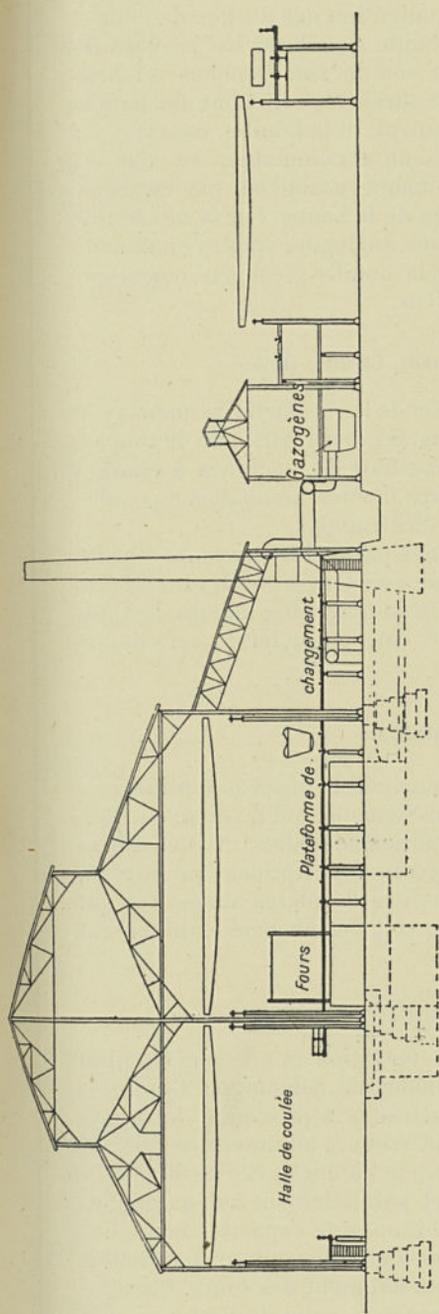


Fig. 209. — Usines Gary. Coupe transversale du bâtiment des fours Martin-Siemens.

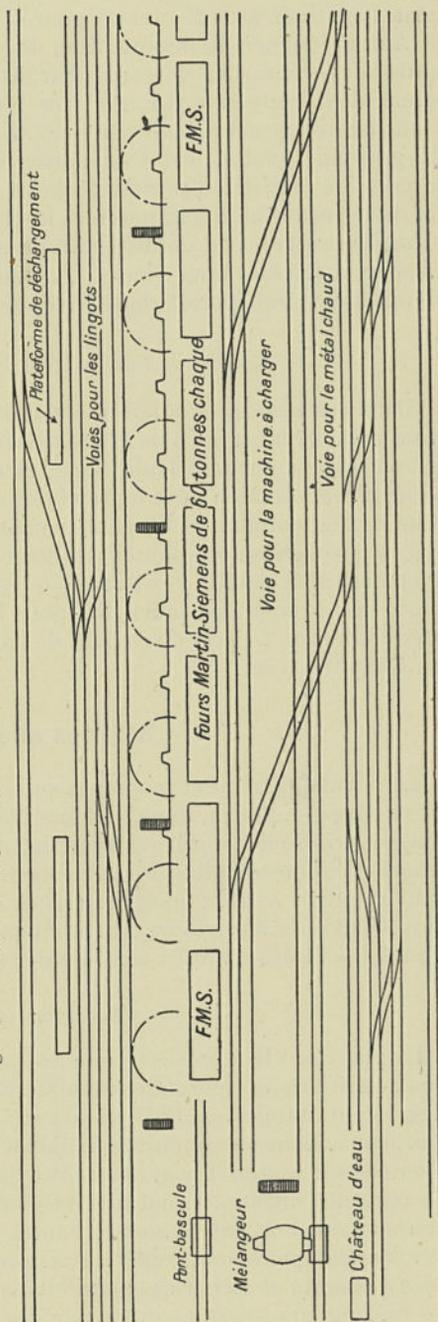


Fig. 210. — Usines Gary. Vue en plan de l'aciérie.

fours. Du côté de la coulée, on emploie une grue de 125 tonnes, et des grues auxiliaires de 25 tonnes, pour la manutention des poches de coulée.

Aux gazogènes, la manutention de la houille se fait par les moyens les plus modernes. Les wagons chargés de houille sont amenés au bâtiment des gazogènes par une voie ferrée surélevée. Ils sont déchargés dans un concasseur, marchant électriquement, et la houille, concassée à la grosseur voulue, est transportée dans un accumulateur où elle est reprise et distribuée périodiquement, à chaque gazogène, par un transporteur pesant automatiquement la charge de la benne. Sur la figure 187, Chapitre xxxi on voit un dispositif à peu près analogue, employé aux aciéries de la Lackawanna Steel Co, mais où la houille n'est pas concassée avant d'être transportée dans l'accumulateur.

Aciéries de l'Union Steel Company, Canton, Ohio.

Dans ces usines, on a fait une installation de fours Martin-Siemens pouvant concurrencer les plus grandes aciéries. Six fours Martin de 40 tonnes, y sont placés sur une seule ligne, et sont munis de machines à charger pour la manutention de la fonte et des scraps d'acier. Les halles de coulée sont également munies de ponts roulants électriques.

Les gazogènes sont placés sur deux lignes parallèles aux fours Martin-Siemens, et la houille y est amenée par une voie ferrée surélevée. La fonderie est équipée de fours pits pour le réchauffage des lingots destinés aux laminoirs. Le prix de revient de l'acier, dans ces aciéries, sera donné au Chapitre xxxiii.

Aciéries allemandes.

Le développement et le succès qui ont accueilli le procédé d'utilisation des charges liquides, dans les fours Martin-Siemens, ont favorisé en Allemagne, non seulement la construction d'aciéries nouvelles, mais encore la transformation complète des anciennes. Les deux descriptions¹ qui suivent, sont relatives à deux aciéries, créées dans ces dernières années, et qui emploient pour leurs fours Martin-Siemens, soit des charges entièrement liquides, soit des charges semi-liquides.

« Georgsmarienhütte »

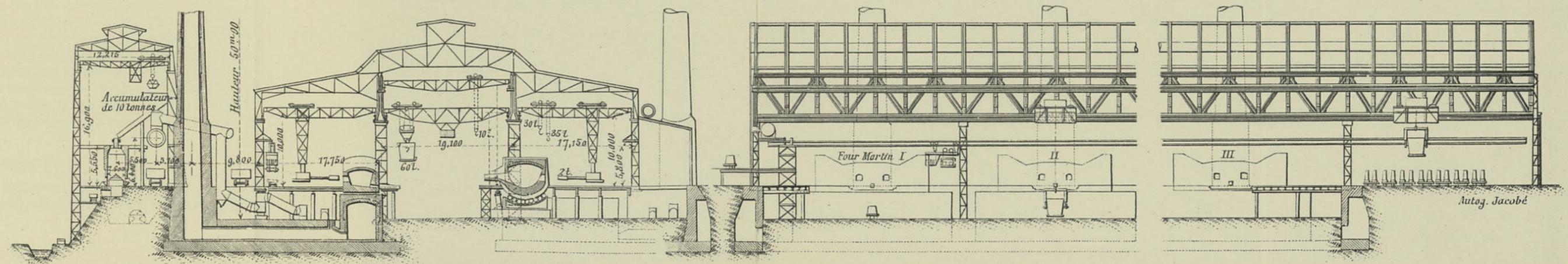
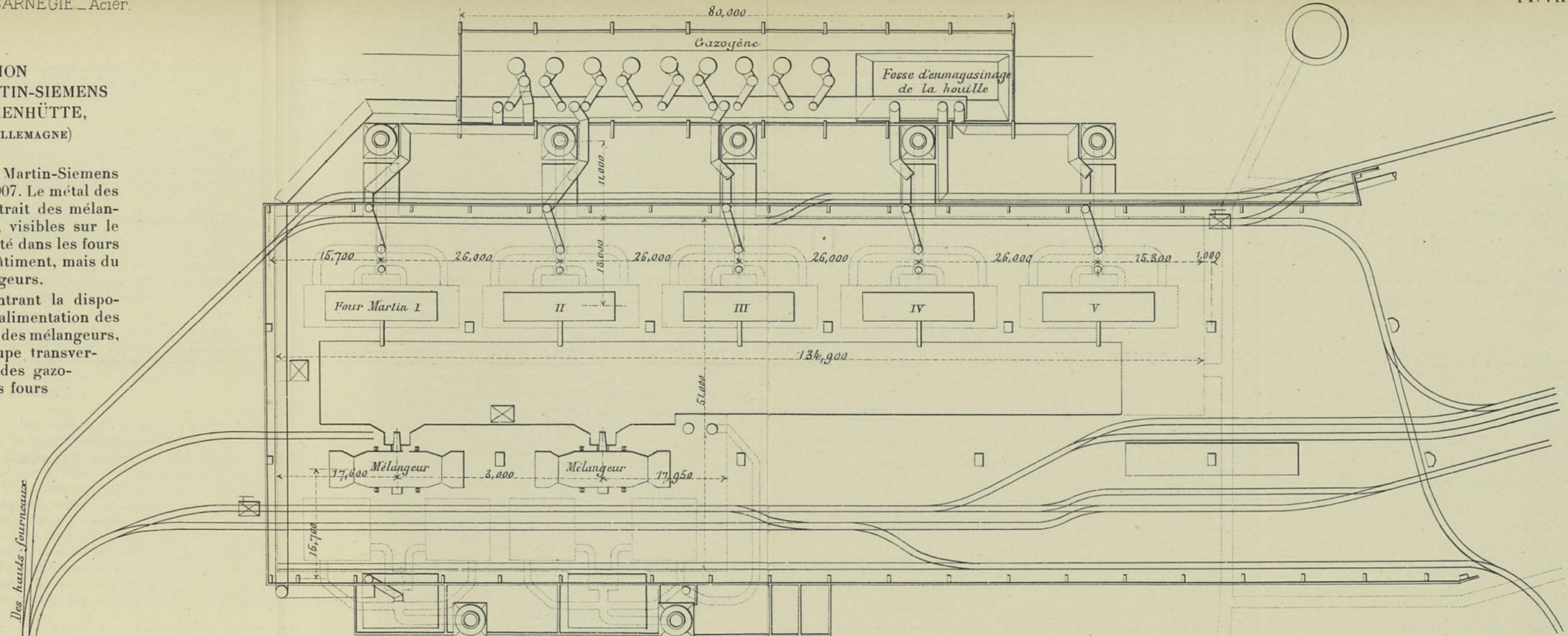
La planche VII représente une coupe en élévation et une vue en plan des aciéries de la Georgsmarienhütte à Osnabrück, Allemagne. Ces aciéries furent établies en 1907, et ont été construites à proximité des hauts fourneaux, dont on conduit le métal aux mélangeurs au moyen de poches montées sur wagon. Il y a, dans cette usine, cinq fours Martin de 40 tonnes de capacité chacun, construits vis-à-vis et parallèlement à deux mélangeurs ayant, l'un 150 tonnes et l'autre 250 tonnes de capacité. Les fours et les mélangeurs sont reliés à des gazogènes groupés autour des cheminées des fours et construits parallèlement au bâtiment des fours. Quoique les mélangeurs soient chauffés par des gazogènes, celui de 250 tonnes est

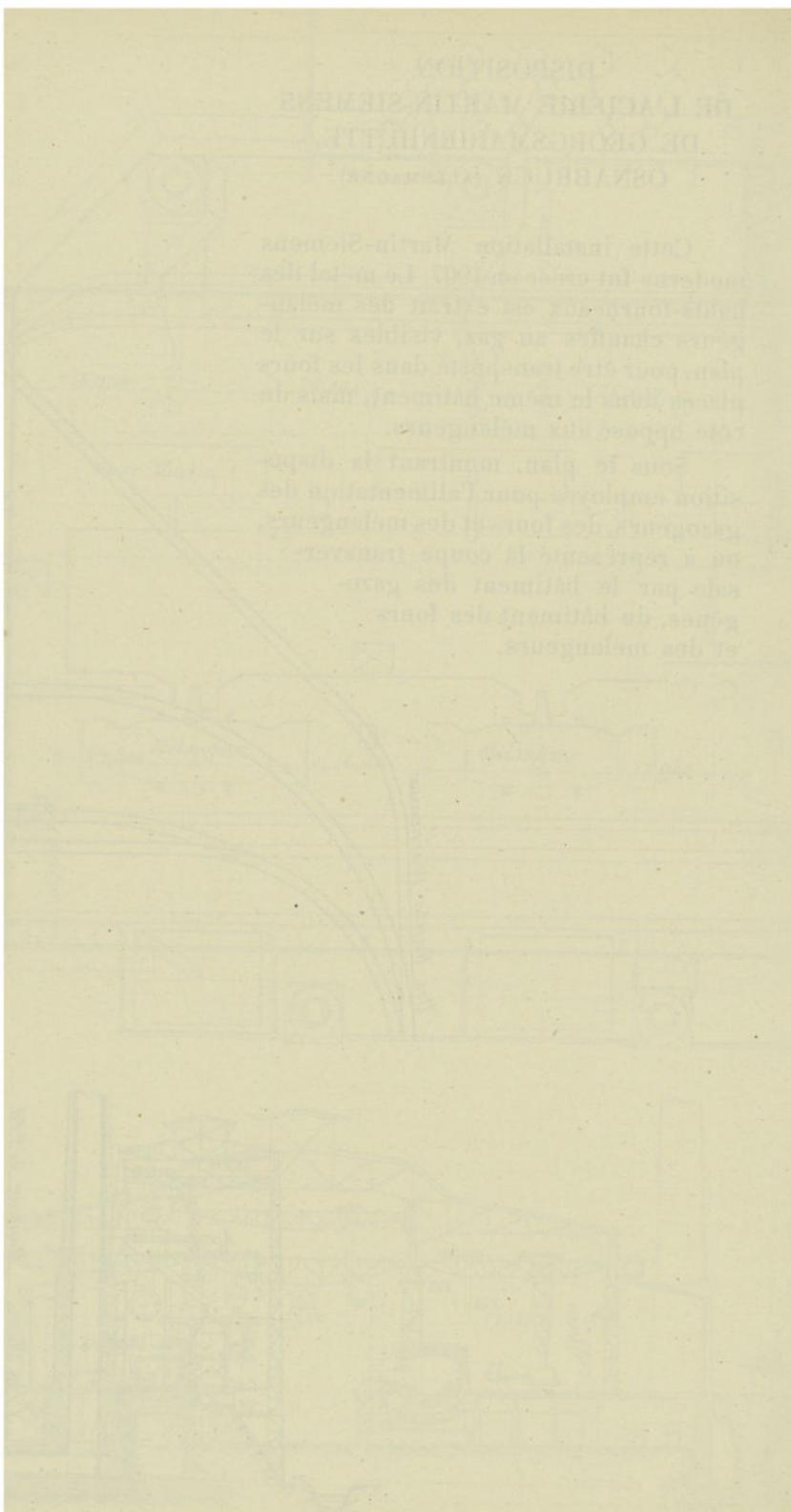
¹ Avec l'aimable autorisation de Dr Petersen et de « *Stahl und Eisen* » Düsseldorf.

DISPOSITION
DE L'ACIÉRIE MARTIN-SIEMENS
DE GEORGMARIENHÜTTE,
OSNABRÜCK (ALLEMAGNE)

Cette installation Martin-Siemens moderne fut créée en 1907. Le métal des hauts-fourneaux est extrait des mélangeurs chauffés au gaz, visibles sur le plan, pour être transporté dans les fours placés dans le même bâtiment, mais du côté opposé aux mélangeurs.

Sous le plan, montrant la disposition employée pour l'alimentation des gazogènes, des fours et des mélangeurs, on a représenté la coupe transversale par le bâtiment des gazogènes, du bâtiment des fours et des mélangeurs.





DISPOSITIF
DE L'ACIER MARTIN-SIEGERS
DE GEORGES MENNERT
OSZBRIER, GOSZBRIER

Cette installation Martin-Siegers
moderne, mise en œuvre en 1907, se trouve
dans l'usine à gaz de la ville de
Lille. Elle est constituée par une
galerie circulaire au-dessus de la
galerie pour les transports dans les
différents étages de l'immeuble, mais
elle est opposée aux escaliers.
Pour le plan, on peut le diviser
en deux parties pour l'installation des
appareils de chauffage et des moteurs,
ou à l'opposé de la coupe transversale
selon par le bâtiment des
gares de l'immeuble des
et des moteurs.

alimenté normalement et entièrement, avec du gaz de haut fourneau préalablement épuré et concentré.

Mélangeurs. — Les mélangeurs ne sont pas simplement employés comme collecteurs de fonte, mais ils jouent également le rôle d'affineurs, ce qui simplifie beaucoup le travail des fours Martin et permet, par conséquent, de porter à 6 le nombre des fusions faites, par chaque four, en vingt-quatre heures.

Le métal venant des hauts fourneaux est pesé sur un pont-bascule placé à l'entrée du bâtiment des mélangeurs, puis versé dans le mélangeur au moyen d'une grue de 30 tonnes, qui enlève la poche, et d'une autre de 5 tonnes qui bascule son contenu dans une gouttière de chargement, supportée par un châssis spécial, et qui conduit le métal liquide dans le mélangeur. Le chargement du minerai et de la chaux se fait au moyen d'une machine à charger de 2 tonnes.

Le métal affiné est versé du mélangeur dans une poche suspendue à un pont roulant électrique, d'une force de 60 tonnes. Cette poche est pesée sur un pont-bascule, situé entre les deux mélangeurs, puis le pont transporte la poche près des fours dans lesquels on en verse le contenu au moyen d'une grue auxiliaire de 10 tonnes.

Fours Martin-Siemens. — Les fours sont du type fixe ordinaire, avec régénérateurs placés sous la sole et l'alimentation en gaz est faite par une batterie de gazogènes. Chaque four est relié à une conduite principale de gaz, parcourue par le gaz de tous les gazogènes. Les valves à air et à gaz sont actionnées de la manière habituelle. Tandis que le métal chaud provenant des mélangeurs, est versé dans les fours du même côté que se fait la coulée de l'acier fabriqué, il y a de l'autre côté, une machine à charger les scraps, le minerai et la chaux, ces matériaux étant amenés sur la plate-forme de chargement après avoir été préalablement pesés sur un pont-bascule, au moyen d'un transporteur mono-rail. Les charges d'acier liquide sont coulées dans des poches suspendues à des ponts roulants pour être ensuite versées dans des moules à lingots placés sur wagonnets.

Gazogènes. — A l'extrémité de la batterie de neuf gazogènes Kerpely, se trouve une fosse à charbon. La houille amenée par les wagons est déchargée dans cette fosse, d'où elle est reprise par une benne, actionnée par un pont roulant électrique, que l'on vide dans des accumulateurs de 10 tonnes placés au-dessus et sur le côté des gazogènes. La houille tombe ensuite dans la trémie de chargement des gazogènes, au moyen d'une gouttière inclinée reliant chaque accumulateur à chaque gazogène. Quant aux cendres, elles tombent dans de petits wagonnets placés sur le côté des gazogènes et dans le sous-sol, wagonnets qui sont enlevés quand ils sont pleins, par une locomotive.

« Bethlen-Falvahütte ».

C'est une autre disposition d'une aciérie allemande, la plus récemment construite, pour produire des lingots légers de 200 à 250 kilogrammes des-

tinés à alimenter un laminoir à marche continue. Jusqu'à 1910, époque à laquelle fut construite la nouvelle aciérie représentée par la planche VIII, les fours Martin de Bethlen-Falvahütte, n'employaient uniquement que des charges solides. Les fours et les mélangeurs actuels travaillent en conjonction avec les hauts fourneaux, les approvisionnements de fonte liquide se faisant de la manière habituelle, mais l'aciérie est aussi munie d'un immense parc à scraps, car la proportion de ceux-ci représente environ 60 p. 100 des charges employées. La partie caractéristique de cette installation se trouve dans les dispositifs employés pour la manutention des scraps qui sont chargés dans les fours.

On observera sur le plan et sur la coupe en élévation de cette installation, qu'entre les fours et les gazogènes il y a un immense parc, servant de dépôt pour les scraps, desservi par deux ponts transporteurs de 10 tonnes. Les wagons chargés de scraps, arrivant sur la voie ferrée principale, sont ensuite amenés au parc par deux voies surélevées. Les wagons sont déchargés par des électro-aimants suspendus aux ponts roulants. Sur le côté de chaque voie surélevée, il y a une presse pour emballer les scraps. Les paquets formés sont ramassés par une griffe spéciale et placés sur la pelle-enfonceuse de la machine de chargement suspendue à un pont roulant. La facilité avec laquelle se fait cette opération, employant le minimum de main-d'œuvre, augmente non seulement la production de l'aciérie, mais diminue aussi le prix de revient de la tonne d'acier. Le tableau LXXXIV (page 443) donne le détail du prix de mise en paquets des scraps, au moyen de presses actionnées soit électriquement, soit hydrauliquement.

Disposition générale des bâtiments et des ateliers. — Le tracé général des bâtiments et des ateliers diffère totalement de celui de Georgsmarienhütte. On n'emploie qu'un seul mélangeur de 150 tonnes, placé sur la même ligne que les fours et entre ceux-ci. Toutefois, la méthode de chargement de la fonte liquide dans les fours et celle de coulée de l'acier liquide, est la même dans les deux usines, les appareils pour la manutention et le chargement étant les mêmes. L'atelier des gazogènes est orienté de la même façon qu'à Georgsmarienhütte et est muni des mêmes dispositifs de manutention de la houille et des cendres, mais disposés différemment.

Conclusion. — Il est évident, que dans l'ensemble des installations modernes, il y a beaucoup de modifications et de perfectionnements de détails que nous avons passés sous silence comme, par exemple, les méthodes employées pour enregistrer le poids des matériaux chauds et froids utilisés, — les procédés d'emmagasinage des différents matériaux (autres que la fonte) employés dans le procédé — le magasinage des matériaux réfractaires, la disposition des moulins pour pulvériser ces produits réfractaires, le laboratoire d'essais et les installations sanitaires et hygiéniques mises à la disposition des ouvriers. Tous ces détails, et bien d'autres encore, ont leur importance et doivent être disposés judicieusement. Par exemple, le magasin des matériaux réfractaires doit être placé sous la plate-forme de chargement des mélangeurs et des fours,

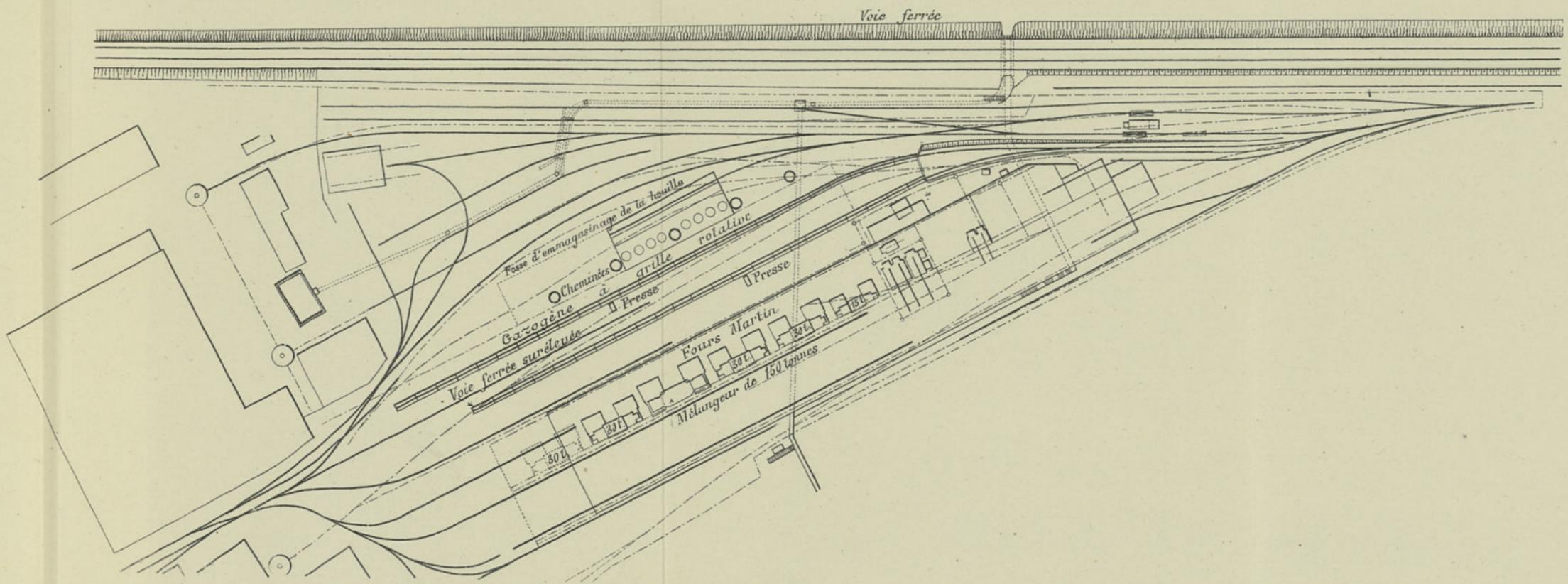
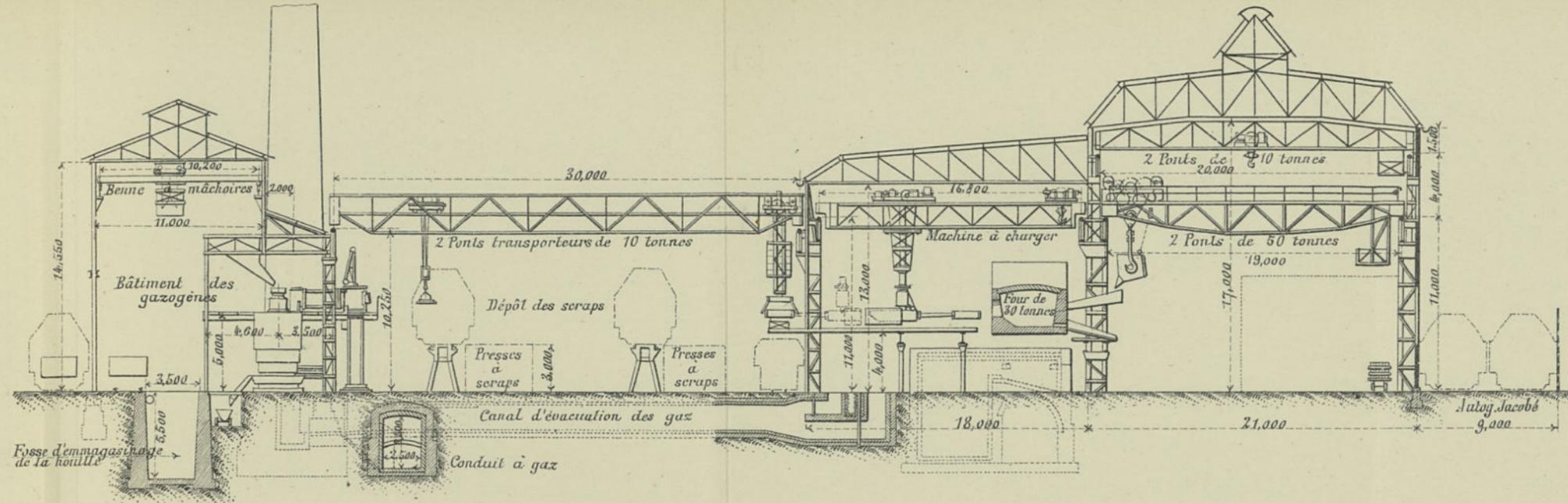
PLAN ET COUPE TRANSVERSALE
DE L'ACIÉRIE DE BETHLEN-FALVAHÜTTE
(ALLEMAGNE)

Sur la coupe transversale on voit, en détail, le bâtiment des gazogènes avec la fosse d'emmagasinage de la houille et le dispositif employé pour charger celle-ci dans les appareils. On a également indiqué les conduites amenant le gaz aux fours et aux régénérateurs.

Sur le parc à scraps, entre le bâtiment des gazogènes et celui des fours, il y a deux voies ferrées surélevées, sur lesquelles circulent les wagons chargés de scraps pour l'approvisionnement des presses empaquetant l'acier sous une forme facile à mettre dans les fours. On voit également le dispositif de chargement des fours.

Le métal chaud, composant une partie de la charge, est extrait des mélangeurs dans des poches suspendues à des ponts-roulants électriques de 50 tonnes qui le transportent aux fours. Le vidage des poches se fait au moyen de grues auxiliaires de 10 tonnes. Les mêmes ponts servent à manœuvrer les poches de métal fini.

En plan, on voit la disposition des fours par rapport aux mélangeurs et aux gazogènes.



PLAN DE COMPT. TRANSMISSE

DE L'ACCORD DE BILAN ET DE LA LIQUIDATION

Année 1920

Le bilan de l'entreprise au 31 décembre 1920 est le suivant :

Actif	Passif
Capital	Capital
Reserves	Reserves
Immobilisations	Immobilisations
Actifs courants	Actifs courants
Passifs courants	Passifs courants

Le bilan de l'entreprise au 31 décembre 1920 est le suivant :

Actif	Passif
Capital	Capital
Reserves	Reserves
Immobilisations	Immobilisations
Actifs courants	Actifs courants
Passifs courants	Passifs courants

le laboratoire d'essais doit être placé dans un endroit spécialement choisi permettant d'accéder facilement près des fours, etc., etc.

TABLEAU LXXXIV
Presses à empaqueter les scraps ou débris d'acier.

DÉTAILS	SORTE DE PRESSE EMPLOYÉE			
	Une presse initiale. Deux presses hydrauliques. Une cisaille pour les scraps.	PRESSE ÉLECTRIQUE		
		Pressage au déchargement des wagons.	Scraps pris à la main sur le parc.	Déchargement par électro-aimant d'un rendement de 60 tonnes.
1 Production moyenne par équipe (en tonnes)	9,25	2,5	26,0	60,0
2 Poids moyen des paquets (en kg.)	228,600	800,100	800,100	800,100
3 Prix de déchargement des scraps (en fr.)	0,50	0,50	0,50	0,49 ¹
4 Force motrice.	50,31	6,06	5,86	11,33
5 Fournitures, huile, etc.	1,62	1,15	1,15	1,15
6 Matériel d'entretien.	1,95	3,00	3,00	3,00
7 Réparations, main-d'œuvre.	2,80	1,21	1,21	1,21
8 Air consommé.	—	2,17	1,95	4,52
9 Fil de fer pour lier les paquets.	6,00	—	—	—
10 Main-d'œuvre.	27,37	20,70	48,45	24,40
11 Dépense par tonne de scraps empaquetés.	9,75	1,16	2,37	0,76
12 Amortissement et intérêts par tonne de scraps empaquetés.	1,53	0,48	0,55	0,25
13 Prix total	14,28	1,64	2,92	1,01
14 — — y compris le déchargement	11,78	2,14	3,42	1,51
15 Transport depuis les presses jusqu'aux fours, par tonne de paquets	0,82	0,11	0,11	0,11
16 Dépense totale y compris le transport	12,60	2,25	3,53	1,62
17 Prix de chargement par tonne de paquets.	0,67	0,37	0,37	0,37
18 Dépense totale par tonne de paquets.	13,27	2,62	3,90	1,99

¹ Ce prix comprend les frais d'intérêts et d'amortissement.

CHAPITRE XXXIII

PRIX DE REVIENT DE L'ACIER FABRIQUÉ AVEC LES GRANDS FOURS MARTIN-SIEMENS

Le prix de revient de l'acier, dans les grandes aciéries modernes, est actuellement ramené à ses limites les plus étroites, et dépend surtout de l'installation et du procédé employés ainsi que de la qualité exigée du produit fini. Si l'on considère l'énorme tonnage fabriqué, le prix de l'installation ne joue pas un rôle considérable dans l'établissement du prix de revient. En effet, certaines aciéries employant des fours fixes, de dimensions moyennes, utilisant des charges froides pour la fabrication de lingots d'acier de qualité ordinaire n'ont pas une charge d'intérêt et d'amortissement supérieure à 1,25 fr. par tonne de lingot produit en admettant que ces frais d'amortissement et d'intérêt soient de 15 p. 100 du capital total engagé. Il est bien entendu, que l'on suppose que les fours fonctionnent quarante semaines environ par année. La question de la continuité de marche d'un four, joue un rôle considérable sur le prix de revient final, non seulement sur un chapitre de ce prix mais sur tous les chapitres.

Le genre du procédé de fabrication de l'acier employé par les fours influence aussi le prix de revient final. Le genre du procédé dépend habituellement des considérations commerciales réglementant le prix des matières premières et des demandes locales réglementant le genre d'acier demandé.

Il serait difficile d'établir les prix de revient des diverses méthodes employées dans les aciéries, sans comparer dans chaque cas, toutes les conditions de fabrication et d'achat. Nous avons tenté de donner les prix de revient types des diverses aciéries travaillant selon les conditions les plus modernes, en prenant comme base, dans chacun des trois principaux pays du monde producteurs d'acier, l'usine considérée comme travaillant selon la meilleure pratique.

L'équipement d'un atelier moderne de four Martin-Siemens comprend :

1. Un ou plusieurs fours complets, avec régénérateurs, canalisation de gaz, valves de renversement et cheminée séparée pour chaque four ;
2. Gazogènes ou batterie de gazogènes, disposés par paires ou par groupes de trois, selon leurs dimensions et celles du four à alimenter, avec les canalisations reliant entre eux les gazogènes et les fours ;
3. Tous les appareils de manutention de la houille, ainsi que tous les

autres appareils pour alimenter les gazogènes de combustible et pour l'enlèvement des cendres ;

4. Les grues, ponts roulants et machines à charger, locomotive et wagons ou trucks, voies ferrées, ponts-bascules, poches etc., et toute l'installation pour la manutention des matériaux bruts allant ou venant du stock ;

5. Une usine génératrice, si la force électrique employée ne peut être achetée à un prix raisonnable à une station voisine ou à l'usine génératrice de l'usine où l'on installe la nouvelle aciérie. Cette station génératrice comprendra les chaudières pour produire la vapeur nécessaire aux gazogènes, les pompes, etc., pour la force hydraulique, ainsi que les appareils d'éclairage ;

6. Les bâtiments ;

7. Toutes les fondations des bâtiments, des machines et des appareils.

Prix des fours. — En ce qui concerne le prix des fours, nous nous sommes basés sur le prix estimatif des fours que l'on construit actuellement, et sur les prix payés pour des fours actuellement en exploitation. Les indications suivantes sont extraites des sources indiquées, aussi peut-on les comparer avec les prix payés par les manufacturiers pour des fours analogues qui sont en service dans leurs usines.

Détails du prix de deux fours de 50 tonnes¹.

Les prix suivants ont été établis par M. F. H. Treat, ingénieur-conseil à Pittsburg. Outre le four, on comprend un bâtiment de 20 mètres de long, un parc de mise en stock, les gazogènes, les bâtiments accessoires, etc.

Matériaux employés ;

Fer et acier pour un four M. S. de 50 tonnes.

	fr.	fr.
Plate-forme de chargement	17 382,50	
Voies ferrées	1 375,00	
Poutrelle et haubans pour assembler le four.	15 625,00	
Moulages en acier.	13 281,25	
Cheminée	8 332,50	
Valves de renversement, registres, boîtes à vent, tuyaux de raccord, appareils régulateurs.	15 625,00	
		71 621,25

Briquetage et revêtement pour un four M. S. de 50 tonnes.

Fours et régénérateurs.

220 000 briques ordinaires à 78,10 fr.	17 182,00	
65 000 briques de silice à 193,75 fr.	12 593,75	
235 000 briques réfractaires n° 1 à 156,25 fr.	36 718,75	
10 000 briques de magnésite à 975 francs	9 750,00	
		76 244,50
Prix total du four.		147 865,75

¹ *Iron Age*, vol. LXXI, p. 30.

	Report	fr. 147 865,75
Carneaux		
30 000 briques réfractaires n° 2 à 130,20 fr.	fr. 3 906,00	
30 000 briques ordinaires pour les fondations à 78,10 fr.	2 343,00	
	<hr/>	6 249,00
Cheminée		
40 000 briques réfractaires n° 2 à 130,20 fr. .	5 208,00	
90 000 briques ordinaires de fondation à 78,10 fr.	7 029,00	
	<hr/>	12 237,00
50 tonnes de magnésite à 105 fr.	5 250,00	
450 tonnes de houille	9 375,00	
Main-d'œuvre pour faire le fond.	1 822,50	
101,5 m ³ de béton à 34,50 fr.	3 500,00	
	<hr/>	19 947,50
Gazogènes et leurs accessoires		
5 gazogènes à 5 730 francs	28 650,00	
5 raccords à la conduite.	2 600,00	
1 bâtiment	7 957,00	
Appareils de manutention mécanique . . .	5 200,00	
Conduite principale de gaz.	6 510,00	
	<hr/>	50 917,00
Bâtiment de 20 mètres de long. Magasin et four		
Ouvrage en fer et acier.	37 560,00	
Fondations.	6 409,00	
Voies étroites.	1 718,00	
Excavation.	4 718,00	
	<hr/>	50 396,00
Parc à stock y compris les voies de la grue et des wagons		
7 wagons à moules à 1 562,5 fr.	10 937,50	
1 poché à acier	7 800,00	
24 bennes de chargement	9 375,00	
6 wagons pour les bennes.	7 800,00	
1 wagon pour les cendres.	1 550,00	
	<hr/>	45 160,00
	Prix total d'un four.	332 775,25
	Prix total pour deux fours.	665 550,50

Nous avons indiqué tous les détails ci-dessus, car ils indiquent, pour une étude complète, la liste des matériaux nécessaires pour l'installation d'un four de 50 tonnes avec ses gazogènes.

Dans le tableau suivant, nous donnons le résumé des prix des fours de diverses dimensions, ainsi que celui des gazogènes nécessaires.

TABLEAU LXXXV
 Prix des fours et des gazogènes.

	CAPACITÉ du four.	NOMBRE de gazogènes.	PRIX	REMARQUES
			fr.	
1	Un four de 50 tonnes.	5 gazogènes.	485 530 50 900	On comprend dans ce schéma 2 fours et 10 gazogènes. Ce dispositif comprend 3 fours. Pour 3 fours de 40 tonnes il faut 11 gazogènes et 1 four pit. Prix total des gazogènes = 114 450 francs.
2	Un four de 40 tonnes.	3 gazogènes.	415 625 30 375	
3	Un four de 30 tonnes.	$\frac{1}{2}$ de 8 gazogènes.	207 725 82 900	Le schéma comprend 3 fours avec leurs cheminées, plateforme et fosse de coulée, 8 gazogènes alimentent les 3 fours.
4	Un four de 10 tonnes.	Avec son gazogène	130 200	Le schéma comprend 6 fours de 20 tonnes avec gazogène.

¹ *Iron Age*, vol. LXXI, p. 30.

² *Iron Trade Review*, 27 oct. 1904, p. 32.

³ *Iron and Coal Trades Review*, 1910, p. 367.

⁴ *Iron Age*, vol. XLVII, p. 4108.

Dans la colonne des remarques du tableau ci-dessus, les notes expliquent l'importance de l'installation complète dont font partie les appareils cités. Dans le cas du four de 40 tonnes, le prix indiqué ne comprend pas celui des fondations qui semble devoir être mis en dehors des dépenses relatives à l'équipement et à l'installation d'un four. Nous donnons ci-dessous les détails relatifs aux installations des fours de 50, 40, 30 et 20 tonnes indiqués au tableau LXXXV.

Installation Martin-Siemens avec fours de 50 tonnes.

Deux fours de 50 tonnes et 10 gazogènes y compris les bâtiments et les parcs	664 175 francs.
Une poche-grue de 75 tonnes	114 010 —
La même, montée et prête à fonctionner	6 771 —
Une grue de parc	20 182 —
La même, montée et prête à fonctionner	1 041 —
Une machine à charger	54 685 —
La même, montée et prête à fonctionner	2 603 —
Deux poches de réserve	15 625 —
Atelier de réparation des poches	1 562 —
Halle de coulée et cars-moteurs	6 250 —
Fosse à houille, concasseur et élévateur	10 416 —
Total	<u>897 320 francs.</u>

Report.	897 320 francs.
Maçonnerie du bâtiment principal y compris les fondations.	38 640 —
Un pont-roulant électrique	75 521 —
Le même, monté et prêt à fonctionner.	4 375 —
36 mètres de voies pour ce pont	7 500 —
Une locomotive, à voie étroite, de 20 tonnes	20 832 —
Un générateur Westinghouse de 200 kilowatts.	49 661 —
Une machine pour le générateur	17 536 —
La même, montée et prête à fonctionner.	2 603 —
Total	1 083 988 francs.
Imprévu 10 p. 100.	108 398 —
Total pour deux fours.	1 192 386 francs.

Installation Martin-Siemens avec fours de 40 tonnes.

Bâtiments pour les fours et moulin	366 145 francs.
Fondations et nivellement	206 250 —
Un four pit	68 750 —
Trois fours Martin-Siemens	346 875 —
Onze gazogènes et leur atelier	111 450 —
Grues, machines à charger, etc.	234 875 —
Un moulin universel de 48"	305 200 —
Cisailles et autres machines	250 000 —
Générateurs.	123 375 —
Machines, pompes et dynamos	224 475 —
Câbles d'éclairage et de traction	141 650 —
Echelles, buggy, voies, etc.	95 825 —
Total.	2 474 870 francs.

Le prix ci-dessus comprend les bâtiments pour les moulins, les laminoirs et leurs machines, mais comme une partie de l'installation auxiliaire des moulins est occupée par l'aciérie, ce chapitre n'a pas été séparé mais donné comme on l'a vu

Installation de fours Martin-Siemens de 30 tonnes.

Bâtiments de l'aciérie	183 750 francs.
Trois fours Martin-Siemens de 30 tonnes avec cheminée, plate-forme et fosse de coulée.	623 135 —
Mélangeur	317 500 —
Appareil de chargement	36 250 —
Quatre grues	98 750 —
Trois poches de 30 tonnes	26 250 —
Wagons, etc.	32 250 —
Huit gazogènes avec les conduites et les bâti- ments	248 750 —
Divers	54 450 —
Total	1 621 085 francs.

Installation de fours Martin-Siemens de 20 tonnes.

Six fours de 20 tonnes avec gazogènes, plates-formes, etc.	781 250 francs.
Deux grues sur trucks pour les poches à acier.	52 075 —
Locomotive pour ces trucks	20 825 —
Trois monte-charges hydrauliques.	15 600 —
Fosse de coulée.	10 400 —
Quatre grues Wellman.	36 441 —
Douze poches à acier	31 250 —
Douze trucks à lingots et 12 trucks pour les moules.	26 045 —
Un cent de moules à lingots	67 675 —
Installation hydraulique	41 680 —
Quatre chaudières de 100 HP chacune	26 045 —
Bâtiments 105 ^m × 36 ^m × 12 ^m	218 750 —
Voies, marteau-pilon, etc.	15 600 —
Total	1 343 636 francs.
Imprévus pour.	135 400 —
Frais d'étude de l'installation	135 400 —
Total général.	1 614 436 francs.

Ce prix, relativement ancien, est, par conséquent, sujet à des modifications. Ceci vient d'ailleurs naturellement à l'esprit quand on le compare avec les autres.

Prix de fabrication des grands fours Martin-Siemens. — Dans les prix que nous donnons, nous ne comprenons qu'un seul mélangeur. L'emploi du mélangeur est généralement adopté dans toutes les grandes installations qui emploient les charges liquides, il est de plus adopté chaque fois que les hauts fourneaux se trouvent à une certaine distance de l'aciérie. L'usage des charges liquides diminue sensiblement le prix de revient, car la durée de la chauffe est beaucoup moins longue et la consommation du combustible est notablement réduite.

Atelier de fours Martin-Siemens basiques de 75 tonnes.

Prix de revient.

Nous donnons, ci-dessous, le prix de revient de l'acier basique dans des fours de la capacité ci-dessus.

Production. — La production totale par semaine est de 5 000 tonnes, ce qui représente de 2 à 2 $\frac{1}{2}$ chauffes en vingt-quatre heures. Les fours travaillent d'une façon continue.

Dimensions et prix de l'installation. — On emploie cinq fours Martin-Siemens. Les réparations des cinq fours représentent approximativement les dépenses d'un four restant inactif. Les fours ont une capacité normale de 75 tonnes et ils emploient moitié de fonte liquide et moitié de

scraps d'acier. Chaque four reçoit son gaz d'une batterie de 3 gazogènes, pouvant gazéifier chacun, 24 tonnes de houille par jour.

Les batteries de gazogènes peuvent, si on le désire, être réunies ensemble de sorte que si un groupe est en réparation, l'autre peut être utilisé. L'installation comprend en outre :

Un mélangeur de 500 tonnes ;

Un pont roulant de 75 tonnes ;

Deux machines à charger ;

Un pont roulant sur le parc à scraps ;

Une locomotive avec wagon, etc. ;

Deux grues de coulée de 125 tonnes et une grue auxiliaire de 30 tonnes ;

Deux poches de chargement et une poche pour les chutes des fours ;

Trois poches de coulée ;

Deux poches pour les additions, ponts-bascules, tables, etc.

Le prix approximatif de cette installation, en comprenant les fondations, les bâtiments, et tous les accessoires est de 5 000 000 de francs.

Amortissements et intérêts. — En supposant un taux de 15 p. 100 pour l'amortissement et les intérêts, la charge annuelle sera de 750 000 francs. D'où l'on a :

$$\text{Frais d'amortissement et d'intérêts par tonne d'acier} = \frac{750\,000}{240\,000} = 3,10 \text{ fr.}$$

Le chiffre de 240 000 tonnes représente la production annuelle de cinq fours marchant continuellement, en dehors des arrêts nécessités par les réparations.

Entretien. — On doit comprendre dans ce chapitre les matériaux employés pour la réparation des mélangeurs, gazogènes, fours, poches, etc. La dépense approximative par tonne d'acier étant de 3,46 fr. pour les matériaux seulement.

Combustible. — En admettant que le prix de la houille soit de 12,50 fr. la tonne et une consommation totale de 272 kilogrammes par tonne d'acier ce qui est un bon chiffre moyen pour les gros fours, travaillant avec des charges en partie liquide, la dépense par tonne d'acier sera de 3,36 fr. En plus de ceci, il faut comprendre la dépense du combustible employé pour le chauffage des fours, du mélangeur, des poches (houille et huile lourde), soit 0,94 fr. par tonne d'acier liquide. Dépense totale = 4,30 fr.

Main-d'œuvre. — En comprenant dans ce chapitre les chimistes, les fondeurs, les surveillants, les aides, le gazier, l'ouvrier enlevant les cendres, le mécanicien conduisant la locomotive amenant les charges du mélangeur, l'ouvrier du mélangeur, le basculeur, les conducteurs des ponts, des machines à charger, les ouvriers des poches, du parc, etc., etc., les frais de main-d'œuvre par tonne d'acier s'élèvent à environ 4,72 fr.

Matières premières. — En supposant que le prix de la fonte provenant du mélangeur soit de 63 francs la tonne et celui des scraps de 56,70 fr. la tonne, le prix de l'acier liquide se décompose comme suit :

Pour produire 5000 tonnes d'acier liquide par semaine, il faut employer 5350 tonnes en matières premières comprenant :

2 675 tonnes de fonte à 63 francs la tonne.	168 525,00 fr.
2 675 — de scraps à 56,70 fr.	151 672,50 —
Dépense totale en matières premières par semaine.	320 197,50 fr.

D'où :

Prix des matières premières par tonne d'acier liquide = $\frac{320\ 197,50}{5\ 000} =$
64 francs.

Prix des fondants ou flux. — La quantité de ceux-ci varie selon la nature des matériaux employés dans la charge et le prix à la tonne du calcaire, de la chaux, et du spath-fluor qui varie avec les différents pays. On peut prendre comme prix moyen, par tonne d'acier, le chiffre de 1,26 fr.

Prix des ferro-additions. — Pour la recarburation des lingots d'acier à rails, on a l'habitude de prendre suffisamment de fonte dans le mélangeur, et de verser celle-ci dans la poche de coulée, lorsque l'acier du four vient d'y être coulé, afin d'élever la teneur en carbone de la charge au degré voulu. Dans le cas des fours d'une capacité comme celle que nous envisageons, le poids de fonte ajoutée est considérable et augmente d'autant le tonnage de l'acier produit.

Comme chaque tonne de métal du mélangeur ajoutée dans la poche de coulée fait une tonne supplémentaire d'acier, le prix de fabrication de l'acier est moindre en faisant les additions de cette façon que quand on emploie des quantités plus petites de fonte et proportionnellement plus de spiegeleisen, de ferro-manganèse et de ferro-silicium.

Ferro-manganèse et ferro-silicium. — La moyenne de ces additions combinées, pour les lingots d'acier doux, est approximativement de 9 kilogrammes par tonne, ce qui représente environ une dépense par tonne d'acier liquide 1,89 fr.

Frais généraux. — On estime que ceux-ci s'élèvent à 1,89 fr. par tonne.

Récapitulation des dépenses.

Par tonne d'acier pour lingots, des cinq fours Martin-Siemens de 75 tonnes, produisant 5 000 tonnes d'acier liquide par semaine.

Prix de l'installation : 5 000 000.	
Amortissement et intérêts.	3,10 fr.
Entretien (matériaux seulement)	3,46 —
Combustible.	4,30 —
Main-d'œuvre	4,72 —
Matières premières et additions	64,00 —
— — et flux.	1,26 —
— — et ferro-manganèse, ferro-silicium et aluminium.	1,89 —
Frais généraux.	1,89 —
Prix par tonne d'acier liquide	84,62 fr.

Si le prix des scraps est de 63 francs, le prix de l'acier est de 88,17 fr. la tonne.

Installation de fours Martin-Siemens basiques de 40 tonnes.

Prix de revient.

Les renseignements suivants, relatifs au prix de revient et à la production, nous ont été communiqués par M. Victor Beutner ¹ des Aciéries de l'United Steel C^o, à Canton, Ohio, qui y a étudié et monté une installation de ce genre. Pour faciliter la comparaison avec les autres prix nous avons adopté l'ordre suivant :

Production de l'installation. — L'installation (décrite page 448) se compose de 3 fours Martin-Siemens de 40 tonnes chacun de capacité, faisant 40 fusions par semaine, fondant 1 600 tonnes de matériaux et produisant hebdomadairement 1 472 tonnes de lingots.

Prix de l'installation. — Le capital total dépensé par l'installation et les moulins est de 2 474 870 francs et en supposant que le prix approximatif total des 3 fours et de l'équipement complet de l'installation auxiliaire soit de 1 250 000 francs, ce qui paraît être une approximation normale, les frais annuels d'amortissement et d'intérêts se décomposeront comme suit :

Amortissement 10 p. 100 de 1 250 000	125 000 francs.
Intérêts 5 p. 100 de 1 250 000	62 500 —
Frais annuels d'amortissement et d'intérêts.	187 500 francs.

En supposant quarante semaines de travail par an, soit une production annuelle de $1\,472 \times 40 = 58\,880$ tonnes d'acier, les frais d'amortissement et d'intérêts par tonne seront de

$$\frac{187\,500}{58\,880} = 3,10 \text{ fr. environ.}$$

Dépenses de fabrication par tonne de lingots.

Entretien. — Les matériaux employés pour les réparations des fours, des poches, etc., pendant une semaine de fabrication sont :

15 tonnes de magnésite à 110,25 fr. la tonne	1 653,75 fr.
25 — de dolomie à 18,39 — —	459,75 —
Argile, briques, tuyaux, etc.	630,59 —
Total	2 744,00 fr.

$$\text{Dépense par tonne de lingots} = \frac{2\,745,25}{1\,472} = 1,86 \text{ fr. environ.}$$

¹ *Iron Trade Review*, 27 octobre 1904, p. 25.

Combustible. — On emploie 11 gazogènes du type Swindell pouvant gazéifier chacun 10 tonnes de bonne houille en vingt-quatre heures. Ils alimentent le four pit en plus des fours Martin-Siemens, mais on estime que la houille consommée par ces derniers est de 680 tonnes par semaine.

680 tonnes de houille à 11,45 fr. la tonne = 7 786 fr.

Dépense de combustible par tonne d'acier = $\frac{7\,776 \text{ fr.}}{1\,472} = 5,30 \text{ fr. env.}$

Main-d'œuvre. — Voici la composition de chaque équipe et les salaires qui leur sont payés :

	PAR JOUR	PAR SEMAINE
2 chefs-fondeurs	28,60 fr.	343,75 fr.
6 premiers aides	13,40 —	543,75 —
12 seconds aides.	8,55 —	618,75 —
2 videurs d'acier	15,60 —	187,50 —
6 ouvriers au pit	9,10 —	328,10 —
2 — à la grue.	15,60 —	187,50 —
2 — à la machine à charger	11,70 —	140,60 —
1 — à la poche	10,40 —	62,50 —
2 gaziers.	13,00 —	156,25 —
4 aides.	8,65 —	203,10 —
20 manœuvres	7,00 —	843,75 —
2 chimistes	— —	208,30 —
Total.		<u>3 823,85 fr.</u>

Le prix de la main-d'œuvre par tonne de lingots est donc de

$$\frac{3\,823,85}{1\,472} = \text{environ } 2,60 \text{ fr.}$$

- **Matières premières.** — On emploie par semaine les poids suivants de matières premières :

640 tonnes de fonte à 63 francs la tonne	40 320,00 fr.
916 — de scraps à 52,50 fr. la tonne	48 090,00 —
12 — de ferro-manganèse à 273,22 fr. la tonne.	3 278,64 —
64 — de minerai (50 p. 100 Fe) à 23,64 fr. la tonne	1 512,96 —
Total.	<u>93 201,60 fr.</u>

Prix des matières premières par tonne de lingots :

$$\frac{93\,201.60}{1\,472} = \text{environ } 63 \text{ francs.}$$

Fondants :

144 tonnes de calcaire à 3,10 fr. la tonne	446,40 fr.
8 — de spath-fluor à 52,25 fr. la tonne	418,00 —
Total.	<u>864,40 fr.</u>

Prix des fondants par tonne de lingots :

$$\frac{864,40}{1\,472} = \text{environ } 0,60 \text{ fr.}$$

Dépenses générales de fabrication. — Dans ces dépenses nous comprenons le combustible des chaudières, l'huile, etc. et la main-d'œuvre des chauffeurs, des électriciens, des machinistes, des conducteurs des moulins, des forgerons, des maçons, des ouvriers peseurs des ponts-bascules, etc., ce qui représente une dépense totale de 6 900 francs par semaine. En prenant le $\frac{1}{3}$ de cette somme pour l'aciérie et le restant soit les $\frac{2}{3}$ pour les moulins, la dépense par tonne de lingots sera de

$$\frac{1}{3} \times \frac{6\,900}{1\,472} = \text{environ } 1,60 \text{ fr.}$$

Frais généraux. — Ces frais généraux s'élèvent 1 562 fr. par semaine. En attribuant la moitié de cette somme à l'aciérie, soit 781 francs la dépense par tonne de lingots sera de

$$\frac{781}{1\,471} = 0,50 \text{ fr. environ.}$$

Récapitulation des dépenses.

Par tonne de lingots, de 3 fours Martin-Siemens basiques de 40 tonnes fabriquant 1 472 tonnes d'acier par semaine.

Prix de l'installation :	4 250 000 fr.
Amortissement et intérêts	3,10 fr.
Entretien (matériaux seulement)	1,86 —
Combustible	5,30 —
Main-d'œuvre	2,60 —
Matières premières (métaux)	63,00 —
— — (fondants)	0,60 —
Dépense générale de fabrication	1,60 —
Frais généraux	0,50 —
Dépense approximative par tonne de lingots.	<u>78,56 fr.</u>

Poids total des matériaux chargés	1 600 tonnes.
— — des lingots fabriqués	1 472 —
Perte	8 p. 100.

Si le prix de fonte est de 75 francs la tonne et celui de scraps de 56,25 fr. la tonne, le prix par tonne de lingots est augmenté comme suit

640 tonnes de fonte à 75 francs	48 000 francs.
916 — de scraps à 56,25 fr.	51 525 —
Total	<u>99 525 francs.</u>

$\frac{99\ 525}{1\ 472} = 67$ francs environ par tonne de lingots, soit une augmentation de 5 francs sur le prix précédemment indiqué, ce qui donne un prix de revient total de 83,56 fr.

Si le prix de la fonte et des scraps est respectivement de 81,25 f. et 62,50 fr., le prix par tonne de lingots sera de

640 tonnes de fonte à 81,25 fr.	52 000 francs.
916 — de scraps à 62,50 fr.	67 250 —
Total.	109 250 francs.

$\frac{109\ 250}{1\ 472} = 74$ francs environ par tonne de lingots, soit une augmentation de 12 francs sur le premier prix indiqué, donnant un prix de revient total de 90,56 fr. par tonne.

Installation de four Martin-Siemens basique de 35 tonnes.

Fusion rapide. Charges solides.

Nous donnons, ci-dessous, des renseignements relatifs à l'installation de l'aciérie moderne d'un laminoir allemand, fabriquant des profilés légers en acier doux, des rails légers et autres matériaux de ce genre.

Production de l'installation. — La production par semaine de chaque four, travaillant du dimanche soir au dimanche matin suivant, est de 1 050 tonnes de lingots. En tablant nos calculs sur la production de deux fours, la production hebdomadaire sera donc de 2 100 tonnes de lingots. Les matériaux sont chargés dans le four à l'état solide.

Prix de l'installation. — Les prix suivants concernent l'installation ci-dessus. Nous en sommes redevables à l'amabilité des constructeurs et des propriétaires, MM. Paul Schmidt et Desgraz, qui nous ont autorisé à visiter cette installation en Allemagne, et qui comprend :

- Bâtiments et grosse œuvre des fours et des gazogènes ;
 - Deux fours Martin-Siemens de 35 tonnes ;
 - Deux gazogènes (type Goliath) pouvant gazéifier chacun 30 tonnes de houille tout venant, en vingt-quatre heures ;
 - Grues et machines à charger ;
 - Locomotives, wagons, cuves ;
 - Chaudières, pompes ;
 - Ponts-bascules et poches ;
 - Fondations, voies ;
- Le prix total approximatif de cette installation est de 1 000 000 de francs.

Amortissements et intérêts. — En admettant une charge de 10 p. 100 pour l'amortissement du capital et de 5 p. 100 pour l'intérêt, la charge annuelle sera de

1 000 000 à 10 p. 100	100 000 fr.
1 000 000 à 5 —	50 000 —
Total.	150 000 fr.

Si nous supposons quarante semaines de travail par an, la production annuelle sera donc de $2\ 100 \times 40 = 84\ 000$ tonnes. D'où on a

$$\begin{aligned} & \text{Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne de lingots} \\ &= \frac{150\ 000}{84\ 000} = 1,78 \text{ fr. environ.} \end{aligned}$$

Dépenses de fabrication par tonne de lingots.

Entretien. — Les fours sont munis de longs carnaux, spécialement construits dans le but de réduire autant que possible les frais d'entretien, qui sont beaucoup moins élevés que ceux des fours ordinaires de même dimension, faisant simplement la fusion et la transformation, mais pas l'affinage. Chaque four peut supporter sans arrêt (sauf celui du dimanche qui est très court) 350 charges environ. Les frais approximatifs d'entretien par tonne de lingots sont de 2,52 fr.

Combustible. — Dans cette installation, le prix du combustible est un facteur important, car chaque four n'emploie qu'un seul gazogène. Le gazogène est du type à grille rotative et consomme 216 kilogrammes de bonne houille gazéifiante, par tonne de lingots fabriqués. Si nous admettons que le prix de la houille est de 12,50 fr. la tonne, la dépense de combustible par tonne de lingots sera approximativement de 2,70 fr. — chiffre excessivement bas. — La dépense de combustible pour le chauffage des poches, la fusion du ferro-manganèse est approximativement de 0,40 fr. Soit une dépense totale de 3,10 fr.

Main-d'œuvre. — Les matériaux sont pris sur un parc, placé à proximité des fours, et placés dans des caissons montés sur wagon de la forme habituelle. Le chargement des scraps se fait au moyen d'un électro-aimant fixé à un pont roulant électrique. Pour le chargement des caissons, la main-d'œuvre est donc réduite au minimum, quoique étant plus longue que dans les installations similaires, car il faut assortir la fonte et les scraps, de façon à obtenir directement la qualité d'acier voulue sans affiner la charge.

Les ouvriers employés sont les suivants :

- Deux fondeurs ;
- Quatre premiers aides ;
- Six seconds aides ;
- Deux conducteurs de la machine à charger ;
- Huit ouvriers pour la coulée ;
- Deux verseurs de poches ;
- Deux ouvriers aux grues ;
- Deux gaziers ;
- Deux aides ;
- Deux ouvriers aux grues des gazogènes ;
- Quinze manœuvres ;
- Deux chimistes.

Le coût approximatif de la main-d'œuvre pour les deux équipes est approximativement de 328 francs par semaine.

Prix de la main-d'œuvre par tonne de lingots = $\frac{3\ 230}{2\ 100} = 1,55$ fr.

Main-d'œuvre pour l'entretien des fours, des poches, des ponts et autres appareils = environ 1,25 par tonne.

Dépense totale de main-d'œuvre = 2,80 fr. par tonne.

Matériaux employés. — La charge d'un four se compose des matériaux suivants :

Fonte (diverses marques)	5 tonnes.
Scraps de moules à lingots	1 $\frac{1}{2}$ —
Scraps de laminaires (barres, lingotières, billettes, etc.)	18 —
Tournures de fer	3 —
Scraps légers d'acier (bouts de tôles d'acier et copeaux divers, tubes, chute de forges, etc.)	8 $\frac{1}{2}$ —
Total	36 tonnes.

Pour produire 2 100 tonnes de lingots par semaine, chaque four fond 32 charges par semaine, ce qui équivaut à une charge chaque 4^h $\frac{3}{4}$ à 5 heures.

Les deux fours emploient les matériaux suivants :

Fonte	5 tonnes \times 64 = 320 tonnes.
Scraps	31 — \times 64 = 1 984 —
Total	2 304 tonnes.

Prix de la fonte, 320 tonnes à 62,50 fr.	20 000 fr.
— des scraps, 1 984 tonnes à 56,25 fr.	111 600 —
Total	131 600 fr.

Prix par tonne de lingots : $\frac{131\ 600}{2\ 100} = 62,60$ fr. environ.

Fondants : Prix moyen par tonne : 0,40 environ.

Ferro-manganèse et ferro-silicium : les additions varient en quantité mais la dépense moyenne est d'environ 1,85 fr. par tonne de lingots.

Frais de direction, de force et d'éclairage : Ceux-ci ne peuvent être donnés que très approximativement, mais on estime que le prix de 1,85 fr. par tonne de lingots, représente largement le montant de ces frais.

Récapitulation des dépenses.

Par tonne de lingots fabriqués avec deux fours Martin-Siemens basiques de 35 tonnes, produisant 2 100 tonnes de lingots par semaine de 156 heures.

Prix de l'installation : 4 000 000 de francs.

Amortissements et intérêts	1,78 fr.
Entretien (les matériaux seulement).	2,52 —
Combustible.	3,10 —
Main-d'œuvre	2,80 —
Matières premières (fonte et scraps)	62,60 —
— — (fondants)	0,40 —
— — (ferros-manganèse et silicium)	1,85 —
Frais de direction, de force et d'éclairage	1,85 —
Prix par tonne de lingots.	76,90 fr.

Prix de revient des fours Martin-Siemens acides. — Les prix que que nous avons indiqués dans tout ce qui précède, sont ceux de la pratique des fours Martin-Siemens basiques, et l'on pourrait les multiplier à l'infini, en raison des nombreuses méthodes employées dans l'un et dans l'autre des fours Martin-Siemens, fixe et oscillant. En comparant le prix de l'acier Martin-Siemens acide, obtenu dans un four de même capacité et dans des conditions analogues, sauf en ce qui concerne la nature du revêtement du four et le genre des matériaux composant la charge, on constate que ces prix ne diffèrent pas sensiblement. Si en général, la fonte basique pour les fours Martin est vendue meilleur marché que la fonte pour le procédé acide, les fondants employés dans le procédé basique, et c'est ce qui fait compensation, coûtent beaucoup plus cher que ceux employés dans le procédé acide.

M. G. Bergstrom¹, en comparant les prix obtenus en Allemagne avec l'un et l'autre procédés, a donné les prix de revient suivants par tonne de lingots fabriqués :

	PROCÉDÉ BASIQUE	PROCÉDÉ ACIDE
Fonte, etc.	66,84	69,36
Main-d'œuvre.	6,30	6,30
Combustible et divers	12,62	13,88
Total.	85,76	89,54

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1895, II, p. 508.

CHAPITRE XXXIV

PRODUCTION DE L'ACIER DANS LES PETITS FOURS MARTIN-SIEMENS

Le mot « petit », est un terme conventionnel que nous employons intentionnellement ici, pour distinguer entre les prix de revient des lingots d'acier fabriqués avec les grands fours, de celui de l'acier fabriqué pour les moulages en acier. La graduation du poids des moulages en acier fabriqués avec l'acier obtenu dans les fours Martin-Siemens, est si grande, qu'il n'est pas possible d'essayer de fabriquer l'acier convenant à toutes les catégories de moulages, avec des fours d'une seule dimension type. Par exemple, on emploie dans la fabrication des moteurs, des moulages en acier qui ne pèsent que quelques kilogrammes, tandis que l'arcasse des grands steamers pèse près de 100 tonnes. Pour faire face à toutes les exigences, il y a donc lieu de construire plusieurs types de fours. En Angleterre, les fours Martin-Siemens de moins de 2 tonnes n'ont pas trouvé de partisans, alors qu'en Amérique, on emploie avec succès des petits fours d'une demi-tonne.

Les fours Martin-Siemens employés dans les fonderies d'acier peuvent se diviser en 3 catégories.

1. Les fours de moins de 5 tonnes ;
2. Les fours entre 5 et 10 tonnes ;
3. Les fours de plus de 20 tonnes.

1. Installation d'un four Martin-Siemens de moins de 5 tonnes.

— La plupart des anciens fours Martin-Siemens, ayant moins de 5 tonnes de capacité, sont encore employés dans les fonderies d'acier pour la fabrication de moulages d'un usage courant, destinés aux mines, aux carrières, aux chemins de fer, etc. Avec ces fours, il est difficile de produire des moulages ayant moins de 6 millimètres d'épaisseur, lesquels sont exclusivement fabriqués par le procédé au creuset ou avec l'acier des petits convertisseurs à soufflage latéral, car par suite de la haute température que l'on atteint dans ces deux procédés, on obtient, par conséquent, une plus grande fluidité du métal.

Four Siemens « Nouveau type » de 2 à 3 tonnes.

Il est probable que la meilleure capacité à donner au four d'une fonderie d'acier, fabriquant tous les petits moulages divers et produisant

chaque semaine 25 tonnes d'acier liquide est de 2 à 3 tonnes. Avec un pareil four, on peut couler des moulages d'acier de près de 2 tonnes, quoique ce ne soit pas l'usage de monter dans une fonderie où l'on se limite à une production hebdomadaire de 25 tonnes, des appareils suffisamment robustes pour manœuvrer d'aussi gros poids. Dans les petites fonderies qui ne fabriquent qu'une ou deux sortes de moulages en acier tels que les roues de wagons pour les mines, les carrières, etc., on n'utilise ni grues, ni pont-roulant; de sorte que la dépense principale de la fonderie se trouve dans le four et dans les bâtiments.

Dans une fonderie de Westphalie, en Allemagne, à proximité de la cité houillère de Hagan, il nous a été donné de voir couler rapidement des moulages en acier, avec le métal d'un four Siemens de 3 tonnes. Le métal était coulé dans des poches de 100 kilogrammes chacune, que l'on conduisait aux moules. Après avoir retiré 3 ou 4 poches successives, on bouchait le trou de coulée de la même façon que l'on bouche le trou de coulée d'un cubilot.

Le trou de coulée est bouché et débouché maintes et maintes fois pendant la vidange du four. Il faut cependant noter que cette façon d'opérer n'est pas spéciale à l'Allemagne, car il y a déjà longtemps de cela, que l'on opérait de la même façon aux aciéries de la « Darlington Forge ». Lorsque cette façon de faire se fait adroitement, la température de l'acier que l'on retire du four diminue moins que quand le métal est transféré d'une poche dans une autre, avant d'arriver aux moules. Le prix initial de l'installation ainsi que les frais d'entretien sont également moindres.

Nous donnons ci-dessous la description du four Siemens « Nouveau type » employé dans les fonderies d'acier.

Description générale. — Pour fondre rapidement l'acier, le petit four Siemens « Nouveau type » convient beaucoup mieux que le four Siemens ordinaire.

Ce four diffère de l'ancien four Siemens sur plusieurs points, et en comparant entre elles, la figure 149, de la page 354 avec la figure 211 ci-contre, on remarquera que la disposition générale du four est différente. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

(a) La sole de fusion, le gazogène et les régénérateurs ne forment qu'un seul bloc. Les régénérateurs se composent de deux chambres (construites sous le gazogène) garnies de chicanes en briques dans lesquelles passe l'air nécessaire à la combustion du gaz et du gazogène. La température du gaz, qui va directement du gazogène au four, est suffisamment élevée pour être mélangé à l'air et n'a par conséquent pas besoin des régénérateurs. Il n'y a donc que deux régénérateurs à air. Les gaz sortant du four abandonnent la majeure partie de leur chaleur aux chicanes en briques des régénérateurs qu'ils traversent avant de se rendre dans la cheminée. Chaque régénérateur est alternativement chauffé par les gaz chauds et refroidi par l'air allant au four. Ce procédé de chauffage et de refroidissement se produit pendant toute la marche du four.

(b) La disposition des carneaux à air et à gaz est également différente de celle du four ordinaire. Au lieu de faire entrer le gaz et l'air par une extrémité et sortir par l'autre, ils entrent et sortent par la même extré-

mité après avoir tourné autour de la sole du four. Il y a deux carneaux à

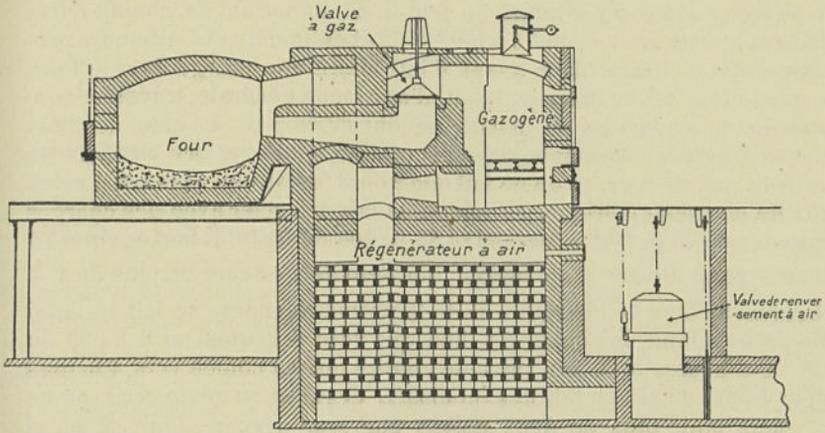


Fig. 211. — Four Siemens « Nouveau type ».

air et à gaz, placés à côté l'un de l'autre, du côté du gazogène. Quand un carneau à gaz est ouvert du gazogène au four, l'autre est fermé.

Le carneau d'air du four, du côté par lequel passe le gaz, est ouvert à l'atmosphère dont l'air est appelé par la valve à renversement dans la chambre de combustion. En même temps, la valve ouvre l'orifice de sortie de la cheminée pour laisser passage aux gaz perdus qui traversent, avant de s'échapper, la chambre de régénération opposée.

L'admission du gaz du gazogène au four est réglée par deux valves dont l'une est ouverte quand l'autre est fermée. Le tirage naturel de la cheminée n'étant pas suffisant pour appeler les gaz dans le four et donner des résultats satisfaisants, on applique la vapeur sous pression au gazogène, celle-ci traversant la masse du combustible de la façon habituelle. Avec une pression de vapeur de 3 à 4 kilogrammes par centimètre carré, on obtient une excellente circulation de la flamme sur la sole du four. La figure 212 représente un croquis détaillé de la sole du four, faite en maçonnerie avec fond en sable. La porte de chargement se trouve du côté opposé aux carneaux afin de mieux supporter l'action mordante de la flamme. Il y a, en outre, une autre porte du côté opposé aux ouvertures de décrassage, par laquelle on examine l'intérieur du four et pouvant aussi servir à d'autres usages.

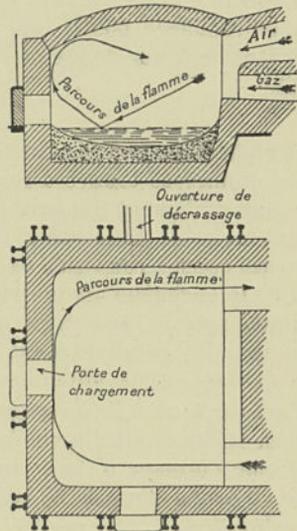


Fig. 212. — Sole du four Siemens « Nouveau type ».

Marche du four. — Dès que la construction du four et du gazogène est terminée, on laisse sécher naturellement la maçonnerie pendant un jour ou deux avant d'y allumer du feu. Il est important de chauffer très lentement le four avec un petit feu de bois et de houille et d'atteindre progressivement le rouge blanc avant d'introduire une charge dans le four. Dès que le four est en marche il doit, d'une façon générale, travailler continuellement, les fusions se faisant de jour et de nuit à l'aide de deux équipes d'ouvriers. Toutefois, dans les petites fonderies, les ouvriers ne travaillent que de jour, et on ne fait que 2 ou 3 fusions en 12 heures, selon la qualité de l'acier fabriqué. Lorsque l'on fait de l'acier avec des charges composées de 75 p. 100 de scraps et 25 p. 100 de fonte, il faut environ 4 à 5 heures pour arriver à la fusion, qui demande encore en plus de $1\frac{1}{2}$ à 2 heures. Si donc le chargement de la première charge se fait le lundi matin après minuit, la coulée n'a lieu que vers 8 heures ou 8 h. 30 du matin. A 9 heures on fait la seconde charge qui est coulée vers 4 heures du soir. Donc, quand on fait des moulages destinés au génie civil, on ne peut guère faire plus de deux fusions par jour avec ce four. Mais, si on se contente simplement de couler l'acier et qu'il ne soit pas nécessaire d'élever ou d'abaisser la teneur du carbone par des additions de fonte et de minerai, on peut faire trois fusions par jour. Lorsque la troisième charge a été coulée, ou la seconde, suivant que l'on travaille par l'un ou l'autre des procédés ci-dessus, on ne recharge pas le four avant minuit, de sorte que la succession des charges se fait comme à la reprise du travail du lundi matin. La dernière charge de la semaine étant coulée, on ne recharge pas le four mais on le maintient à une douce chaleur en laissant marcher doucement le gazogène jusqu'au lundi matin après minuit.

Production et prix du four. — Un four d'une capacité de 2 à 3 tonnes, peut donner 25 tonnes d'acier liquide par semaine, en ne travaillant que de jour seulement. Le prix d'un four « Nouveau type » est considérablement moindre que celui d'un four Siemens ordinaire de même capacité. Si nous considérons qu'il ne faut que deux régénérateurs au lieu de quatre, et que le gazogène fait corps avec le four, on en déduit qu'il faut moins de briques pour le construire, qu'il occupe moins de place, de sorte que son prix initial d'installation est réduit de 30 à 40 p. 100 de celui du four ordinaire, ancien type, selon les conditions de situation.

Le four seul, à l'exclusion des fondations, de la cheminée, de la chaudière, et des droits d'invention coûte 16 250 à 18 750 francs, mais avant de pouvoir l'utiliser il faut installer la cheminée et la chaudière, de sorte que ce prix s'élève de 37 500 à 50 000 francs.

Admettons le prix moyen de 45.000 francs, et supposons un amortissement de 10 p. 100 sur l'installation et un intérêt de 5 p. 100 du capital employé, la charge annuelle sera donc de 15 p. 100 sur 45 000 francs soit = 6 750 francs.

En supposant une production de 25 tonnes d'acier par semaine, nous aurons pour 48 semaines de travail par an, une production annuelle d'acier liquide de $25 \times 48 = 1\ 200$ tonnes.

On voit que les frais d'amortissement et d'intérêts, par tonne d'acier liquide, seront de :

$$\frac{6\ 750}{1\ 200} = 5,625 \text{ fr.}$$

Dépenses de fabrication

(par tonne d'acier liquide, pour moulages en acier au carbone).

Frais d'entretien. — Avec le Siemens « Nouveau type », les frais d'entretien sont beaucoup moins élevés que ceux du four Siemens ordinaire. Le fait qu'il n'y a que deux régénérateurs et que ceux-ci sont placés en dehors de la sole des fours, ce qui facilite l'enlèvement des scories et de l'acier qui peuvent y pénétrer à la suite d'un accident ou d'une fuite, est un facteur qui intervient dans la diminution des frais d'entretien. Si la sole du four est soumise aux mêmes causes d'usure que les soles ordinaires, il n'en est pas de même des carneaux, qui durent beaucoup plus longtemps que la voûte et les pieds-droits. L'action mordante de la flamme tournant en rond dans le four se fait peut-être plus sentir sur la maçonnerie qui entoure la porte de chargement et sur la partie de la voûte voisine de cette porte, que partout ailleurs. Lorsque l'on active la fusion, en employant dans le gazogène une pression de vapeur élevée, l'intensité de la flamme est particulièrement forte en ces points. La figure 212 représente le chemin suivi par la flamme. A son entrée dans le four, le mélange gazeux vient buter à la surface du métal qui le renvoie dans le sens indiqué par la flèche au sommet du four en dérivant autour de l'entrée de la porte. Il en résulte que cette entrée s'use rapidement et qu'il ne tarde pas à se produire des pertes de chaleur. Le dessus s'use également, de sorte que ces parties ont besoin d'être réparées beaucoup plus fréquemment que toutes les autres parties du four.

Pour examiner et bien réparer le four, on profite des trois principaux jours fériés de l'année. Le fond du four se détruit par le feu et doit être refait fréquemment, quelquefois même une fois par mois. D'autres fois, il peut aller deux mois, cela dépend du genre de travail du four et de la nature des matériaux qui y sont fondus. Cette réfection du fond se fait à la fin de la semaine, entre le moment où l'on a coulé la dernière charge le samedi soir et avant d'activer la température du four le lundi matin, pour y introduire la première charge. Le gazogène et ses accessoires ainsi que les chaudières, nécessitent également certaines réparations. Il en est de même des outils employés pour le travail du four. Le prix total des réparations complètes et de l'entretien est approximativement de 8 750 francs par an de sorte que ces frais par tonne d'acier liquide sont de :

$$\frac{8\ 750}{1\ 200} = 7,30 \text{ fr.}$$

Dépense de combustible. — Le combustible le plus économique et convenant le mieux pour ce genre de four est le menu charbon non collant ordinaire, qui peut être acheté de 10 à 12,50 fr. la tonne. Sa teneur en cendres peut varier de 5 à 10 p. 100, mais plus elle sera basse, plus la valeur

calorimétrique du combustible sera élevée et moins grande sera la main-d'œuvre nécessaire pour le décrassage et le nettoyage du gazogène. Le poids moyen de houille consommé par tonne d'acier fondu, est approximativement de 600 kilogrammes.

Ce chiffre étant basé sur les consommations d'une semaine, il comprend bien entendu le charbon consommé pour maintenir le four allumé pendant les nuits et l'arrêt de fin de semaine.

Si nous admettons que le prix de la houille est de 11,25 fr. la tonne, le prix du combustible pour produire la quantité de gaz nécessaire pour fabriquer une tonne d'acier fondu, sera approximativement de 6,75 fr. Si d'autre part, le prix du combustible employé à la chaudière pour produire la vapeur nécessaire au gazogène est de 3,25 fr. par tonne d'acier, la dépense de combustible par tonne d'acier liquide sera donc de $6,75 + 3,25 = 10$ francs.

Prix de la main-d'œuvre. — La réussite d'une opération de ce four dépend principalement du chef fondeur. La qualité du produit fini, l'importance et la régularité du rendement, l'état du four et du gazogène dépendent de son habileté et de son attention. Il est quelquefois payé d'après le tonnage fabriqué, ou d'après un prix fixe pour l'équipe, ou touche enfin des gages hebdomadaires fixes. Quel que soit le mode de paiement employé, le salaire du chef fondeur est de 75 à 100 francs par semaine. Outre le fondeur, il faut employer au four les ouvriers suivants :

Un aide fondeur ;

Un ouvrier gazier (équipe de jour) ;

Un — gazier (équipe de nuit) ;

Un — pour rouler des wagonnets et des brouettes ;

Un chauffeur à la chaudière ;

Un ouvrier pour garnir et réparer les poches ;

Un ouvrier au four à creusets.

Une partie du salaire payé à l'ouvrier chargé de conduire la grue.

Une partie des appointements du directeur et du chimiste.

De sorte que, pour une production annuelle de 1200 tonnes, le prix moyen de la main-d'œuvre par tonne d'acier est approximativement de 22,50 fr.

Prix des matières premières. — Pour fabriquer de l'acier conforme au cahier des charges britannique, c'est-à-dire ayant de 28 à 30 tonnes de ténacité et 20 p. 100 d'allongement sur 50 centimètres et donnant un angle de pliage de 90° sur une barre d'essai de 25 millimètres carrés de section, il est absolument indispensable d'employer des matières premières de toute première qualité car il faut tâcher d'obtenir un acier ayant à l'analyse 0,25 p. 100 de carbone, 0,3 p. 100 de silicium et 0,75 p. 100 de manganèse. Diverses charges de fonte et de scraps permettent d'atteindre ce résultat. Un mélange de scraps d'acier doux, très pauvre en carbone, et de fonte en proportions voulues, donnera cet acier par simple fusion après addition de la quantité nécessaire de manganèse. On peut obtenir la teneur voulue de carbone en employant des mélanges en diverses proportions de fonte et de scraps, auxquels on fait au moment du « bouillon » des additions de fonte ou de minerai.

Outre les additions de fonte, de scraps, de minerai, de calcaire, on en fait également avec des ferro-alliages. Le prix total des matières premières, par tonne d'acier fondu, basé sur une période de douze mois et en admettant une perte de 10 p. 100 à la fusion, est de 90,60 fr., en supposant que le prix de la tonne de fonte soit de 81,25 fr. et celle des scraps de 68,75 fr. Le prix moyen des additions finales, en y comprenant le prix des creusets et du combustible employés, est d'environ 3,75 fr. par tonne d'acier.

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 45 000 francs.	
Amortissements et intérêts	5,625 fr.
Entretien	7,30 —
Combustible	10,00 —
Main-d'œuvre et direction	22,50 —
Matières premières	90,60 —
Fusion des ferro-alliages	3,75 —
Prix par tonne d'acier liquide.	139,775 fr.

Fours Martin-Siemens acides et basiques, de plus grande capacité, pour travaux de fonderie.

Qu'il s'agisse de faire des moulages d'acier ou de couler de l'acier en lingots, la méthode de travail d'un grand four Martin-Siemens pour la fabrication de l'acier, ne présente aucune différence.

En distinguant entre les fours d'une grande et d'une petite fonderie, nous voulons simplement faire ressortir la différence dans l'importance et la force de l'outillage que l'on doit employer dans la première, pour manier les grosses charges d'acier produites. Il s'en suit que chaque chose de la fonderie est par conséquent plus forte, sans oublier le prix d'installation qui est nécessairement plus élevé. Dans certaines fonderies qui se sont spécialisées dans la fabrication des gros moulages d'acier destinés aux laminoirs, tels que les engrenages, les manchons d'accouplement, etc., on utilise des fours à voûtes mobiles, pour faciliter le chargement des gros scraps de moulage sur la sole des fours, sans être obligé de les briser en morceaux plus petits pouvant passer par les portes du four. Les fours à voûtes mobiles ne sont pas nécessaires pour la fabrication de l'acier ordinaire en lingot, car il est préférable d'employer des scraps de dimensions convenables, pouvant être chargés par les portes avec la machine à charger.

Puissance de production. — Le taux de production d'un four de 25 à 40 tonnes fabriquant de l'acier pour moulages, est de 1 $\frac{1}{2}$ à 2 fusions par 24 heures. En Angleterre, on admet qu'une moyenne de 12 fusions par semaine est un excellent résultat, car en général, il est difficile d'en faire habituellement plus de 11. La durée nécessaire pour une fusion dépend de la nature de la charge et de la qualité de l'acier voulue. Comme le chargement des fours se fait, en outre, généralement à la main, la durée de la fusion est par conséquent plus longue.

Prix de revient de l'acier M.-S. acide et basique dans les fonderies d'acier. — Dans une communication¹ faite par le professeur Bradley Houghton devant « l'American Foundrymen's Association », on a donné le prix de revient suivants de l'acier Martin-Siemens acide et basique.

TABLEAU LXXXVI

Procédé acide.

(Le prix des matières premières est basé sur le prix courant de ces matériaux, pendant la première semaine de mai 1909, à Pittsburg.)

MATIÈRES PREMIÈRES	PRIX des matières premières par 907 kg.	POIDS employé.	POURCENTAGE employé.	PRIX, four de 25 tonnes.	PRIX
	fr.	kg.		fr.	fr.
Fonte.	72,90	136	15	10,90	
Bouts, chutes, etc.	72,90	300	33	24,05	
Scraps étrangers	75,50	500	54	40,75	
Moulages défectueux	260,40	9	1	2,60	
Ferro-alliages	208,30	13	1	3,05	
Prix total du métal		958	104	81,35	81,35
Prix de fabrication avec four de 25 tonnes.				28,60	
— — avec fours plus petits					46,05
Prix total de l'acier coulé dans la poche par 907 kilogrammes.				109,95	127,40
— — — — —		1 023	—	123,30	142,80

TABLEAU LXXXVII

Procédé basique.

(Le prix des matières premières est basé sur le prix courant de ces matériaux pendant la première semaine de mai 1909 à Pittsburg.)

MATIÈRES PREMIÈRES	PRIX des matières premières par 907 kg.	POIDS employé.	POURCENTAGE employé.	PRIX, four de 25 tonnes.	PRIX
	fr.	kg.		fr.	fr.
Fonte.	66,40	471	52	34,50	
Bouts, chutes, etc.	72,90	300	33	24,05	
Scraps étrangers	58,05	159	17,5	10,15	
Moulages défectueux	260,40	18	2	5,20	
Ferro-alliages	211,45	15	1,5	3,45	
Prix total du métal		963	106,0	77,35	77,35
Prix de fabrication avec four de 25 tonnes.				31,75	
— — avec fours plus petits					49,70
Prix total de l'acier coulé dans la poche par 907 kilogrammes.				109,10	127,05
— — — — —		1 023	—	121,70	142,35

Transactions American Foundrymen's Association. vol. XXVIII, pp. 31-38.

En examinant ces prix comparatifs, on remarquera qu'il y a très peu de différence entre le prix de revient total de l'acier fabriqué par l'un ou l'autre procédé, quoique le coût de l'opération du procédé basique soit plus élevé que celui du procédé acide. Pour la comparaison, ces prix rendront plus de services que s'ils avaient été subdivisés en prix de main-d'œuvre, du combustible, des matériaux d'entretien, etc. Comme ils représentent le prix de revient de la charge indiquée, ils peuvent être considérés comme les prix exacts de l'opération dans un four Martin-Siemens ayant les dimensions indiquées.

Fours Martin-Siemens chauffés à l'huile lourde pour fonderies d'acier.

L'usage des fours Martin-Siemens, chauffés à l'huile, ne s'est guère développé que dans les régions où ce combustible est très abondant et dont l'emploi est plus économique, pour la fabrication de l'acier, que toute autre espèce de combustible. Le pétrole lampant peut être utilisé dans des fours de n'importe quelle capacité. Dans les aciéries où les fours sont alimentés par ce combustible, il est d'usage cependant d'avoir des gazogènes de réserve qui seraient utilisés, soit dans le cas où le pétrole lampant ferait défaut, soit dans le cas où son prix deviendrait tel qu'il serait plus avantageux d'utiliser le gaz des gazogènes.

Four Martin-Siemens de 450 kilogrammes, chauffé à l'huile lourde. — C'est surtout en Amérique que les fours Martin-Siemens, chauffés aux huiles lourdes, ont pris du développement. En Angleterre il n'en existe que très peu. Nous donnons ci-dessous, les détails¹ du prix de revient d'un petit four oscillant Martin-Siemens de 450 kilogrammes de capacité, du genre de celui représenté par la figure 213. Ce four n'a qu'une série de régénérateurs à air seulement. Le corps principal du four peut être scarré des carneaux, et l'acier en est coulé comme si l'on vidait une poche ordinaire de coulée.

Pour permettre l'usage intermittent du four, sans avoir à redouter ni les dilatations, ni les contractions, M. Carr, son inventeur, propose l'emploi d'un revêtement de briques réfractaires en argile, au lieu de briques en silice. Comme il n'indique pas le nombre

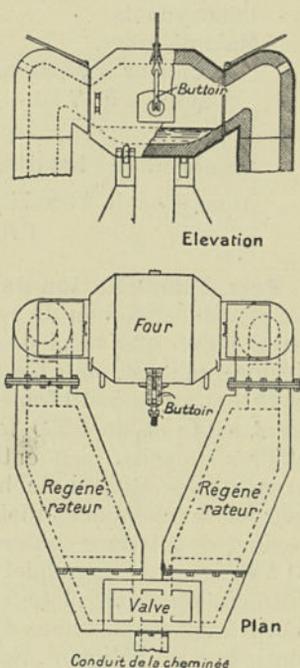


Fig. 213. — Petit four Martin-Siemens, chauffé à l'huile lourde, avec sole mobile (projet de Carr).

¹ *Iron Age*, 11 février 1909, p. 465.

de fusions que l'on peut faire avec un revêtement, il est douteux que ces briques d'argile fassent un long usage. Pour un usage intermittent, elles sont certainement supérieures aux briques de silice qui s'écornent, se fendillent et s'usent de toutes sortes de façons, quand on les emploie par intermittence. De plus, les briques d'argile sont moins coûteuses et il est probable, qu'en employant une forme de four analogue à celle représentée par la figure 213, que l'on peut séparer de ses carnaux au moyen d'une grue, le revêtement n'a pas besoin d'être fait avec une matière expansive. Nous donnons le prix de revient de l'acier fabriqué avec ce four.

Four Martin-Siemens de 450 kilogrammes. Prix de revient de l'acier.

Production : 4 fusions par jour de travail. Chaque fusion : 450 kg.	
Fonte employée	571 à 104,15 fr. la tonne = 58,55 fr.
Scraps d'acier.	1 333 à 93,75 — — = 123,00 —
	1 904
Désoxydants	11,70 —
Main-d'œuvre.	
1 fondeur à 20,80 fr. par jour.	
1 aide à 7,80 — —	
	28,60 fr.
Combustible : 400 litres à 0,15 fr. les 4,54 lit.	13,75 —
Acier produit, 1 800 kilogrammes. Perte 5 p. 100. Prix.	233,60 fr.
	Prix par tonne : 130,80 fr.

Prix d'installation des fours M.-S. chauffés à l'huile lourde. —

Le prix d'installation de ces fours, chauffés aux huiles lourdes, n'est pas aussi élevé que celui des fours M.-S. ordinaires avec gazogènes. On estime¹ qu'il est, pour les fours simples d'une capacité comprise entre 5 et 25 tonnes, de 5 000 francs par tonne de capacité pour les fours à revêtement acide et de 6 250 francs pour les fours à revêtement basique, chiffres moyens, bien entendu. Ces prix par tonne de capacité comprennent les fouilles, le briquetage, les pièces coulées et les pièces du four et la cheminée, mais non l'installation de chargement. Un four basique de 5 tonnes coûtera donc, équipé comme nous venons de le dire, 31 250 francs, prix auquel il faudra ajouter environ 20 000 francs pour l'installation de la plate-forme de chargement, des réservoirs d'huile lourde, des canalisations d'huile, des brûleurs, etc. Ce prix ne comprend pas le prix du bâtiment. Naturellement, ces prix s'appliquent à une installation faite dans des conditions normales de situation, pour tous autres cas, ils sont sujets à des variations.

Four Martin-Siemens de 15 tonnes, chauffé aux huiles lourdes.

Description du four. — La figure 214 représente une coupe en élévation et une vue en plan, d'un four chauffé aux huiles lourdes en service

¹ *The Foundry*, vol. XXX, p. 179.

dans une fonderie d'acier de Wisconsin, dans le Milwaukee, Ohio, E.-U. ¹. C'est probablement l'un des fours les plus modernes de ce type, employés

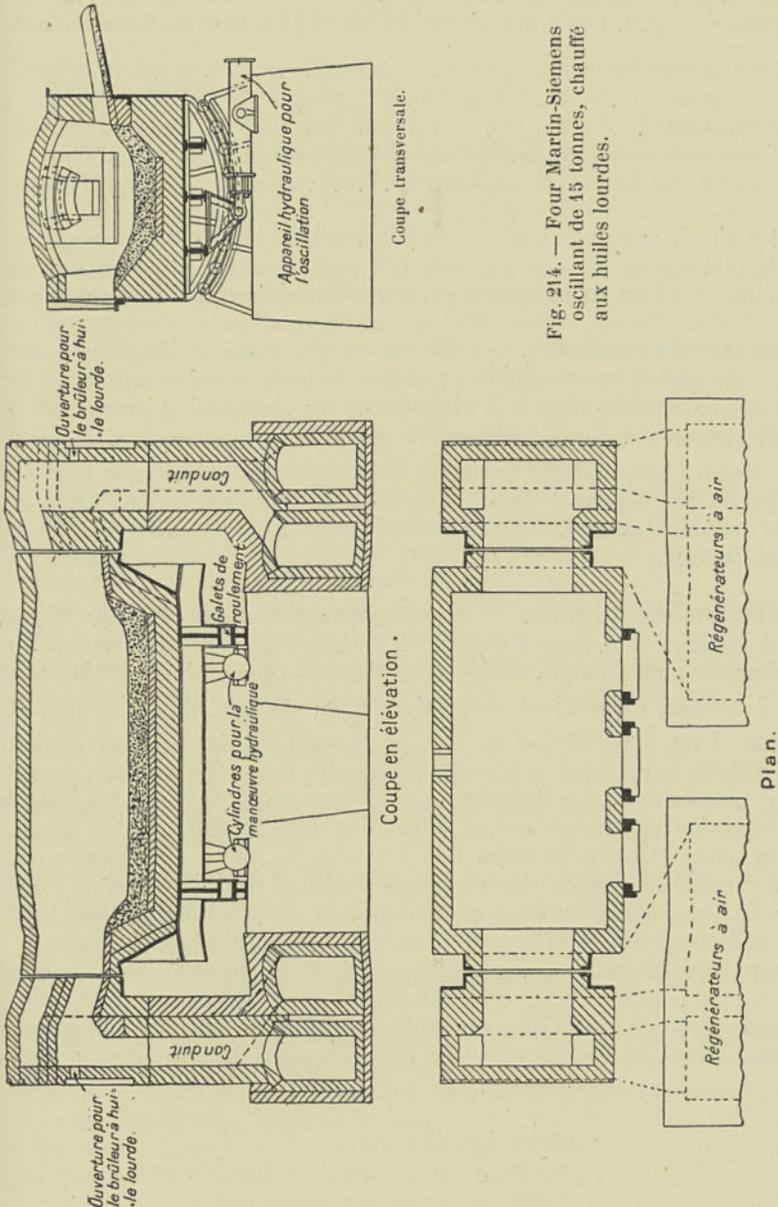


Fig. 214. — Four Martin-Siemens oscillant de 15 tonnes, chauffé aux huiles lourdes.

dans les fonderies d'acier. Il y a deux fours installés, l'un de 5 tonnes et l'autre de 15 tonnes. Ils ont été spécialement étudiés pour le travail des

¹ The Foundry, novembre 1911.

fonderies d'acier et sont construits sur le type des fours oscillants, du type Campbell, avec la même disposition des carneaux que celle employée pour les fours du plus grand modèle. Ils ont été construits d'après les brevets Swindell. Les dimensions du four de 15 tonnes sont les suivantes :

Longueur du four	11,50 m.
Largeur.	3,60 —
Hauteur.	3,00 —
Profondeur des conduits d'arrivée de l'air.	2,25 —
Longueur de la sole oscillante.	8,40 —

Il y a trois portes de 0,27 m² dont le seuil est situé à 0,67 m. au-dessus de la plate-forme de chargement. Les portes sont manœuvrées hydrauliquement et leur encadrement est refroidi par circulation d'eau.

Matériel accessoire. — Pour charger les matières premières dans le four, on emploie une machine à charger, la fonte et les scraps étant amenés depuis la porte jusqu'à la plate-forme de chargement au moyen d'un transporteur électrique mono-rail de 2 $\frac{1}{2}$ tonnes, système Pawling et Harnischfeger. Les ouvriers prennent la fonte et les scraps sur leur stock respectif, les déposent dans les bennes de chargement des wagons qui sont emmenés au four. On facilite énormément par ce procédé le chargement du four.

Rendement du four. — Il a été démontré qu'un four de 15 tonnes peut produire 100 tonnes d'acier en 24 heures, ce qui correspond à 6 ou 7 charges pour chaque équipe. Les charges plus petites de 12 tonnes et de 9 tonnes, demandent respectivement 4 heures et 3 $\frac{1}{2}$ heures. Relativement au rendement d'un four ne travaillant que de jour seulement (ce qui est la pratique la plus habituelle des fonderies d'acier), il ne peut faire au maximum que 3 charges par jour, en supposant que les matériaux de la première charge soient introduits dans le four vers 1 heure du matin pour être coulés entre 6 et 7 heures du matin. La seconde charge peut être coulée vers 1 heure de l'après-midi et la troisième vers 6 heures du soir. Pour travailler dans ces conditions, nous admettons que le métal n'a nullement besoin d'être affiné et que l'on emploie de la fonte et des scraps scrupuleusement choisis, pour arriver par simple fusion, à la qualité de l'acier voulue. Avec cette allure de marche, on ne peut faire au revêtement que de petites réparations, de sorte que l'on doit refaire plus souvent le four. Nous donnons ci-dessous la liste des matériaux composant une charge fondue en 3 $\frac{1}{2}$ heures.

1 360,500 kg.	de fonte.
4 208,480 —	de scraps de nature diverse.
36,280 —	de ferro-silicium.
58,955 —	de ferro-manganèse.
136,05 —	de minerai de fer.
136,05 —	de sable.
0,907 —	d'aluminium.

Ce mélange a donné un acier ayant la composition chimique suivante :
 C, 0,24 p. 100 ; — Si, 0,39 p. 100 ; — Mn, 0,81 p. 100 ; — P, 0,049 p. 100 ;
 S, 0,033 p. 100.

Dans le mélange ci-dessus, notons comme particularité, que la fonte et les scraps ne renfermaient pour ainsi dire pas de soufre.

Si nous supposons donc une allure de marche de 3 charges par jour, en travaillant continuellement à cette allure pendant 5 jours par semaine et que l'on ne fasse que deux charges le samedi, on peut obtenir avec un four de 15 tonnes une production hebdomadaire de 255 tonnes d'acier liquide.

Prix du four et de l'installation. — Nous n'avons pas eu en communication les détails relatifs au prix de l'installation de Milwaukee, mais si nous considérons seulement l'installation d'un four de 15 tonnes, équipé telle qu'indiqué ci-dessous, son prix approximatif sera d'environ 250 000 francs.

1. Un four oscillant de 15 tonnes, avec crémaillère hydraulique et dispositif de refroidissement par circulation d'eau froide ;
2. Brûleurs à huile lourde et réservoirs, avec les compresseurs d'air et tous les appareils de remplissage facile des réservoirs ;
3. Appareils de chargement au stock et au four ;
4. Une grue dans la halle de coulée ;
5. Les poches, wagonnets, bennes de chargement, benne de décrassage avec leurs wagonnets, ponts-bascules, etc.

En supposant un taux de 10 p. 100 pour l'amortissement et de 5 p. 100 pour l'intérêt du capital, soit en tout 15 p. 100 ; la charge annuelle d'amortissement et d'intérêt sera de 37 500 francs.

Comme le four peut fonctionner durant trois mois pour être arrêté un mois afin d'être réparé, la campagne annuelle du four est d'environ quarante semaines. La production annuelle sera donc de : $255 \times 40 = 10\,200$ tonnes. On a donc

Frais d'amortissement et d'intérêt par tonne d'acier liquide : $\frac{37\,500}{10\,200}$
 = 3,67 fr. environ.

Frais de fabrication du four.

Entretien. — Il y a toujours de petites réparations à faire pendant la marche du four, par exemple le rapiécage du fond entre deux fusions, la réparation du briquetage et du mécanisme du four et de ses accessoires, le remplacement des outils de travail. Il est établi que l'on peut faire 266 fusions avant de faire la réparation générale du four. La voûte peut supporter 800 fusions et les parois arrière 630 fusions avant d'être réparées. La dépense totale des matériaux nécessaires aux réparations et à l'entretien est approximativement de 5,60 fr. par tonne d'acier.

Combustible. — On emploie deux brûleurs à huile pour alimenter le four en combustible, sous une pression de 6 kilogrammes par centimètre

carré. La consommation d'huile est environ de 227 litres par tonne d'acier liquide. Cette huile était vendue en 1911 à Milwaukee entre 0,10 et 0,15 fr. le gallon (4,54 l.). Depuis cette époque, ce prix a été augmenté. En admettant le prix de 0,15 fr. la dépense d'huile par tonne d'acier liquide est donc de 7,80 fr.

La houille employée pour le chauffage de la chaudière produisant la vapeur destinée au compresseur d'air, aux pompes pour la circulation de l'eau froide, et enfin la houille servant au chauffage des ferro-alliages, représente une dépense de 1,70 fr. par tonne d'acier.

Main-d'œuvre. — Une équipe comprend le personnel suivant :

Un fondeur	francs. 25,00
Un premier aide	15,00
Un second aide.	8,75
Un chargeur	10,00
Un ouvrier pour la manœuvre de la grue	15,00
Deux ouvriers dans la fosse, à 8,75 chacun	17,50
Six manœuvres pour la manutention des scraps, de la fonte, du sable, du minerai, à 6,85 chacun	41,10
Quatre manœuvres pour enlever les scories et aider dans le service du four, à 6,85 chacun.	27,40
Six ouvriers la nuit pour enlever les scraps, les scories, charger le four dès le matin, à 8,75 chacun	52,50
Chimiste	22,50
Salaires totaux.	<u>234,75</u>

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier $\frac{234,75}{45} = 5,20$ environ.

La main-d'œuvre pour l'entretien et les réparations comprenant les services partiels des ouvriers aux chaudières, au compresseur d'air, au concasseur, à la réparation générale des outils, etc., est estimée être approximativement de 1,55 fr. par tonne d'acier. On a donc :

Prix total de la main-d'œuvre (service de four et entretien) : 6,75 fr. par tonne.

Matières premières. — En admettant une perte de 10 p. 100 du poids des matériaux chargés, et un prix moyen de 81,25 fr. pour la fonte et les scraps employés, le prix des matières premières par tonne d'acier liquide, y compris celui des fondants et des additions, est approximativement de 90,60 fr. On suppose que les additions sont préalablement chauffées et ajoutées dans le bain à l'état solide. Quelquefois on ajoute le ferromanganèse dans la poche de métal liquide, mais seulement quand la quantité ajoutée n'est pas très grande et que l'on peut être certain qu'elle fonde rapidement.

Dépenses générales et charges obligatoires. — Ces dépenses figurent pour une somme de 2,15 fr. par tonne d'acier, mais elle peut varier considérablement selon la disposition de l'usine et selon la direction.

Résumé des dépenses.

Par tonne d'acier liquide, pour une production de 255 tonnes d'acier par semaine, dans un four Martin-Siemens oscillant de 15 tonnes.

Prix du four et de l'installation (supposé)	250 000 francs.
Amortissements et intérêts	3,67 fr.
Entretien (matériaux seulement).	5,60 —
Combustible (huile)	7,80 —
Combustible (houille)	1,70 —
Main-d'œuvre (service du four et entretien)	6,75 —
Matières premières	90,60 —
Dépenses générales et charges obligatoires	2,15 —
Dépenses totales par tonne d'acier liquide.	<u>118,27 fr.</u>

CHAPITRE XXXV

PROCÉDÉ TALBOT CONTINU

Le procédé Talbot continu de fabrication de l'acier, fut introduit par M. Benjamin Talbot à Pencoyd, Pennsylvanie, il y a environ treize ans et en Angleterre aux aciéries de la « Frodingham Iron and Steel C^o » en 1902. Depuis cette époque, il fut appliqué dans de nombreuses usines des divers pays. Le tableau LXXXVIII (p. 476) donne la liste des fours actuellement en service ou construits, ainsi que la composition chimique de la fonte employée dans ces fours.

Le procédé Talbot est un four Martin-Siemens basique à transformation rapide, utilisant des fontes phosphoreuses liquides au lieu de fonte et de scraps solides. La première charge se compose d'une large proportion de scraps d'acier doux, ajoutés à l'état solide, et que l'on amène progressivement jusqu'à la fusion. Chaque fois que le four est vidé au bout de une ou plusieurs semaines, les charges de reprises ont une composition analogue à celle ci-dessus. Il est judicieux de ne vider complètement le four qu'aussi rarement que possible, afin d'arriver à un bon rendement et pour maintenir la température de coulée à la température uniforme nécessaire. En pratique, le four n'est jamais complètement vidé, car à la fin de la semaine de travail on y laisse toujours une certaine quantité de métal.

Les oxydes de fer à haute teneur, comme les battitures et le minerai, peuvent être employés dans ce procédé, comme dans le procédé ordinaire fonte et minerai, car l'emploi des charges de fonte liquide permet d'obtenir un meilleur rendement d'acier fini par suite de la réduction du fer de la scorie liquide. L'emploi des oxydes de fer et de la chaux, pour l'élimination des impuretés contenues dans la charge, est aussi nécessaire dans ce procédé de fabrication que dans le four Martin-Siemens basique ordinaire, car dans le four oscillant, les scories formées peuvent être enlevées toutes les fois qu'on le juge nécessaire. En pratique, on enlève une grande partie de la scorie avant la transformation complète du métal en acier, et on provoque la formation d'une nouvelle scorie par des additions convenables de chaux et d'oxydes. Cette nouvelle scorie n'est pas retirée du four quand on coule le métal car, comme elle est relativement pure, elle sert à purifier la fusion suivante. Cette utilisation d'une bonne scorie constitue l'un des avantages du procédé Talbot.

La quantité de métal versée en une seule fois dans la poche de coulée

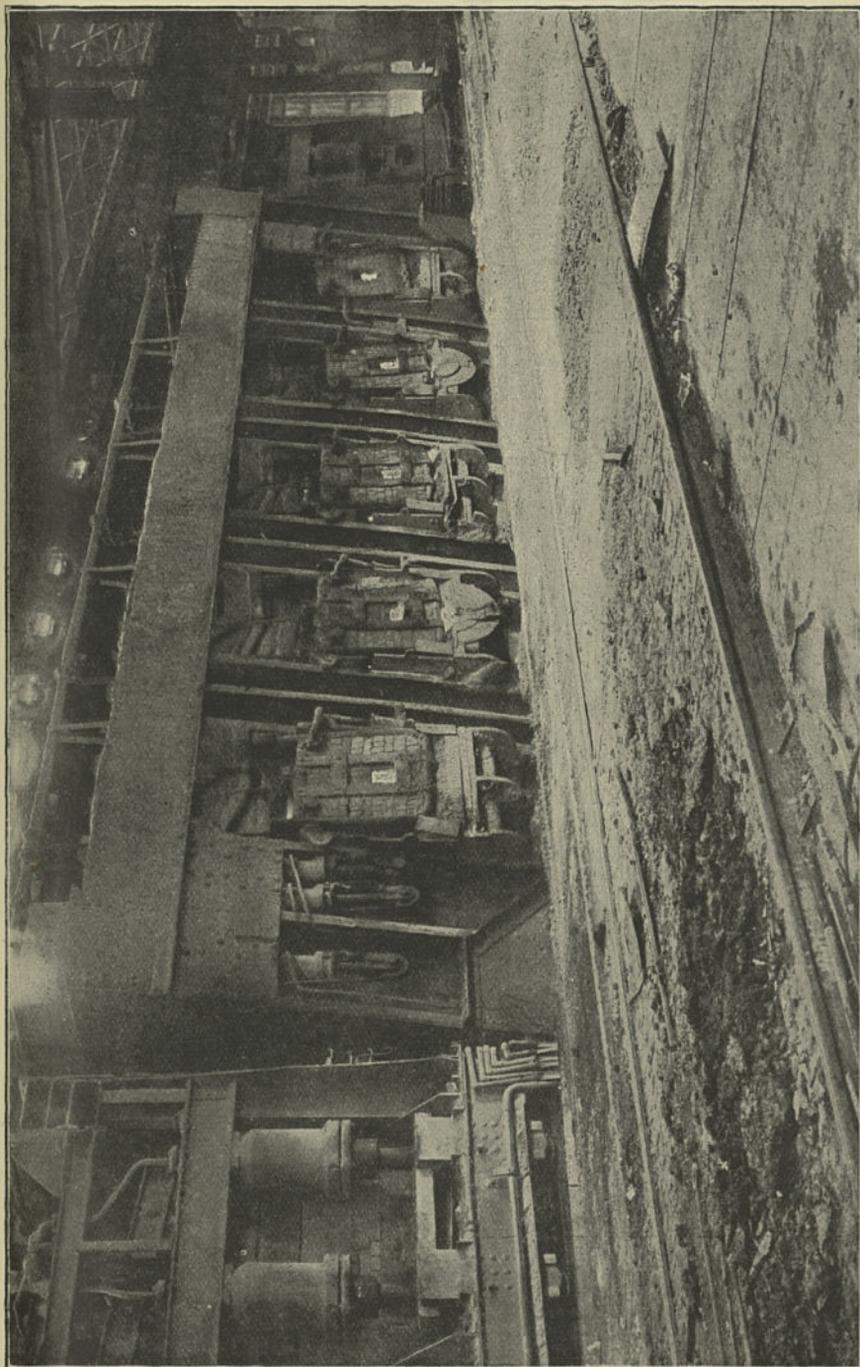


Fig. 215. — Four Talbot. Plate-forme de chargement.

TABLEAU LXXXVIII

Liste des installations Talbot.

NOMS DES USINES	NOMBRE et capacité des fours.	COMPOSITION CENTÉSIMALE DE LA FONTE					PRODUCTION du four en 24 heures.	REMARQUES
		C	Si	Mn	P	S		
Cargo Fleet Steel and Iron Works, Middlesbrough.	tonnes. { 3 de 175	—	0,8-1,25	0,8-1,0	1,3-1,5 jusqu'à 2,0	0,08-0,12	200 225 160	{ Deux mélangeurs de 150 tonnes, type convertisseur chauffé avec le gaz des fours à coke. Pas de mélangeur.
	{ 2 de 200	—	0,5-1,0	1,5	2,0	0,04-0,12		
	{ 1 de 100 { 2 de 150	—	0,5-1,0	1,5	2,0	0,04-0,12		
Frodingham Iron and Steel Works, Scunthorpe.	4 de 170	—	1,25	1,25	0,07	0,05-0,07	240	Pas de mélangeur.
Guest, Keen and Nettlefolds Ltd., Dowlais } Iron Works Cardiff	2 de 170	—	1,0	0,5	1,5-1,75	0,1	—	Un four Talbot comme mélangeur.
Palmer's Shipbuilding and Iron Co Ltd., Jarrow.	4 de 250	—	1,0-1,25	—	1,4	0,08	—	En construction.
Skinningrove Iron Co Ltd., Skinningrove } South Durham Steel and Iron Co Ltd., W. Hart- } lepool.	2 de 170	—	1,0	—	0,05	0,05	—	Chargé avec des hématites.
Jones and Laughlin Steel Co, Pittsburg (E. U.).	{ 9 de 200 { 4 de 200	—	1,0-1,1	0,6	0,5	0,1 -0,15	—	{ Mélangeur de 250 tonnes. Aux usines Aliquippa de Jones et Laughlin les fours sont alimentés par les convertisseurs.
New-York State Steel Co Buffalo (E. U.).	2 de 200	—	—	—	—	—	—	
Pencoyd Iron Works, Philadelphia (E. U.).	4 de 75	—	1,0	0,6	1,0	—	65	
Société métallurgique de Senelle-Mauberge à Senelle (France)²	1 de 175	—	0,5	1,2	2,0	0,1	165	
Witkowitz Berghau : Witkowitz (Autriche)	1 de 200	—	1,0	2,0	0,4	0,08	—	

¹ Cette usine, et une autre en Angleterre, emploie des fontes hématites dans le four Talbot. Le rendement de Cardiff est proportionnellement plus élevé (108 p. 100). La consommation de chaux n'est seulement que de 4 p. 100 par tonne d'acier, celle de minerai de 25 p. 100 et celle de ferro-manganèse, 0,5 p. 100.

² Arrêté actuellement.

varie avec les nécessités et les circonstances. Aux aciéries de MM. Jones et Laughlin à Pittsburg, on retire d'une seule fois 50 tonnes de métal d'un four de 200 tonnes et 80 tonnes d'un four de 250 tonnes. Lorsque des fours de plus petit tonnage servent à des fours électriques, on prélève de plus petites quantités de métal dans le four, comme par exemple 5 tonnes dans un four de 50 tonnes.

La facilité avec laquelle on peut conduire ce procédé, et sa grande élasticité, permettent d'envisager son immense application dans la fabrication de l'acier.

Description du four. — Le procédé Talbot peut être pratiqué dans des fours oscillants, analogues à celui représenté par la figure 215, et qui ne diffère que sur des questions de détails, des fours Campbell et Wellmann. Le corps principal du four (qui se compose d'une carcasse en fer ou en acier garnie intérieurement de matériaux réfractaires) est monté sur des rouleaux qui se meuvent sur des chemins de roulement circulaires, solidement fixés sur des fondations.

L'oscillation du four se produit sans interrompre sa communication avec les carneaux fixes. Elle est provoquée au moyen d'un moteur électrique, par des engrenages appropriés (voir fig. 216), ce qui permet de diriger la marche du four. Le four peut être actionné de deux façons, soit par la tige du piston d'un cylindre hydraulique comme cela est représenté figure 217, procédé généralement employé en Angleterre, soit, et cela est préférable, au moyen d'un moteur électrique, car on n'a pas à redouter dans ce cas, la congélation des conduites d'eau en hiver. Les portes du four sont actionnées au moyen d'un moteur électrique. Chaque porte est munie de son moteur, qui actionne au moyen d'un pignon et d'une vis sans fin, la crémaillère de la porte. On emploie également des portes à manœuvre hydraulique.

Régénérateurs. — Les régénérateurs sont placés de chaque côté du four et sous la plate-forme. Les conduits d'arrivée du gaz et de l'air des régénérateurs, aboutissent dans un carneau mobile qui les conduit au four. Il n'y a rien de particulier en ce qui concerne la construction et la disposition des régénérateurs, car les régénérateurs des fours modernes Martin-Siemens fixes sont généralement disposés de la même façon. Il y a cependant une caractéristique particulière dans les carneaux mobiles, et qui constitue un important perfectionnement relativement à ceux employés sur les anciens fours oscillants. Le joint entre le conduit d'arrivée et les carneaux mobiles est un joint hydraulique, refroidi par circulation d'eau, de sorte qu'il ne peut pas s'échapper de gaz dans un mouvement latéral du four provoqué par l'oscillation.

En ce qui concerne la dimension des régénérateurs par rapport à la capacité du four, il est établi¹ que le procédé Talbot peut être employé dans un four de 175 tonnes dont les régénérateurs, valves, cheminée, etc., auraient les mêmes dimensions que celles employées pour un four moderne Martin-Siemens fixe de 60 tonnes, et il y a même des cas où les

¹ *Iron Age*, vol. LXXVII, p. 1670.

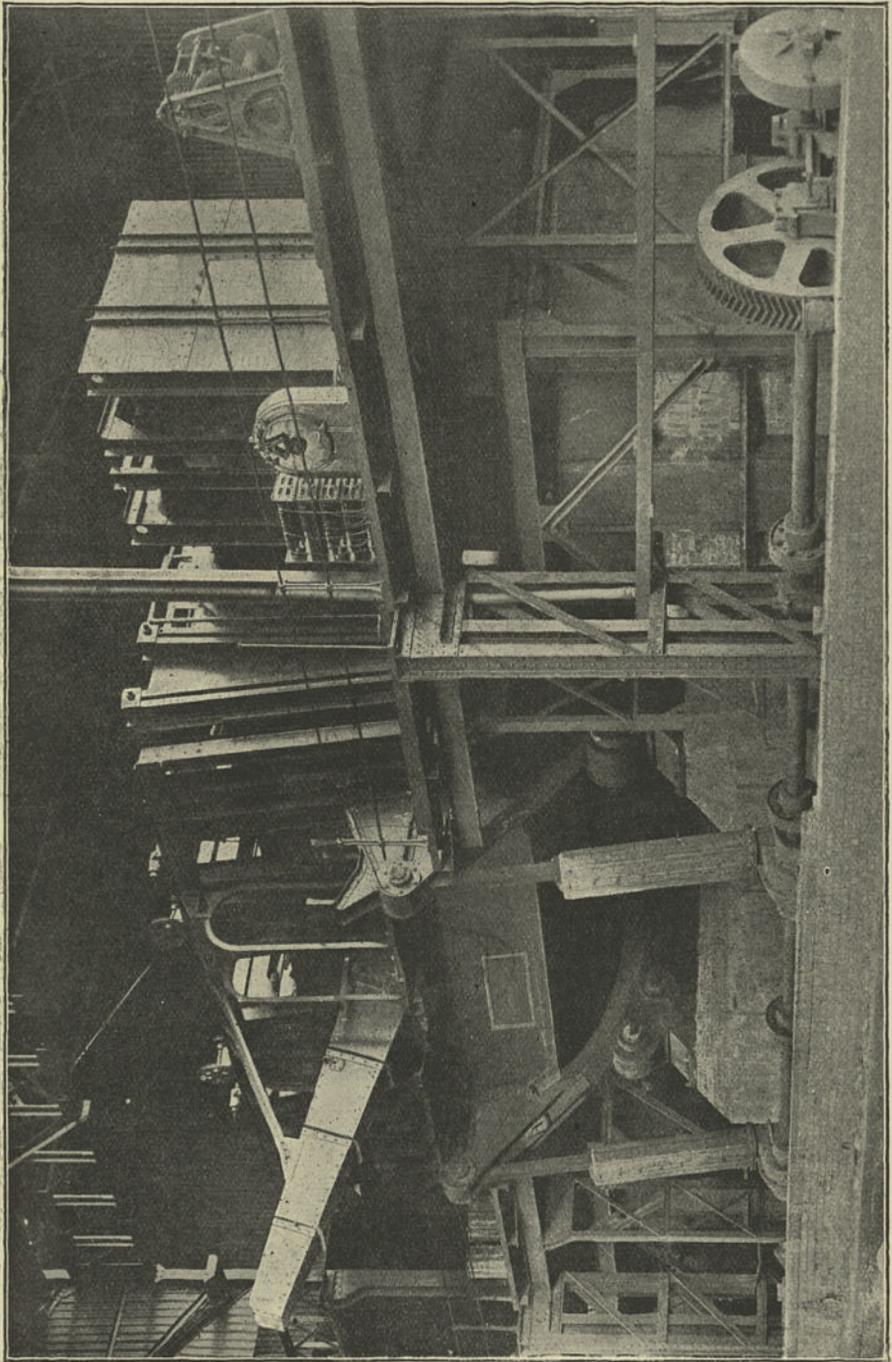


Fig. 216. — Four Wellman, actionné par un moteur électrique.

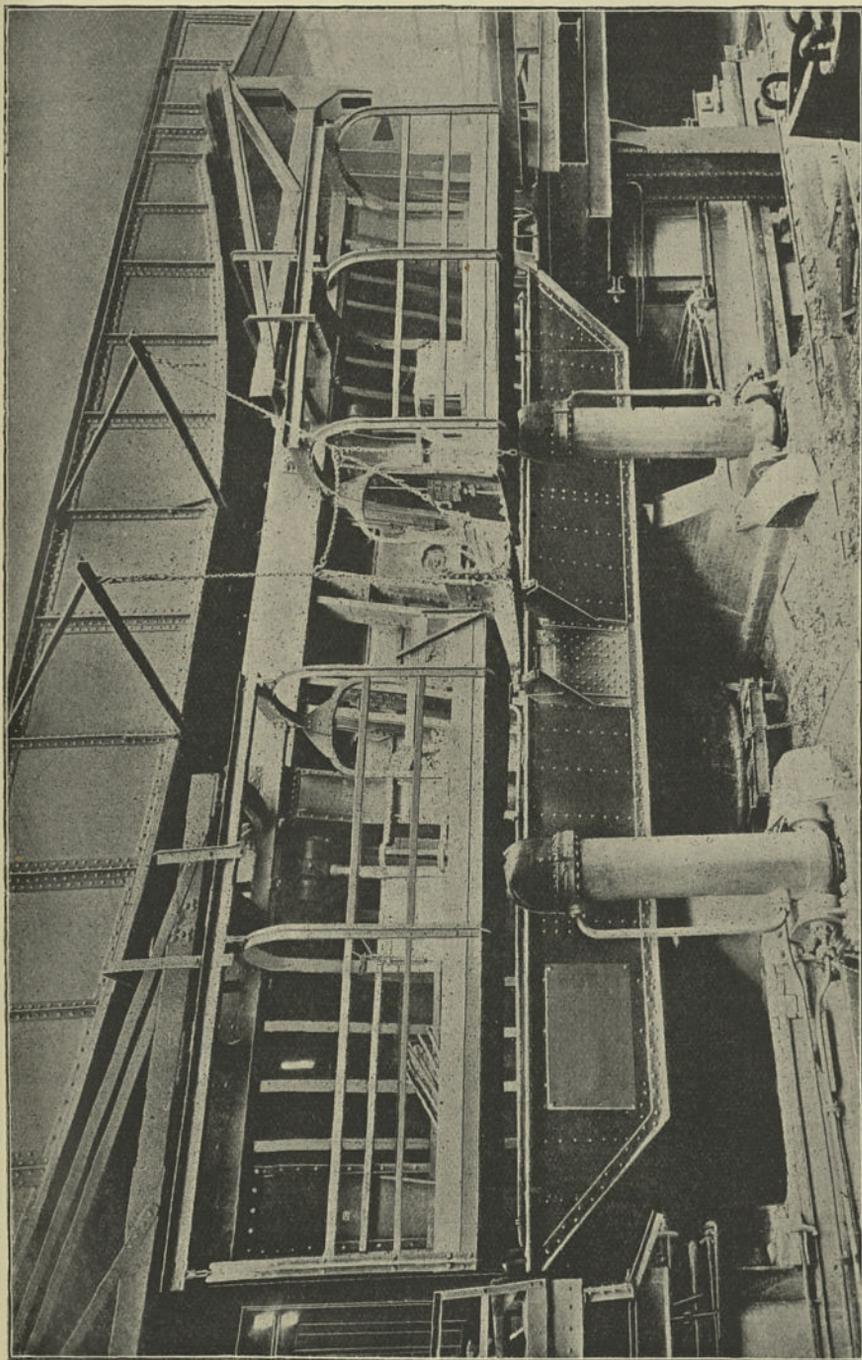


Fig. 217. — Four Wellman, actionné par les tiges de piston de cylindres hydrauliques.

régénérateurs sont encore plus petits que ceux utilisés pour les fours ci-dessus de 50 ou 60 tonnes.

Combustible employé dans les fours Talbot. — L'emploi de toute espèce de combustible, gazeux ou liquide, s'est aussi bien généralisé aux fours oscillants qu'aux fours fixes. La majeure partie des fours modernes employés aux Etats-Unis sont disposés pour employer les gaz naturels ou les huiles lourdes, en sus des gazogènes ordinaires. On a constaté que dans certaines régions, il était plus économique d'employer le gaz naturel à la place de celui des gazogènes. Les tuyaux d'arrivée du gaz naturel ou des huiles lourdes, sont placés dans les carneaux des fours, de la façon que l'expérience a montrée comme étant la plus avantageuse.

Revêtement des fours. — Le revêtement des fours Talbot ne diffère que sur des détails, de celui des fours fixes à revêtement basique. Le fond est fait avec des matériaux basiques et les côtés au-dessus du seuil des portes, ainsi que la voûte, sont en briques de silice. Toutefois, du côté où se font les coulées, il y a des briques de magnésie jusque près de la naissance de la voûte. La profondeur du bain est plus grande que celle des fours fixes ordinaires.

Marche du four. — La réussite d'une opération Talbot dépend essentiellement de la manutention des scories et du métal du four, avant les additions de fonte liquide. Lorsque d'un four de, disons 200 tonnes de capacité, on a coulé 50 tonnes d'acier pauvre en carbone, celui-ci est ramené dans sa position normale et l'on y fait, au moyen du chargeur électrique, des additions d'oxydes (tels que minerai, battitures, etc.) et de chaux, en proportions respectives s'élevant à 5 tonnes et $1\frac{1}{2}$ tonne. Ces additions sont soumises à la fusion et sont absorbées par les scories existantes. Pendant que cela se produit, on répare la ligne baignée par les scories, puis l'on verse lentement dans le four, une poche contenant 25 tonnes de fonte que l'on a été chercher directement au mélangeur au moyen d'un pont roulant électrique. Dès que le métal entre dans le bain, il se produit une réaction violente entre les impuretés de la fonte et les scories fortement oxydées. Le carbone est rapidement éliminé du métal sous forme de CO et brûle en CO², en provoquant une augmentation momentanée de la température du four.

Pendant cette période, on réduit la quantité de gaz, on l'arrête même quelquefois complètement, en ne laissant pénétrer que de l'air dans le four.

Pendant la réaction, le phosphore, le silicium et le manganèse de la fonte sont oxydés et passent dans les scories tandis que l'oxyde de fer de la scorie est réduit en fer métallique qui passe dans le bain de métal.

La même opération est renouvelée lorsque le bain de métal est redevenu calme. On ajoute des oxydes et de la chaux, puis ensuite une nouvelle charge de fonte liquide. On a constaté qu'il était préférable d'ajouter en deux fois la fonte liquide au bain, afin de modérer la violence des réactions, car la scorie pourrait s'écouler hors du four et toute perte, à ce moment de l'opération, pourrait considérablement retarder l'oxydation

des impuretés. En un mot, il est nécessaire d'obtenir une bonne réaction chaque fois que l'on ajoute de la fonte liquide dans le four, autrement la réduction du carbone ne se ferait que lentement et l'on risquerait, dans certains cas, d'avoir une opération qui ne serait guère plus rapide que si on opérât avec un four Martin-Siemens ordinaire.

Indépendant de l'utilisation de toutes les fontes liquides, le procédé Talbot se prête facilement à l'emploi des scraps et, en pratique, la question de vendre les scraps d'acier ou de les utiliser dans les fours Talbot dépend de leur valeur commerciale sur le marché.

Dimensions des soles. — Le tableau LXXXIX donne quelques dimensions des soles des fours actuellement en service.

TABLEAU LXXXIX
Dimensions des soles des fours Talbot.

FOURS	TONNAGE	LONGUEUR	LARGEUR	PROFON- DEUR	SURFACE en mètres carrés.
Cargo Fleet, Angleterre	175 à 200	11,25	4,35	0,90	48,93 m ²
Skinningrove, —	250	12,90	4,65	0,90	59,98 —
Senelle, France	160	15,25 ¹	6,90 ¹	—	105,22 —
New-York State Steel Co, E. U.	200	15,90	4,80	—	76,32 —
Jones et Laughlin, E. U.	200	12,00	4,80 ²	—	57,60 —
Frodingham, Angleterre.	100	9,60	3,75	—	36,00 —
Pencoyd, E. U.	70	9,00	2,70	—	24,30 —

1 Surpasse toutes les dimensions.

2 Sole de forme ovale, 5,25 m. au centre, 4,35 m. aux extrémités.

Enlèvement des scories. — Après la seconde réaction il est d'usage d'enlever une partie des scories, autrement elles deviendraient difficiles à manier et en s'accumulant à la surface du bain elles empêcheraient, jusqu'à un certain point, la chaleur de pénétrer jusqu'au bain métallique. Leur coulée se fait, du côté du chargement, dans des poches à scories convenablement placées sur le côté du four pour en permettre leur enlèvement facile.

Prises d'essais. — Lorsqu'il semble que le métal est presque prêt, on en prélève des échantillons que l'on analyse rapidement pour en déterminer les teneurs en carbone, soufre et phosphore. Si ces essais donnent satisfaction, on retire du four la quantité voulue de métal formant la charge de coulée.

Composition de la charge. — Une des caractéristiques du procédé Talbot, écrit M. Talbot¹, c'est qu'il permet l'emploi d'une fonte de haut fourneau à meilleur marché que celle qui peut être employée dans les fours Martin-Siemens ordinaires, car on peut y laisser une plus grande

¹ *Iron Age*, vol. LXXIX, p. 656.

quantité d'impuretés, puisque des additions de 10 p. 100 de métal impur sont absorbées par un bain de 90 p. 100 de métal pur.

Nous donnons ci-dessous les analyses de quelques fontes employées dans le four Talbot.

	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.
Jones et Laughlin ¹	1,0 à 1,25	0,65	0,1	0,06
Frodingham Iron and Steel C ^o 2.	0,75 à 1,25	2,0	1,75 à 2,0	0,06
Cargo Fleet ³	1,25	0,8	1,5	0,08 à 0,12

Certaines sortes de fonte réagissent plus violemment que d'autres quand on les verse dans le bain de métal décarburé, les bonnes fontes blanches basiques ne donnent pas une réaction aussi violente que les fontes riches en silicium ou que les fontes très grises.

Rapidité de l'oxydation des impuretés pendant les réactions.

— Celle-ci est mise nettement en évidence, par les détails des charges nos 12 677 et 12 697 faites dans le four Talbot de 200 tonnes, des aciéries de MM. Jones et Laughlin⁴. Si nous ne considérons qu'une seule réaction, dans la charge 12 677, la quantité de carbone dégagée est très bien représentée. Dans le four contenant 146 280 kilogrammes de métal, on ajoutait 4 898 kilogrammes de battitures à 11,13 h. du matin, et 1 462 kilogrammes de chaux à 11,34 h. A 12,5 h. le bain avait la composition chimique suivante; Carbone 0,06 p. 100; Phosphore 0,009 p. 100. Cinq minutes après, on versait dans le four 20 861 kilogrammes de fonte liquide ce qui élevait à 0,55 la teneur en carbone de la totalité du bain. Le métal ajouté avait la composition chimique suivante: Carbone 4,0 p. 100; Silicium 0,9 p. 100; Phosphore 0,10 p. 100; Soufre 0,06 p. 100. A 12,17 h., c'est-à-dire 7 minutes après l'introduction de la fonte, la teneur en carbone de la totalité du bain était réduite à 0,44 p. 100. Autrement dit, 181,40 kg. de carbone avaient été transformés, en 7 minutes, en gaz combustibles avec un dégagement de chaleur considérable.

Pendant cette période, le métal du bain était dans un état d'ébullition violent, puis se calmait petit à petit au fur et à mesure que l'oxydation du carbone et des autres éléments se faisait plus lentement. On ajoutait alors une nouvelle quantité d'oxydes et de chaux, puis on versait encore 20 588 kilogrammes de fonte liquide. Les mêmes phénomènes que ci-dessus recommençaient, mais avec moins de violence. Finalement, à 15,5 h., le métal que l'on coulait du four avait la composition chimique suivante: Carbone, 0,26 p. 100; Phosphore, 0,023 p. 100. L'opération totale a donc duré 3 heures 57 minutes depuis le commencement du chargement jusqu'au moment de la coulée du métal.

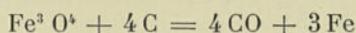
¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 59.

² *Ibid.*, p. 63.

³ *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. XIII, pp. 75-82.

⁴ *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, pp. 72-73.

Réduction du fer de la scorie. — Pendant l'élimination du carbone selon la réaction représentée par la formule



l'oxyde de fer de la scorie est réduit et le métal vient s'ajouter à celui du bain. C'est un des points caractéristiques de ce procédé. Si nous nous reportons à la charge n° 12 677 mentionnée ci-dessus, l'analyse de la scorie à 12,15 h. donnait 31,74 p. 100 de fer et 12,20 p. 100 de silice; — à 15,5 h., — immédiatement avant la coulée du métal, — la scorie contenait 9,06 p. 100 de fer, 24,4 p. 100 de silice et 40,90 p. 100 de chaux. Il n'est pas indiqué combien on retire de scorie pendant l'opération, mais quelle que soit cette quantité elle est plus riche en fer que celle restant dans le bain, de sorte que le passage du fer de la scorie dans le bain n'est pas réellement représenté par les analyses indiquées.

D'après les résultats les plus récents, on retire habituellement de 107 à 108 p. 100 du métal chargé ce qui indique le gain de fer provenant de l'oxyde des scories. Les scories retirées contiennent de 9 à 12 p. 100 de fer sous forme d'oxyde ferreux. Cette scorie ne contient pratiquement pas de fer métallique.

Changements chimiques se produisant dans la charge. — Nous donnons tableau XC¹, la liste détaillée des matériaux composant une charge, la durée d'une opération, ainsi que la composition analytique du métal et des scories prélevés à intervalles déterminés pendant l'opération; de façon à mettre nettement en évidence, non seulement la rapidité du procédé, mais encore les changements chimiques auxquels il donne lieu.

Procédé Talbot. Prix de revient de l'acier coulé en poches.

Rendement du four. — Avec un four de 200 tonnes, convenablement équipé, on peut arriver à une production hebdomadaire moyenne de 1 200 à 1 400 tonnes d'acier et cela pendant 45 semaines de l'année. Si on emploie des fontes non phosphoreuses, cette production peut s'élever à 1 300 ou 1 500 tonnes. Quoiqu'avec un four de cette capacité on puisse produire de 1 200 à 1 500 tonnes d'acier par semaine, nous prendrons le tonnage minimum pour le calcul de notre prix de revient, de sorte qu'en nous basant sur ce chiffre nous arrivons à une production annuelle de $1\ 200 \times 45 = 54\ 000$ tonnes d'acier.

Prix du four et de ses accessoires. — En ce qui concerne le prix du four et de son équipement pour travailler suivant le procédé Talbot, M. Talbot² affirme que le montant du capital par tonne de capacité de son four diminue avec l'importance du tonnage et que, dans tous les cas, il ne peut être supérieur à celui nécessité pour une installation américaine moderne d'un four Martin-Siemens fixe de 50 tonnes. Comme il faudrait

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXX, p. 61.

² *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. XIII, pp. 90-98.

TABLEAU XC
 Changements chimiques dans la charge C, Cargo Fleet, 16 novembre 1909.

DURÉE DE L'OPÉRATION	COMPOSITION CHIMIQUE du métal.						COMPOSITION CHIMIQUE des scories.				CHARGE ET COMPLÉMENTS.	REMARQUES
	C	Si	Mn	P	S	SiO ₂	FeO	MnO				
11,50 h. ¹	0,46	—	0,019	0,046	0,048	—	—	—	—	—	—	120 tonnes environ de métal dans le four.
12,00	—	—	—	—	—	9,20	15,45	5,58	—	—	—	Réparation des parois du four. On retire 8 tonnes de scories.
12,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,30	3,63	1,39	0,77	1,66	0,044	—	—	—	—	—	—	—
12,55	0,40	—	—	0,058	0,037	9,00	20,57	4,83	—	—	—	—
13,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,30	—	0,93	—	1,56	0,067	—	—	—	—	—	—	—
14,20	—	0,65	—	1,6	0,086	—	—	—	—	—	—	—
14,25	0,65	—	—	0,088	0,048	11,20	14,77	2,60	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14,40	0,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14,45	—	—	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—	—
15,15	0,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15,40	0,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15,55	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16,20 ²	0,21	0,036	—	0,041	0,052	13,2	13,24	6,32	—	—	—	—

¹ Heure du départ, commencement de l'opération.
² Fin de l'opération.

On coule 54 tonnes d'acier environ dans la poche auxquelles on ajoute 430 kg. de ferro-manganèse à 80 % ; — 51 kg. de ferro-silicium à 50 % et de l'anhracite.

Temps écoulé entre les 2 coulées ; 4,30 h.
 Composition de l'acier final :
 C 0,43 %
 Mn 0,68 %
 P 0,033 %
 S 0,04 %

Addition de 860 kg. de chaux.

Addition de 1020 kg. de minerai rouge et 4270 kg. de chaux.
 Addition de 1020 kg. de minerai de Gellivara et 860 kg. de chaux.

Addition de 8130 kg. de fonte.

Addition de 22350 kg. de fonte.

Addition de 4570 kg. de minerai de Gellivara et 3130 kg. de chaux.

Addition de 22350 kg. de fonte.

Addition de 22350 kg. de fonte.

4570 kg. de minerai de Gellivara et 2330 kg. de chaux ajoutés.

—

—

—

deux fours fixes de 50 tonnes, dont le coût d'installation serait de 1 192 500 francs (v. chap. xxxiii, p. 448), pour produire 1 200 tonnes d'acier par semaine, le prix d'un four Talbot tout équipé serait, selon l'estimation de M. Talbot, approximativement de 1 192 500 francs¹. Bien entendu, ce chiffre est sujet à des modifications basées sur les conditions de situation, mais il peut être pris comme base de calcul.

En admettant 10 p. 100 d'amortissement et 5 p. 100 d'intérêt du capital, la charge annuelle, soit 15 p. 100, sera de 178 875 francs, d'où on a :

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier liquide

$$= \frac{178\ 875}{54\ 000} = 3,31 \text{ fr.}$$

Frais d'entretien. — Les frais d'entretien d'un four Talbot ne peuvent être donnés qu'approximativement, car ils varient avec le genre de travail du four.

Depuis que M. Martin a donné le prix de 5,83 fr. par tonne d'acier², on a acquis beaucoup d'expérience dans la conduite des fours, car on peut fabriquer dans un four Talbot de 200 tonnes, 43 000 tonnes d'acier avant de le réparer. La rapidité avec laquelle on effectue ces réparations, contraste fort avec les méthodes lentes encore en vigueur il y a quelques années. Si, par exemple, la voûte du four vient à tomber alors qu'il est rempli de métal, on laisse le tout se refroidir (métal y compris), puis une équipe de 30 à 40 maçons attaquent le four, démolissent ce qu'il a à refaire, puis refont à neuf, et cela en quelques jours. On rallume alors le four, on le chauffe progressivement, puis on coule le métal qui s'était solidifié.

On estime que les frais approximatifs d'entretien sont de 2,50 fr. par tonne d'acier.

Prix du combustible. — M. G. A. Wilson a établi³ que l'on ne consomme pas plus de 250 kilogrammes à 300 kilogrammes de houille par tonne d'acier aux aciéries de Cargo Fleet, qui emploient un four Talbot de 175 tonnes. Le gaz est fabriqué dans des gazogènes Talbot. Les chiffres récemment obtenus en Amérique, sur la consommation de houille dans le procédé Talbot, accusent une consommation de 200 à 225 kilogrammes de houille par tonne d'acier, en fabriquant le gaz dans des gazogènes Hughes.

En supposant que le prix de la houille soit de 12,50 fr. la tonne (quoique dans certaines régions elle puisse être vendue 2 ou 3 francs meilleur marché), la dépense de combustible par tonne d'acier sera approximativement de 2,80 fr. On emploie évidemment les huiles lourdes ou le gaz naturel, lorsque ces combustibles peuvent être obtenus à un prix plus avantageux que la houille.

Prix de la main-d'œuvre. — Lorsque l'on dispose d'une installation parfaitement organisée pour la manutention des matières premières,

¹ Ce prix ne comprend pas celui du mélangeur.

² *Journal Iron and Steel Institute*, 1903, I, p. 75.

³ *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. XIII, pp. 75-82.

le service d'un four Talbot de 200 tonnes n'exige pas plus d'ouvriers que celui d'un four Martin-Siemens fixe de 50 à 60 tonnes travaillant avec des charges en partie liquides. Or, comme le rendement du four Talbot est considérablement plus fort que celui du four Martin-Siemens, il s'en suit que le prix de la main-d'œuvre est beaucoup moins élevé. Nous donnons ci-dessous, avec leurs salaires payés en Amérique, la composition des deux équipes d'ouvriers attachés au service d'un four Talbot.

2 opérateurs à 25 francs chacun par jour.	50	fr.
2 opérateurs en second à 17,50 fr. chacun par jour.	35	—
4 opérateurs en troisième à 11,25 fr. chacun par jour.	45	—
2 machinistes à la machine à charger à 12,50 fr. par jour chacun	25	—
4 aides à 7,50 fr. par jour chacun	30	—
4 ouvriers pour la coulée, à 15 francs chacun.	60	—
4 ouvriers pour la manœuvre de la grue, à 15 francs chacun	60	—
2 ouvriers gaziers à 10 francs par jour.	20	—
8 manœuvres (manutention de la houille et des cendres) à 7,50 fr. chacun.	60	—
2 mécaniciens pour la locomotive des poches (conduite du métal des mélangeurs) à 10 francs chacun	20	—
2 ouvriers au mélangeur, à 17,50 fr. chacun	35	—
4 aides à 9,35 fr. chacun, par jour.	37,40	—
2 ouvriers chargés de la coulée, à 15 francs chacun par jour.	30,00	—
2 ouvriers chargés du service de la poche, à 10 francs chacun	20,00	—
12 manœuvres (manutention des scraps, du minerai, du calcaire, etc.) à 6,85 fr.	82,20	—
2 mécaniciens pour la locomotive enlevant les scories, à 10 francs chacun.	20,00	—
8 aides à 6,85 fr. chacun par jour	54,80	—
2 chimistes à 25 francs par jour chacun	50,00	—
Salaires totaux pour les 2 équipes de jour et de nuit.	734,40	fr.

Prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier

$$= \frac{734,40 \times 6}{1200} = 3,60 \text{ fr. environ.}$$

Il y a d'autres dépenses de main-d'œuvre comme, par exemple, les électriciens, les chauffeurs des chaudières, les peseurs aux ponts-bascules, les magasiniers, etc., qui ne sont pas compris dans le prix ci-dessus, de sorte qu'en forçant un peu ce chiffre, nous arrivons au prix de 3,75 fr. par tonne d'acier.

Prix des matières premières. — Nous donnons ci-dessous le prix par tonne des matériaux chargés dans le four.

Fonte à	62,50 fr. la tonne.
Battitures et minerai de fer à	25,00 — —
Chaux à	12,50 — —
Ferro-manganèse à	250,00 — —

Pour produire 100 tonnes d'acier, il faut employer les quantités suivantes de ces matériaux :

95 tonnes de fonte à 62,50 fr.	5 937,50 fr.
25 — de battitures à 25 francs	625,00 —
6 — de chaux à 12,50 fr.	75,00 —
$\frac{1}{2}$ — de ferro-manganèse à 250 francs	125,00 —
Prix des matières premières	<u>6 762,50 fr.</u>

Prix des matières premières par tonne d'acier = 67,62 fr. environ.

Ce prix ne comprend ni l'aluminium ou ferro-silicium ajouté au métal, pas plus qu'il ne tient compte de la valeur des scories vendues à l'agriculture et qui viendrait en déduction de ce prix.

Résumé des dépenses.

Par tonne d'acier liquide, fabriqué dans un four oscillant de 200 tonnes, travaillant d'après le procédé Talbot.

Prix du four = 1 192 500 francs.

Amortissements et intérêts	3,31 fr.
Entretien	2,50 —
Combustible	2,80 —
Main-d'œuvre	3,75 —
Direction	1,85 —
Matières premières	<u>67,62 —</u>
Dépense totale par tonne d'acier liquide.	81,83 fr.

Ce prix de revient est excessivement bas si on le compare à celui des autres fours à grande production¹.

¹ Lire dans « Engineering » 15 mai 1914, une étude très complète de M. Friedrich Schuster, de Witkowitz, sur « *Le Procédé Talbot comparé aux autres procédés d'affinage sur sole* ». Le procédé Talbot affirme sa supériorité sur tous les autres, il est réellement le procédé de l'avenir (Note du traducteur).

CHAPITRE XXXVI

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. ANALYSES ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

Les matériaux employés dans le four Martin-Siemens sont la fonte, les scraps de fonte, les scraps d'acier, le minerai, les battitures, la chaux, le calcaire, le spath-fluor et autres fondants, le spiegel et autres ferro-alliages. On emploie la fonte soit à l'état solide, soit à l'état liquide, mais les scraps de fonte et d'acier sont toujours ajoutés à l'état solide. La proportion de fonte, par rapport aux scraps, varie avec la méthode de fusion et d'affinage employée. La quantité de minerai et de battitures dépend de l'oxydation nécessaire. Les fondants tels que le calcaire, la chaux, le spath-fluor, les scories métallifères sont employés pour nettoyer le métal et la quantité employée dépend naturellement de l'importance de cette opération. Cette élimination des impuretés se fait à peu près de la même façon, que l'on travaille suivant le procédé acide ou le procédé basique.

Les analyses des fontes et des scraps sont surtout faites en vue de déterminer la nature du revêtement à donner au four, car les fontes et les scraps phosphoreux ne peuvent être fondus que sur une sole basique. Les scraps d'acier ou la fonte ne peuvent être employés seuls, car ils ne renferment pas suffisamment d'éléments pour provoquer l'oxydation sous l'action du gaz du four.

Fontes. — Au Chapitre relatif aux fontes, page 18, Tableau X, nous avons donné la composition chimique des fontes types pouvant être employées dans le procédé Martin-Siemens acide. On remarquera que la plupart des fontes peuvent être utilisées. Il est cependant indispensable de n'employer que des fontes ne contenant qu'une faible quantité de soufre et de phosphore, car quoique l'élimination de ces éléments dans le procédé acide soit possible, il n'en est pas moins difficile. Dans les fontes indiquées sur le Tableau X, le phosphore et le soufre varient respectivement de 0,02 à 0,06 et 0,013 à 0,05, mais on emploie quelquefois des fontes contenant une plus forte proportion de ces éléments, et dans ce cas, il est d'usage de les mélanger à des fontes moins riches et de s'assurer, en même temps, que les quantités de soufre et de phosphore contenues dans les scraps le sont dans des limites raisonnables.

En ce qui concerne les fontes employées dans le procédé basique, les

teneurs en silicium et en soufre (particulièrement ce dernier) doivent être aussi faibles que possible. Dans la liste des fontes données par le Tableau IX, page 17, on trouvera une série d'analyses types complètes, quoique les analyses de fontes basiques, employées dans le procédé Martin-Siemens basique, soient peut-être plus variées que celles de toutes les autres catégories de fonte.

Scraps. — Dans le procédé Martin-Siemens on emploie toutes sortes de scraps d'acier et de fonte de sorte que la vente, en paquets pressés ou comprimés, des déchets de tôle, de feuillards, des copeaux et des tournures et autres débris d'acier, pour être refondus dans le four Martin-Siemens, fait l'objet d'un commerce très important. C'est en employant des débris divers de ce genre, qu'il se produit des accidents de fabrication provenant de la présence, dans ceux-ci, de débris de tôle recouverts d'étain ou de cuivre. Lorsque les marchands de scraps ne mettaient pas encore ceux-ci en paquets pressés et comprimés, il était possible de faire un triage consciencieux et de rejeter tout ce qui pouvait être nuisible, ce qu'il n'est pas possible de faire maintenant. On emploie encore beaucoup des scraps légers, non empaquetés, tels que des chutes de plaques de fonte ou d'acier, des chutes faites à l'emporte-pièce, etc., bref des scraps de toutes sortes, parfois très sales et contenant des matériaux nuisibles.

Les scraps plus lourds, tels que les bouts de billettes, les vieux rails, les débris de moulages, les scraps de fonderie, les vieux moulages en acier divers, les débris de moules à lingots, etc., trouvent leur emploi au four Martin-Siemens. En général, on n'achète que des scraps de dimensions moyennes, car les plus gros sont destinés aux fours à voûte mobile d'autant plus que ce genre de scraps ne convient pas pour les fusions rapides.

Proportion de fonte et de scraps d'acier. — Les proportions respectives de fonte et de scraps d'acier que l'on peut mettre dans un four Martin-Siemens ne sont pas réglementées. Elles ne sont guère basées que sur les prix locaux de l'un et de l'autre et par le mélange que l'on fond habituellement, c'est-à-dire si la charge se compose presque entièrement de fonte et de scraps ou si, dans la charge, la fonte et le minerai sont en excès par rapport aux scraps. Dans les régions où les scraps coûtent meilleur marché que la fonte, on les emploie en plus grande quantité. Les prix des scraps sont soumis à des fluctuations considérables. En ce qui concerne le procédé fonte et scraps, dans le four Martin-Siemens basique, Carl Dichmann¹ a établi que dans le véritable procédé fonte et scraps il s'est efforcé de régler la quantité des agents réducteurs ajoutés dans la charge sous forme de fonte, dans de telles conditions, qu'ils contrebalançaient exactement l'action oxydante des flammes et qu'il n'était pas nécessaire d'ajouter de grandes quantités de minerai. Si cela est exact, les conditions de la meilleure méthode de travail sont donc connues.

Ce principe était le point caractéristique du procédé Martin qui, comme on le sait, consiste à ajouter des scraps d'acier dans la fonte liquide

¹ Dichmann. « *The Basic Open-hearth Steel Process* », p. 248.

Nos	USAGES AUXQUELS ON DESTINE L'ACIER	ACIER acide ou basique.	COMPOSITION			
			C	Si	Mn	P
			p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
1	Rails de chemins de fer	A. ou B.	0,35-0,50	0,1 max.	0,7-1,0	0,075 max.
2	— — —	»	0,35-0,50	0,1 max.	0,7-1,0	0,07 max.
3	— — —	»	0,46-0,75	0,2 max.	0,6-0,9	0,04 max.
4	— — —	»	0,7-0,8	0,05-0,2	0,8 max.	0,03 max.
5	Rails de chemins de fer (procédé Sandberg)	—	0,65 min.	0,2 -0,4	0,9 max.	0,06 max.
6	Rails de chemins de fer (acier au manganèse)	—	1,0 min.	—	11,0-14,0	0,1 max.
7	Rails de chemins de fer (acier au titane)	—	0,75-0,9	—	—	—
8	Rails de tramways	—	0,4 -0,55	0,1 max.	0,7-1,0	0,08 max.
9	Essieu coudé des locomotives	Acide.	0,25-0,32	0,2 max.	1,0 max.	0,035 max.
10	Arbres et essieu	—	0,6 max.	—	0,4-0,8	0,05 max.
11	Bandages de chemins de fer	—	0,56-0,60	0,2	0,75	0,028
12	— — —	—	0,6 -0,7	0,25 max.	0,7	0,05 max.
13	— de tramways	—	0,65-0,75	0,2	0,9 -1,10	—
14	Roues de wagons, acier au carbone forgé ou laminé	—	0,6 -0,8	0,15-0,35	0,55-0,8	0,05 max.
15	Roues de wagons, acier au carbone forgé ou laminé	Basique.	0,65-0,85	0,1 -0,3	0,55-0,8	0,05 max.
16	Attelages de wagons	Acide.	0,15-0,25	0,08 max.	0,50-1,0	0,08 max.
17	Barres pour : ressorts laminés	—	0,45-0,7	0,10 max.	1,0 max.	0,06 max.
18	Volutes ou spirales	—	0,7 -1,10	»	»	»
19	Ressorts laminés	—	0,55-0,8	0,12	0,8 max.	0,035 max.
20	Volutes et spirales	»	0,8 -1,3	»	»	»
21	Ressorts en acier (très siliceux)	—	0,7	1,127	0,325	—
22	Acier pour la construction	Basique.	0,25	0,02	0,5	0,04
23	Haubans pour ponts ¹ (acier ou nickel pour la construction)	—	0,25	0,12	0,32	0,02
24	Rivets	A. ou B.	0,3 max.	—	0,6 max.	{ acide 0,04 max. basique 0,03 max.
25	Tôles	»	0,45 max.	—	0,7 max.	{ acide 0,05 max. basique 0,04 max.
26	Barres et cylindres de laminoir (non recuit)	»	»	—	»	»
27	Barres et essieu de poulie	»	»	—	»	»
28	Tiges de piston et bielles	—	0,26-0,34	0,15 max.	0,6 -0,8	0,05 max.
29	Arbres en acier (gras)	Acide.	0,3	0,1	0,65-0,70	0,028
30	Tube à canon	»	0,3	0,1	0,5 -0,8	0,03
31	Tube en acier	Basique.	0,1 -0,16	0,004-0,012	0,43-0,46	0,012
32	Billettes pour câbles métalliques	»	0,65-0,75	—	—	0,025
33	Boîtes à feu en acier pour chaudières	A. ou B.	0,12-0,25	—	0,3-0,5	{ acide 0,04 max. basique 0,03 max.
34	Barres pour tôles	Basique.	0,12	0,037	0,442	0,047
35	Acier à estamper ²	»	0,1	—	0,33	0,007

5, *Journal Iron and Steel Institute*, 1910, II, p. 518; — 6, *Electric Railway Journal*, vol. XLIV, 1904, I, p. 67; — 29 et 30, *Journal Iron and Steel Institute*, 1904, I, pp.

¹ Barres trempées et recuites.

mécaniques des aciers.

S	Divers.	ESSAIS MÉCANIQUES				REMARQUES
		Tenacité. Tonnes par pouce carré.	Limite d'élasticité. Tonnes par pouce carré.	Allongement. p. 100.	Com- pression. p. 100.	
0,08 max.	—	38-45	—	15 sur 50 ^{mm}	—	Spécification de la Commission de Réception des Matériaux (1904).
0,07 max.	—	40-48	—	15 sur 50 ^{mm}	—	Idem.
—	—	—	—	—	—	Société Américaine d'Essais des Matériaux (1909).
—	—	—	—	—	—	Spécification de la Pennsylvania Railway (1908).
0,07 max.	—	—	—	—	—	Rails employés par l'Underground Railway London.
—	—	—	—	—	—	Interborough Rapid Transit C ^o New-York.
—	0,01 Ti	—	—	—	—	Spécification de la Commission de Réception des Matériaux (1903).
0,08 max.	—	40 min.	—	12 sur 50 ^{mm}	—	Idem.
0,035 max.	As 0,02 max.	28-32	50% de tens.	25 sur 75 ^{mm}	35	Spécific. de l'Indian State Railways.
0,05 max.	—	38	22	22 sur 50 ^{mm}	45	Société Américaine pour l'Essai des Matériaux.
0,03	—	50-55	—	14-18 sur 50 ^{mm}	20	Essais sur les Aciers Vickers.
—	—	—	—	—	—	Pratique américaine.
—	—	54	—	8 sur 50 ^{mm}	—	—
0,05 max.	—	—	—	—	—	Société Américaine pour l'Essai des Matériaux (1912).
0,05 max.	—	—	—	—	—	Idem.
0,08 max.	—	—	—	—	—	Spéc. de la Great Western Railway.
0,06 max.	—	45-50	—	—	—	Idem.
»	—	—	—	—	—	Idem.
0,035 max.	As 0,02 max.	—	—	—	—	Spécification des Chemins de fer de l'Etat Indien.
»	»	—	—	—	—	Idem.
»	»	—	—	—	—	Idem.
0,04	—	30	—	23 sur 200 ^{mm}	—	Pratique anglaise.
0,035	{ Ni 1,45 Cr 1,2 V 0,17 }	43,2	36,2	29,15 sur 300 ^{mm}	52,1	Pratique américaine.
0,04 max.	Ni 3.25 max.	31,2-35,7	20,1 min.	—	40 min.	Société Américaine pour l'Essai des Matériaux (1912).
»	»	39 -44,6	22,3 min.	—	25 min.	Idem.
»	»	42,4-49,1	24,5 min.	—	»	Idem.
»	»	40,2-47	23,2 min.	—	35 min.	Idem.
0,05 max.	(As 0,05 max.) (Cu 0,10 max.)	—	—	—	—	Spécification de l'Amirauté anglaise.
0,026	—	31	15,8	30 sur 50 ^{mm}	40,44	Essais sur les Aciers Vickers.
0,03	—	40	24	20 sur 50 ^{mm}	—	Idem.
0,02	—	—	—	—	—	Essais sur les Aciers Stewarts et Lloyd.
0,025	—	—	—	—	—	Pratique galloise.
0,04 max.	Cu 0,05 max.	23,2-27,7	0,5 de tens.	—	—	Société Américaine pour l'Essai des Matériaux (1911).
0,017	—	—	—	—	—	Pratique galloise.
0,019	Ti 0,21	20	16,5	40 sur 200 ^{mm}	56,4	Pratique américaine.

p. 82; — 7, *Journal Iron and Steel Institute*, 1911, I, p. 653; — 11, *Journal Iron and Steel Institute*, et 69; — 31, *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. II, p. 58.

* Recuit doux complet avant l'essai.

contenue dans le four, jusqu'à ce que les éléments fournis produisent l'acier voulu par oxydation partielle des impuretés du métal combiné.

Les charges composées de fontes et de scraps, pour remplir complètement les conditions ci-dessus, doivent être faites de matériaux convenablement choisis, mais le temps nécessaire pour chaque fusion est considérablement réduit et les résultats sont excellents pour la plupart de toutes les sortes d'acier. En Angleterre et en Amérique, on emploie beaucoup plus de charges composées de fonte, de minerai et de scraps que de charges uniquement composées de fonte et de scraps d'acier. Les proportions le plus généralement employées dans le procédé fonte, scraps et minerai, sont de 25 à 35 p. 100 de fonte et 75 à 85 p. 100 de scraps d'acier, plus la quantité rigoureusement nécessaire de minerai ou de battitures pour produire l'oxydation voulue.

Emplois de l'acier Martin-Siemens. — A l'exception de l'acier dont la fabrication est uniquement réservée au four à creusets et peut-être aux convertisseurs Bessemer, soufflés à la surface, le four Martin-Siemens peut fabriquer l'acier pour tous les travaux exigeant de l'acier coulé, forgé et laminé. Certains prétendent que les petits moulages, tels que ceux que l'on faisait autrefois par le procédé au creuset, peuvent être faits avec une fluidité égale dans les petits fours Martin-Siemens. Pour les moulages dans le sable vert et sec, tels que ceux qui sont indiqués au Chapitre XXIII (Matériaux employés dans les petits convertisseurs Bessemer), Tableau LXII, la plupart, sinon tous, peuvent être faits avec l'acier fabriqué dans les petits fours Martin-Siemens où l'on peut atteindre de très hautes températures. Quant aux grosses pièces de moulages, comme celles utilisées actuellement par l'industrie, on peut aussi les faire avec les fours Martin-Siemens.

Tout ce qui concerne les aciers et les analyses des matériaux employés pour les moulages indiqués au Chapitre XXIII, est également applicable à l'acier Martin-Siemens.

Les fours Martin-Siemens ne sont pas cependant limités à la production de l'acier pour moulages. On en fait également des lingots pour tôles de chaudières et de navires, pour rails, poutrelles, câbles, tubes, etc., aussi bien que l'on fait des plaques de blindage, des tubes à canons, des arbres de machines marines, etc., dont la fabrication absorbe la presque totalité de la production mondiale de l'acier Martin-Siemens. Le Tableau XCI, donne la composition chimique et les essais mécaniques de la plupart des catégories d'acier fabriquées par le procédé Martin-Siemens, acide et basique.

Charges types et analyses des matériaux employés dans les fours Martin-Siemens, acide et basique. — Les charges suivantes de matériaux utilisés en Angleterre, en Amérique et en Allemagne, pour la fabrication de l'acier Martin-Siemens, sont l'indication de ce qui est employé pour chaque charge destinée à l'usage indiqué, car elles sont soumises à des variations considérables dans les différentes usines des pays indiqués.

Charge 1. — Procédé acide : Fonte et scraps.

*Acier pour construction de ponts*¹.

Matériaux employés dans la charge.

Fonte (froide)	3 $\frac{1}{2}$ tonnes.	}	Matériaux chargés à l'état solide.
Scraps d'acier (tôles)	3 $\frac{1}{2}$ —		
— d'acier	3 $\frac{1}{2}$ —		
Minerai de fer	$\frac{1}{2}$ —		
Ferro-manganèse à 40 p. 100 Mn. 136 kg.			

ANALYSES DE LA CHARGE A DIFFÉRENTES PÉRIODES DE LA FUSION

MOMENT auquel l'échantillon fut prélevé.	C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.	Cu p. 100.
Moyenne de la charge.	4,3	0,77	4,28	0,08	0,05	0,41
7 heures après le chargement du four	0,8	0,35	0,20	—	—	—
9 heures après le chargement du four et après les additions de minerai	0,07	0,04	traces.	—	—	—
Après les additions de ferro- manganèse	0,48	0,04	0,30	0,08	0,05	0,41

Charge 2. — Nous donnons ci-dessous², la composition d'une charge représentant la moyenne de 10 charges consécutives destinées à la fabrication d'acier à 0,10 p. 100 de carbone, faites par la Carbon Steel Co., Pittsburg.

Procédé acide : Fonte et minerai.

Matériaux employés dans la charge.

Fonte (souillée par 1,4 p. 100 de sable). 27 210 kg.	}	Matériaux chargés à l'état solide.
Minerai 6 125 —		
Recarburant 481 —		
Acier produit 27 210 —		
Perte 181 — = 0,7 p. 100.		

Analyse de la fonte = C, 3,5 p. 100. — Si, 1,6 p. 100.
 — du minerai = Fe, 67,54 p. 100. — SiO₂, 1,95 p. 100.
 Recarburant = Ferro-manganèse à 80 p. 100 de Mn.

Charge 3. — Nous donnons ci-dessous³, la composition d'une charge représentant la moyenne de 15 charges consécutives destinées à la fabri-

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XI, p. 709.
² *Journal American Institute of Mining Engineers*, vol. XXII, p. 498.
³ *Ibid.*, p. 496.

cation d'acier à 0,10 p. 100 de carbone, faites à la Pennsylvania Steel C°, Steelton, Pa.

Procédé acide : Fonte et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	
Fonte (souillée par 1,5 p. 100 de sable)	5 418	} Matériaux chargés à l'état solide.
Scraps	4 834	
Scraps	15 824	
Recarburant	136	
Minerai	454	
Scorie	1 874	
Acier produit	25 082	
Perte	1 130 = 4,3 p. 100.	

Analyse de la fonte = C, 3,5 p. 100. — Si, 2,6 p. 100. — Mn, 1,11 p. 100.
 — des scraps = C, 0,13 — Si, 0,02 — Mn, 0,35 —
 — — C, 0,4 — Si, 0,07 — Mn, 1,00 —

Sable employé pour les réparations : 530 kilogrammes.

Charge 4. — Nous donnons ci-dessous¹, la moyenne d'une charge destinée à faire un acier ayant la composition chimique suivante : C, 0,24 p. 100 ; — Si, 0,39 p. 100 ; — Mn, 0,81 p. 100 ; — P, 0,049 p. 100 ; — S, 0,033 p. 100.

Procédé acide : Fonte et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	
Fonte	1 360	} Matériaux chargés à l'état solide.
Diverses sortes de scraps	4 208	
Minerai de fer	136	
Sable	136	
Ferro-manganèse	59	
Ferro-silicium	36	
Aluminium	0,900	

Analyse de la fonte = Si, 1 à 2 p. 100. — P, 0,04 p. 100. — S, 0,035 p. 100.

Cette charge a été 3 h. $\frac{1}{2}$ en opération. La capacité du four était de 8 tonnes. Il était chauffé à l'huile lourde, dont la consommation était de 227 litres par tonne d'acier fabriqué.

Charge 5. — Voici² la composition d'une charge destinée à fabriquer un acier convenant à la construction des ponts.

¹ Une fonderie d'acier moderne à Wisconsin, *The Foundry*, novembre 1911.

² *Stahl und Eisen*, vol. XI, p. 709.

Matériaux employés dans la charge :

Fonte	2 $\frac{1}{2}$ tonnes.	} Matériaux chargés à l'état solide.
Bouts de rails Bessemer	5 —	
Minerai de fer	227 kg.	
Ferro-manganèse à 40 p. 100 Mn.	50 —	

Le tableau suivant donne la composition chimique du métal, prélevé à différents moments, pendant l'opération.

MOMENT AUQUEL FUT PRÉLEVÉ L'ÉCHANTILLON	C p. 100	Si p. 100	Mn p. 100	P p. 100	S p. 100	Cu p. 100
Analyse moyenne de la charge au moment du départ	1,48	0,32	1,37	0,09	0,034	0,11
Analyse faite 4 heures après le chargement du four	0,82	0,01	0,37	0,06	0,030	0,11
Analyse faite 5 heures 10' après le chargement du four	0,09	0,005	0,35	0,03	0,030	0,11
Analyse faite avec les additions de ferro-manganèse	0,15	0,009	0,53	0,04	0,023	0,11

Charge 6. — Nous donnons ci-dessous, la composition d'une charge-type employée dans les aciéries allemandes pour la production de l'acier destiné à la fabrication des cornières, poutrelles, fers à T, etc.

Procédé basique : Fonte et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	} Ces matériaux sont chargés à l'état solide.
Fonte (en mélange)	4 989	
Vieux moules à lingots (hématite)	1 524	
Scraps de laminoirs (bouts de barres, de billettes, etc.)	18 136	
Tournures en copeaux	3 048	
Scraps divers d'acier	8 616	
Chaux	725	

Le ferro-manganèse et le ferro-silicium sont ajoutés à la main et selon la teneur voulue en carbone.

Cette charge a été prise dans une usine qui faisait, en vingt-quatre heures, 5 fusions de 35 tonnes avec des fours fixes, chargés avec un chargeur électrique.

Charge 7. — Nous donnons ci-dessous, la composition d'une charge-type employée en Angleterre, pour faire les billettes destinées au train-fil. Cet acier contient :

C, — 0,65-0,75 p. 100. — P et S, 0,025 p. 100.

Procédé basique : Fonte et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	
Fonte	6 158	} Matériaux chargés à l'état solide.
Scraps d'acier choisis)	12 925	
Feuillard)		
Bouts de billettes)		
Houille ajoutée dans le four	136	
Battitures	1 020	
Spath-fluor	154	
Chaux	72	
Ferro-silicium (60 p. 100 Si)	14	} Ajoutés dans la poche.
Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	27	
Aluminium	2	

Analyse de la fonte = C, 3,25 à 3,50 p. 100. — Si 2,0 à 2,5 p. 100 ; Mn 1,5 à 1,8 p. 100. — P, 1,0 à 1,5 p. 100. — S 0,63 p. 100.

Les scraps sont chargés après la fonte, non pas d'un seul coup, mais en une durée de plusieurs heures. En plus de la chaux, on ajoute quelquefois dans la charge des scories métalliques.

Charge 8. — Nous donnons ci-dessous, la composition d'une charge-type employée en Angleterre pour la fabrication de billettes en acier extra, pauvre en carbone, contenant C, 0,12 à 0,15 p. 100. — Si, traces ; Mn, 0,3 à 0,35 p. 100. — P, 0,04 p. 100. — S, 0,04 p. 100.

Procédé basique : Fonte et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	
Fonte (en mélange)	3 855	} Matériaux chargés à l'état solide.
Scraps (vieille fonte hématite)	6 802	
Scraps (légers et choisis)	4 988	
Houille ajoutée dans le four	453	
Spath-fluor	154	
Chaux	60	
Fonte siliceuse (12 p. 100 Si)	6,800	} Matériaux chargés dans la poche.
Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	84	
Aluminium	1,130	

Analyse de la fonte : C, 3,0 à 3,3 p. 100. — Si 0,8 à 2,5 p. 100. — Mn, 1,5 à 2, p. 100. — P, 1,0 à 1,75 p. 100 — S, 0,025 à 0,07 p. 100.

Les scraps sont ajoutés après la fonte et à intervalles séparés pendant la fusion. On emploie comme fondants dans les charges, des anciennes scories métalliques.

Charge 9. — Nous donnons ci-dessous, la composition d'une charge¹

¹ *Journal West of Scotland Iron and Steel Institute*, vol. VII, p. 121.

destinée à fabriquer de l'acier doux en indiquant tous les détails de la marche de la fusion, depuis le début de la charge jusqu'au moment de la coulée. L'acier fini avait la composition suivante : C, 0,15 p. 100. — Mn, 0,45 p. 100. — P, 0,05 p. 100 et S, 0,019 p. 100.

Procédé basique : Fonte et scraps.

Temps.

9,55 h.	du matin.	Commencement de la charge composée de :
		Fonte 8 140 kg.
		Scraps d'acier. 3 047 —
		Calcaire 1 016 —
		Minerai 559 —
		} Matériaux chargés à l'état solide.
11,55	— —	Fin de la charge.
15,45 h.	après-midi.	Fusion.
16,00	— —	On prélève un échantillon de la masse fondue et on ajoute 50 ^{kg} ,800 de chlorure de calcium, puis du calcaire et un peu de chaux.
16,40	— —	On ajoute 141 ^{kg} ,400 de chlorure de calcium, puis de la chaux et un peu de minerai.
17,15	— —	On prélève un échantillon de métal et de scorie.
18,05	— —	On ajoute du minerai et du calcaire.
18,30	— —	On prélève un échantillon de métal et de scorie.
18,45	— —	On ajoute 60 ^{kg} ,600 de chlorure de calcium et une brouette de chaux.
19,00	— —	On prélève un échantillon de métal.
19,08	— —	On ajoute 4 morceaux de fonte grise n° 3.
19,50	— —	On prélève un échantillon de métal, S = 0,022 p. 100.
20,08	— —	On ajoute 127 kilogrammes de spiegel.
20,20	— —	Coulée de la charge. On ajoute dans la poche 19 ^{kg} ,500 de ferro-manganèse à 80 p. 100 de Mn.

	kilogrammes.
Poids des lingots obtenus	10 847
— de scraps obtenus.	152

Addition durant l'opération :

Minerai	977
Calcaire	1 778
Chaux.	304,800
Chlorure de calcium sec.	177,800

Composition chimique moyenne du minerai :

Fe ² O ³	FeO	S	Si	MnO ²	Al ² O ³	P
61,72	9,69	1,02	1,02	4,18	2,13	0,58 p. 100.

Nous allons examiner maintenant la pratique des fours Martin-Siemens basiques modernes, employant en partie ou en totalité des charges de fonte liquide.

Charge 10. — Voici¹ la charge employée à la « Dominion Iron and Steel Co., Nova Scotia » dans un four de 55 tonnes et destinée à fabriquer des lingots d'acier, pour rails, contenant C, 0,57 p. 100. — Mn, 0,84 p. 100; P, 0,047 p. 100. — S, 0,04 p. 100.

Procédé basique : Fonte liquide et scraps.

Matériaux employés dans la charge :

	kilogrammes.	
Moulages en acier M. S	7 732	} Chargés froids.
Chutes du train Blooming	12 335	
Fonte liquide du mélangeur	19 908	} Chargés 3 h. $\frac{1}{2}$ environ après que les 1 ^{ers} scraps ont été chargés.
— — —	14 013	
Minerai de fer	4 988	} Ajoutés pendant la fusion.
Calcaire (marbre en morceaux)	11 470	
Calcaire ordinaire	2 540	} Ajoutés dans la poche de coulée.
Minerai de fer	227	
Spath-fluor.	680	
Ferro-manganèse.	703	
Ferro-silicium (50 p. 100 Si)	159	
— (10 p. 100 Si)	136	
Poussière de coke	290	

Durée de l'opération : 14,10 h.

Charge 11. — Nous donnons, ci-dessous², une charge-type pour acier doux fabriqué par le procédé Hoesch, aux aciéries Hoesch à Dortmund, Allemagne. Les lingots contiennent : C, 0,08 p. 100. — Si, traces. — Mn, 0,47 p. 100. — P, 0,04 p. 100 et S, 0,067 p. 100.

Procédé basique : Fonte liquide et minerai.

Matériaux employés dans la charge :

Chaux (87,55 p. 100 CaO).	1 879	} Chargés avant la fonte.
Minerai de Suède (58,92 p. 100 Fe).	3 438	
Battitures de laminoirs (76,31 p. 100 Fe).	769	
Fonte liquide (C, 3,28 p. 100. — Si, 0,32 p. 100. — Mn, 0,9 p. 100. — P, 1,86 p. 100. S, 0,132 p. 100).	23 269	

2 h. $\frac{1}{2}$ environ après le chargement, le contenu du four est versé dans une poche et on enlève la scorie. Dans l'intervalle, on charge dans le four les matériaux suivants, puis on y réintroduit le contenu de la poche.

¹ *Canadian Mining Institute Journal*, vol. X.

² *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXX, p. 88.

Minerai spathique (48,86 p. 100 Fe ; 9,56 p. 100 Mn).
 Scraps d'acier (99,46 p. 100 Fe).
 Chaux (87,55 p. 100 CaO).

Durant cette seconde période de fusion, on fait les additions suivantes à différents intervalles :

	kilogrammes.
Battitures de laminoirs (76,31 p. 100 Fe)	104,76
Chaux (87,55 p. 100 CaO)	159,60
— — —	205,40
Ferro-manganèse (82 p. 100 Mn)	199,54

Production : 29 975 kilogrammes de lingots. Perte : 359 kilogrammes.
 1^{re} Scorie : 4 656 kilogrammes ; 2^e Scorie : 4 108 kilogrammes.
 Durée totale de l'opération : 5,14 h.

Charge 12. — Nous donnons, ci-dessous, une charge-type pour obtenir de l'acier doux par le procédé fonte liquide, scrap et minerai, dans un four Martin-Siemens ordinaire fixe, aux aciéries de Julienhütte, Allemagne. Nous indiquons la marche de l'opération depuis le moment du chargement du four jusqu'au moment de la coulée. L'acier fini contient : C, 0,105 p. 100. — Si, traces. — Mn, 0,43 p. 100. — P, 0,036 p. 100. — S, 0,035 p. 100.

Temps.		kilogrammes.	
11,20 h. du matin.	Chaux	1 000	}
— — —	Minerai de Krivoi-Rog (63 p. 100 Fe)	7 206	
	Copeaux de fer	8 163	
12,30 h. du soir.	Fonte liquide du mélangeur (C, 3,61. — Si, 1,21. — Mn, 2,1. P, 0,41. — S, 0,05 p. 100).	32 085	
15,25 — —	370 kilogrammes de chaux ajoutés. La charge est complètement fondue.		
15,40 — —	489 kilogrammes de chaux ajoutés et 255 kilogrammes de minerai. La charge commence à bouillonner.		
15,55 — —	560 kilogrammes de chaux ajoutés et 340 kilogrammes de minerai. La charge bouillonne complètement.		
16,10 — —	210 kilogrammes de chaux ajoutés.		
16,20 — —	170 — de minerai ajoutés.		
16,35 — —	110 — de chaux ajoutés.		
16,55 — —	120 — — —		
17,00 — —	164 — de ferro-manganèse. La charge est en repos.		
17,10 — —	Coulée de la charge.		
Production . . .	39 471 kg. de bons lingots	= 98,06 p. 100.	
	969 — de lingots défectueux	= 2,41 —	
Production totale.	40 440 kilogrammes	100,47 p. 100.	

¹ *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXX, p. 124.

Procédé basique : Fonte liquide, scraps et minerai.

Charge 13. — La charge suivante¹, produite par le procédé Talbot continu, le 16 novembre 1909 à la « Cargo Fleet Works » dans un four oscillant de 175 tonnes, indique les matériaux employés et les détails de la marche de l'opération, depuis le moment où l'on charge la fonte liquide dans le bain d'acier pauvre en carbone, jusqu'à la fin de l'opération.

Procédé Talbot continu.

Temps.

11,50 h. du matin.	120 tonnes d'acier, pauvre en carbone, dans le four donnant à l'analyse : 0,16, C. — 0,19, Mn. — 0,046, P. et 0,048, S p. 100.
12,00 — —	Réparation des parois et on extrait 8 tonnes de scories.
12,20 h. du soir.	On charge 4 567 kilogrammes de minerai de Gellivara et 2 130 kilogrammes de chaux.
12,30 — —	On charge 22 340 kilogrammes de fonte liquide contenant : 3,65 de C. — 0,77 de Mn. — 1,39 de Si ; 1,66 de P et 0,44 de S p. 100.
13,00 — —	On charge 4 567 kilogrammes de minerai de Gellivara et 2 130 kilogrammes de chaux.
13,10 — —	On charge 22 340 kilogrammes de fonte liquide contenant : 0,93 de Si. — 1,56 de P et 0,067 de S p. 100.
13,30 — —	On charge 8 122 kilogrammes de fonte liquide contenant : 0,65 de Si. — 1,60 de P et 0,086 de S p. 100.
14,25 — —	On charge 1 020 kilogrammes de minerai rouge et 1 270 kilogrammes de chaux.
14,30 — —	On charge 1 020 kilogrammes de minerai de Gellivara et 860 kilogrammes de chaux.
14,45 — —	On charge 860 kilogrammes de chaux.
16,00 — —	On charge 860 kilogrammes de chaux.
16,20 — —	Composition de l'acier : C, 0,21. — Si, 0,036. — Mn, P, 0,011. — S, 0,032 p. 100.

On coule 54 tonnes environ de métal dans la poche de coulée.

On ajoute dans la poche : Ferro-manganèse à 80 p. 100 de Mn = 385 kilogrammes. Ferro-silicium à 50 p. 100 de Si = 51 kilogrammes ; Anthracite, non indiqué.

Composition de l'acier fini : C, 0,45 p. 100 ; — Mn, 0,68 p. 100 ; — P, 0,033 p. 100 et S, 0,04 p. 100.

Durée de l'opération entre deux coulées : 4,30 h.

Charge 14. — Charge-type d'acier pour rails, d'un four oscillant de 175 tonnes (procédé Talbot) à la « Cargo Fleet Works », faite le 6 septembre 1909.

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXX, p. 61.

Procédé Talbot continu.

Matériaux employés dans la charge :

Fonte liquide ajoutée, en deux fois, au bain d'acier liquide, pauvre en carbone . . .	55 853	kilogrammes.
Minerai de fer	14 217	—
Battitures de laminoirs	1 167	—
Scories	9 140	—
Ferro-manganèse à 80 p. 100 Mn.	2 943	—
Ferro-silicium à 50 p. 100 Si.	508	—
	76	—

Production totale en lingots : 58 188 kilogrammes.

Analyse de la fonte : Si, 1,15 p. 100. — Mn, 0,63 p. 100. — P, 1,60 p. 100. S, 0,122 p. 100.

Analyse de l'acier fini : C, 0,59 p. 100. — Mn, 0,70 p. 100. — P, 0,044 p. 100 ; — S, 0,063 p. 100.

Charge 15. — Charge-type pour acier destiné à la construction, faite dans un four oscillant de 175 tonnes (procédé Talbot) le 7 septembre 1909 à la « Cargo Fleet Works ».

Procédé Talbot continu.

Matériaux employés dans la charge :

Fonte liquide ajoutée, en deux fois, au bain d'acier liquide, pauvre en carbone. . .	50 775	kilogrammes.
Scraps d'acier	40 154	—
Minerai de fer	13 705	—
Battitures de laminoirs.	2 335	—
Chaux	8 124	—
Scories	2 943	—
Ferro-manganèse (à 80 p. 100 de Mn) . . .	381	—
Ferro-silicium (à 50 p. 100 de Si)	77	—

Production totale en lingots : 54 515 kilogrammes :

Analyse de la fonte : Si, 1,09 p. 100. — Mn, 0,69 p. 100. — P, 1,83 p. 100. S, 0,107 p. 100.

Analyse de l'acier fini : C, 0,185 p. 100. — Mn, 0,66 p. 100. — P, 0,03 p. 100 ; — S, 0,058 p. 100.

CHAPITRE XXXVII

PROCÉDÉS DUPLEX

On donne le nom de « duplex », à ce genre d'opération qui consiste à transformer *partiellement* la fonte en acier, dans un convertisseur, et à *achever* cette transformation dans un four Martin-Siemens. Ce procédé fut employé pour la première fois à Witkowitz, en Bohême, en 1878, et depuis cette époque, il fut employé avec beaucoup de succès dans les pays où la transformation de la fonte en acier, soit par le procédé Bessemer seul, soit par le procédé Martin-Siemens ne peut se faire économiquement.

Alors qu'en Allemagne, le procédé de Hoesch ou Bertrand-Thiel a complètement remplacé le procédé duplex, ce dernier vient encore d'être appliqué tout récemment, en Amérique, dans de grandes aciéries où le convertisseur Bessemer travaille conjointement avec un four Martin-Siemens.

Convertisseurs et fours Martin-Siemens. — La figure 218¹, représente la disposition des convertisseurs et des mélangeurs employée en 1911 aux Aciéries Saucon de la « Bethlehem Steel Co, » Pa., E. U. C'est probablement la plus grande installation mondiale travaillant d'après le système duplex, avec les perfectionnements les plus modernes pour la manutention des matériaux depuis les hauts-fourneaux jusqu'à la coulée de l'acier fini dans la poche de coulée.

Les hauts fourneaux qui fournissent la fonte nécessaire sont situés à une distance d'environ 2 kilomètres. Le métal est transporté au moyen de poches-trucks, à double tourillon, de 25, 35 et 40 tonnes de capacité, qui l'amène directement aux mélangeurs, ayant chacun une capacité de 400 tonnes. Avant de pénétrer dans le bâtiment des mélangeurs, les poches sont pesées sur un pont-bascule d'une force de 100 tonnes, elles pénètrent ensuite dans le hall des mélangeurs, une grue électrique d'une force de 60 tonnes saisit la poche et en verse le contenu dans le mélangeur, le renversement de la poche étant obtenu au moyen d'une grue auxiliaire de 20 tonnes. Le métal des mélangeurs est transporté aux convertisseurs dans des poches-trucks de 25 tonnes de capacité. Ces trucks circulent sur une voie placée parallèlement à la plate-forme et sont tirés

¹ *Iron Age*, 1911, p. 784.

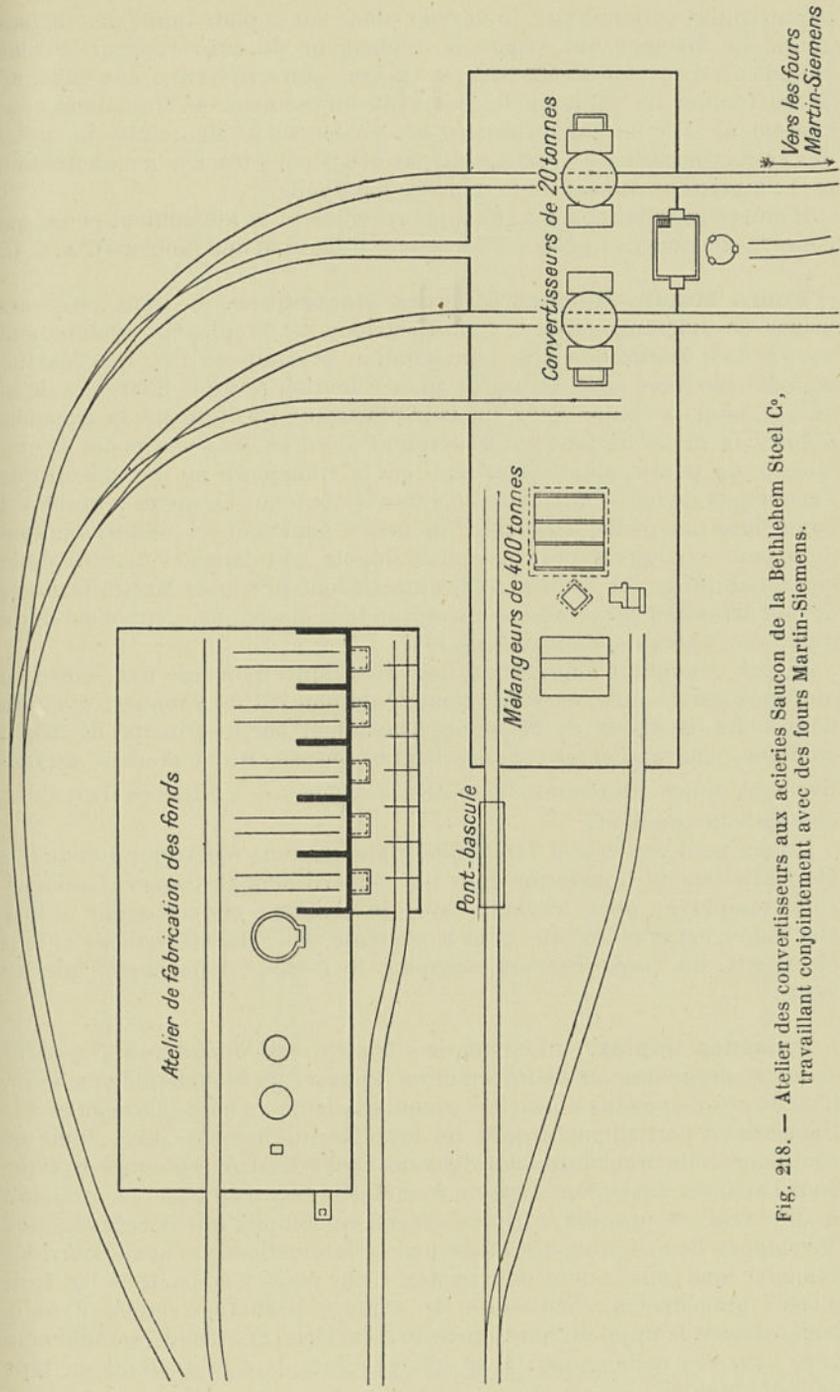


Fig. 218. — Atelier des convertisseurs aux aciéries Sacon de la Bethlehem Steel Co., travaillant conjointement avec des fours Martin-Siemens.

par un trolley actionné par un ouvrier placé sur la plate-forme des mélangeurs. La distance qui sépare le mélangeur du convertisseur le plus éloigné est d'environ de 435 mètres. Chaque convertisseur a une capacité de 20 tonnes. La position des fours Martin-Siemens qui travaillent conjointement avec les convertisseurs est visible sur la figure 219. Le métal des convertisseurs y est transporté par des poches-trucks, la manutention et le finissage se faisant de la manière habituelle.

D'autres installations ont été faites récemment et notamment en ce qui concerne le procédé duplex à « Tennessee Iron, Coal and Railroad Co », E. U.

Fours Martin-Siemens et fours électriques. — Dans plusieurs usines de différents pays, le four électrique est employé conjointement avec le four Martin-Siemens. L'installation se compose d'un four Martin-Siemens moderne (soit fixe ou oscillant) dont on retire la charge, à demi affinée, pour la couler dans un four électrique qui termine la transformation. Le métal du four est généralement versé dans une poche accrochée à un pont-roulant électrique, qui la transporte au four électrique dans lequel une grue auxiliaire en verse le contenu. Le métal terminé est coulé dans une poche accrochée au même pont, qui le conduit à la fonderie pour en couler le contenu soit en lingots, soit dans des moules, de la façon habituelle. Le nombre et les dimensions des fours Martin-Siemens devant travailler conjointement avec un four électrique, dépendent de la durée de l'opération dans chaque four.

Si, par exemple, l'affinage du four électrique demande une heure en moyenne par chauffe, et si la capacité du four est de 5 tonnes, il faudra deux fours oscillants de 50 tonnes travaillant sur le principe de fusion continue, pour alimenter constamment ce four électrique prenant alternativement toutes les heures, ou toutes les heures $\frac{1}{2}$, 5 tonnes de métal à chaque four oscillant.

L'acier peut également être affiné dans un four électrique lorsqu'il a été partiellement transformé dans un convertisseur Bessemer. La disposition employée pour travailler avec le système, convertisseur et four électrique, est la même que pour le système, four Martin-Siemens et four électrique, les convertisseurs occupant le même emplacement que les fours.

Procédés triplex. — Le nom de « triplex » est donné aux dispositifs de fours, permettant de transformer en 3 phases, la fonte liquide en acier. L'un de ces dispositifs consiste à prendre la fonte au haut fourneau et à la transformer partiellement dans un four Martin-Siemens acide, puis de continuer cette transformation dans un convertisseur Bessemer basique pour l'achever finalement dans un four Martin-Siemens basique oscillant. A dire vrai, ce procédé « triplex » n'est, en somme, que la reproduction développée de nos procédés modernes de fabrication que nous pourrions désigner tous sous le nom de « triplex » car nous y constatons les trois phases précédentes, c'est-à-dire (1) affinage partiel du métal dans la poche durant le trajet du haut fourneau à l'aciérie (2), affinage complémentaire dans les mélangeurs (3) et affinage final dans le système ou type de four employé.

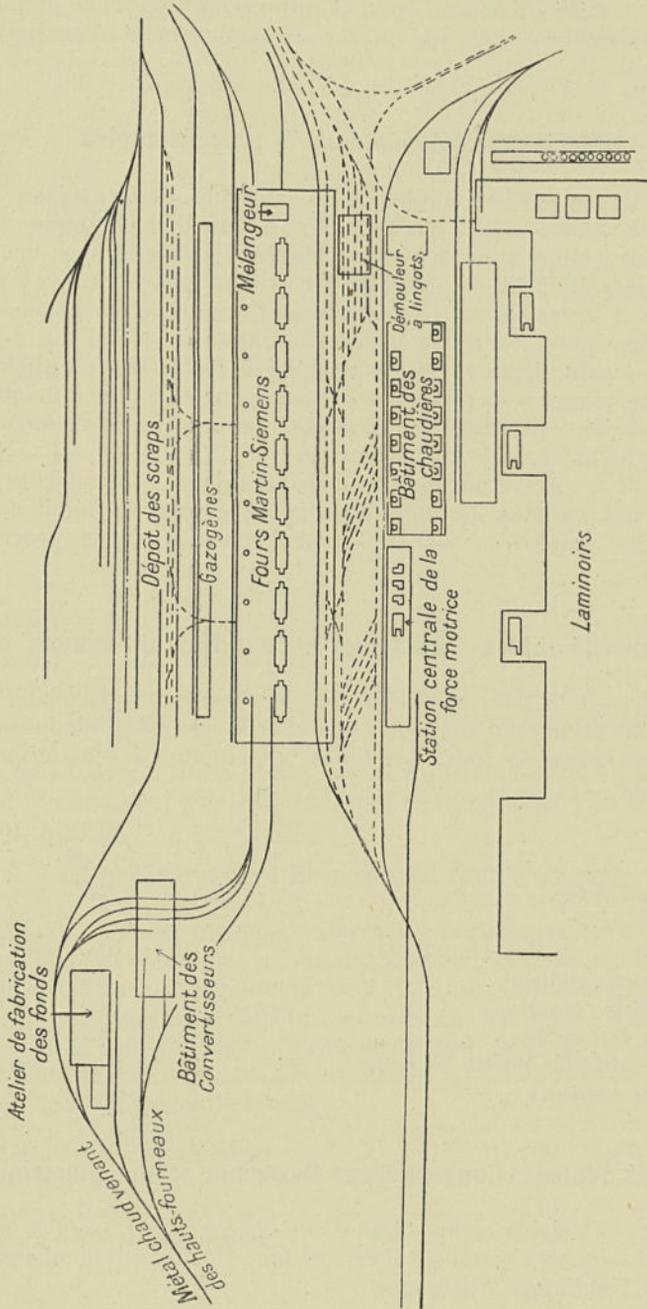


Fig. 219. — Plan de l'acierie Saucon de la Bethlehem Steel Co (Etats-Unis).

Au point de vue de la variété des méthodes de fabrication, il est nécessaire d'envisager avec soin toutes les conditions inhérentes au procédé

particulier de fabrication que l'on veut entreprendre, avant de prendre une décision quelconque en ce qui concerne l'emplacement et la disposition d'une aciérie.

Matériaux employés dans le procédé duplex.

Les matériaux que l'on emploie pour fabriquer l'acier, suivant le procédé duplex, sont ceux que l'on considère habituellement comme faisant, dans un four, l'élimination des impuretés. En d'autres termes, une partie des impuretés du métal est enlevée, par exemple, dans un four à revêtement acide et le restant est enlevé dans un four à revêtement basique en même temps que s'y termine la transformation du métal. Ce genre de fabrication a naturellement permis l'emploi de fontes très phosphoreuses et en même temps trop riches en silicium pour être directement transformées en acier, soit dans un convertisseur acide ou basique, soit dans un four Martin-Siemens acide ou basique.

Comme on a essayé un nombre considérable de combinaisons, selon la plupart des variétés de fonte, nous allons donner le détail de quelques charges employées afin de donner une idée de ce procédé de fabrication.

Procédé duplex : Bessemer et four Martin-Siemens.

Charge 1. — A Witkowitz, chaque four Martin-Siemens faisait 6 charges par jour. En prenant la moyenne des charges de métal fondues durant l'année 1908-1909¹, les fours combinés ont employé les matériaux suivants :

Fonte	87,12 p. 100.
Perte	12,88 —
Minerai de fer	2,7 —
Chaux	7,8 —
Houille	10,5 —
Dolomie (calcinée)	2,67 —
Magnésite (cendrée)	0,31 —
Pertes de coulée	2,11 —
Scories du four Martin-Siemens	10,39 —
Lingots produits	89,25 —

Procédé duplex : Convertisseur Bessemer et four électrique.

Charge 2. — Voici la composition d'une charge-type², soufflée dans un Bessemer basique et terminée dans un four Röchling-Rodenhauser, de 8 tonnes, à Völklingen, Allemagne.

¹ *Iron and Coal Trade Review*, vol. LXXX, p. 88.

² *Journal Iron and Steel Institute*, 1909, I, p. 312.

Charge. 5 tonnes.

TEMPS		COMPOSITION CHIMIQUE						
Heures-minutes.		Echantillons.	C	Si	Mn	P	S	
Période d'oxy- dation.	0,0	Charge fondue.	1	0,06	0,02	0,49	0,06	0,065
	0,20		2	0,07	0,02	0,28	0,025	0,054
	0,40		3	0,07	0,02	0,21	0,022	0,049
	1,0		4	0,06	0,03	0,12	0,018	0,053
	1,20		5	0,06	0,03	0,12	0,015	0,057
	1,40		6	0,07	0,02	0,12	0,0145	0,053
Décrassage recarburation et formation de la deuxième scorie.	2,0	On ajoute 100 kg. de coke.	7	0,06	0,02	0,12	0,012	0,048
		On ajoute 13 kg. de ferro-silicium.						
	2,40	On ajoute 6 kg. de ferro-spiegel.	8	1,26	0,02	0,15	0,015	0,028
		On ajoute 13 kg. de ferro-silicium à 80 p. 100 à la scorie.						
2,50	On ajoute 2 kg. de ferro-manganèse à 80 p. 100.							
Période de réduction.	3,0	On ajoute 7 kg. de ferro-silicium à 50 p. 100 à la scorie.	9	1,39	0,15	0,21	0,016	0,022
	3,15		10	1,30	0,21	0,24	0,013	trace
Durée de l'opération.			3 heures 15 minutes.					

Pendant toute la durée de la fusion, on a ajouté 350 kilogrammes de chaux, et durant la période d'oxydation 90 kilogrammes de W. S.

Procédé duplex : Bessemer et four électrique.

Charge 3. — Nous donnons, ci-dessous, la composition d'une charge-type, soufflée dans un convertisseur Bessemer⁴, et terminée dans un four Héroult de 15 tonnes, à l'Illinois Steel C°, South Chicago, E. U. Le métal est légèrement sursoufflé dans le convertisseur de 15 tonnes avant d'être versé dans le four électrique. En même temps, des oxydes de fer et de chaux sont jetés par les portes de travail, afin de produire une scorie basique.

Matériaux composant la charge :

Métal soufflé de Bessemer	13 600 kilogrammes.
Battitures	320 —
Chaux. Première scorie	270 —
Chaux. Deuxième scorie	270 —
Recarburant	59 —
Spath-fluor	180 —
Poussière de coke.	90 —

⁴ *Iron and Coal Trades Review*, 1914, p. 240.

Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	90 kilogrammes.
Ferro-silicium (10 p. 100 Si)	27 —
— (50 p. 100 Si)	36 —

Pour réparer le four, entre les chauffes, on a employé 180 kilogrammes de dolomie et 11 kilogrammes de magnésite.

Procédé duplex : Four Martin-Siemens et four électrique.

Charge 4. — Voici la composition⁴ d'une charge liquide, provenant d'un four Martin-Siemens de 25 tonnes, terminée dans un four Girod de 3 tonnes à Gutehoffnungshütte.

Poids de la charge . . . 3 190 kilogrammes.

Période d'oxydation :	N° des échantillons.	COMPOSITION CHIMIQUE				
		C	Si	Mn	P	S
On charge 3 190 kg. de métal fondu	1	0,15	traces	0,54	0,034	0,054
Après addition de 10 kg. de minerai	2	0,14	»	0,40	0,021	0,048
Après addition de 15 kg. de minerai	3	0,14	»	0,34	0,016	0,044
Après addition de 25 kg. de minerai						
Immédiatement avant le dé-crassage	4	0,10	»	0,29	0,008	0,046
Période de désoxydation :						
Après addition de 24 kg. de coke de pétrole et 50 kg. de scories	5	0,50	»	0,26	0,01	0,034
Après addition de 50 kg. de scories	6	0,50	»	0,26	0,01	0,038
Après addition de 30 kg. de scories	7	0,49	»	0,27	0,01	0,026
Après addition de 90 kg. de ferro-manganèse	8	0,50	»	0,49	0,011	0,026
Après addition de 1 kg. de coke de pétrole pulvérisé et 0,800 kg. de ferro-silicium	9	0,52	0,07	0,52	0,015	0,026
Après addition de 0,800 kg. de ferro-silicium	10	0,52	0,14	0,52	0,012	0,018
Après addition de 4 kg. de ferro-manganèse	11	0,56	0,14	0,61	0,015	0,01
Echantillon final	12	0,56	0,14	0,62	0,015	0,01

⁴ D'après la communication du Dr A. Mueller, *Stahl und Eisen*, 3 août 1914.

QUATRIÈME PARTIE
LE PROCÉDÉ ÉLECTRIQUE

CHAPITRE XXXVIII

L'ÉVOLUTION DU FOUR ÉLECTRIQUE

Il n'existe probablement aucun type de four à fabriquer l'acier qui ait autant attiré l'attention des ingénieurs et des métallurgistes, pendant une même période, que le four électrique. Quoique son application la plus ancienne ne remonte guère qu'à l'année 1879, ce serait une tentative laborieuse que d'essayer de décrire tous les types de fours qui ont été imaginés depuis cette époque. Pour la fabrication et l'affinage de l'acier, on a employé, durant ces dernières années, des fours électriques de différents types et l'on peut dire que pour l'avenir, étant donnés les résultats commerciaux obtenus, l'emploi général du four électrique dans les aciéries dépendra uniquement des considérations suivantes :

1. Simplicité dans la conception du four ;
2. Application de cette conception aux opérations métallurgiques intéressées ;
3. Travail efficace et consommation économique d'électricité ;
4. Prix relativement bas ;
5. Minimum d'entretien et adaptation au travail continu.

Historique. Le four Siemens. — Le premier four électrique employé pour la fabrication de l'acier, fut un four expérimental imaginé par feu Sir William Siemens en 1879. Le brevet de cette époque représente les deux types de fours reproduits par la figure 220. Le four représenté par la figure 220 *a*, se compose d'un creuset dans lequel on dispose les matériaux à fondre, la chaleur nécessaire étant obtenue par les radiations de deux électrodes placées horizontalement au-dessus de la charge. Ces électrodes qui, suivant les indications du brevet, pouvaient être soit en charbon, soit constituées par des tubes à refroidissement d'eau, sont rap-

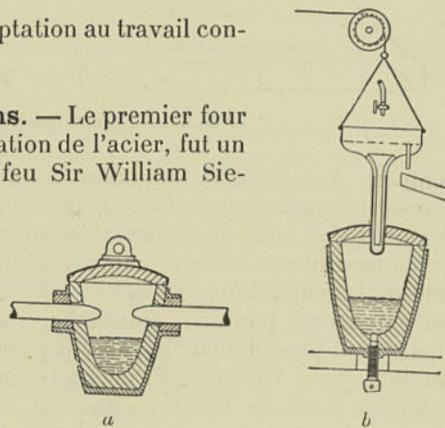


Fig. 220. — Four à arc électrique expérimental de Siemens.

portés à l'écart, et l'arc électrique se maintient au-dessus de la charge.

prochées l'une de l'autre au moyen de galets à friction, actionnés par une roue dentée et une crémaillère influencée par un solénoïde.

Dans une modification de ce four, représentée par la figure 220 *b*, le courant est amené au four au moyen d'une électrode suspendue au-dessus de la charge du creuset, l'arc électrique passe à travers les matériaux et s'écoule au moyen d'une électrode fixée dans le fond du creuset et en contact avec la charge.

Avec un four de ce genre, Siemens est arrivé à fondre 10 kilogrammes de fer ou d'acier en une heure, et se basant sur ses expériences pour étudier le prix de fabrication de l'acier par l'électricité, il était arrivé à conclure que l'on pouvait, dans un four électrique, fabriquer l'acier aussi économiquement que dans un four à sole. Malheureusement, ces expériences ne reçurent aucun développement commercial, et pendant les huit années qui suivirent, il ne fut pour ainsi dire rien tenté pour le développement de cette nouvelle méthode de fabrication de l'acier.

Four Ferranti. — En 1887, M. S. de Ferranti a imaginé un type particulier de four électrique, représenté par la figure 221. Ce dispositif se

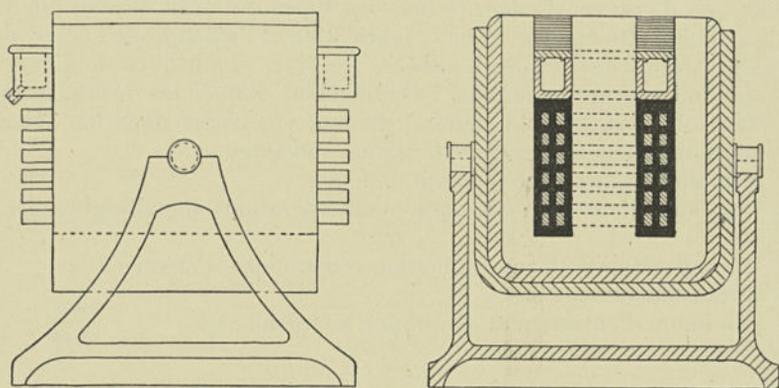


Fig. 221. — Four électrique de Ferranti.

compose d'un creuset annulaire (muni d'un couvercle), dans lequel on dépose les matériaux à fondre. Dans l'espace vide au centre du creuset et sur chaque côté, sont placés les pôles constitués par un certain nombre de plaques minces de fer doux. Une bobine, isolée pour éviter de se blesser, entoure le pôle intérieur. Tout ce dispositif est placé dans un châssis en fonte supporté par deux tourillons, l'aimant étant isolé du châssis. La chaleur est produite par le courant passant à travers la bobine entourant l'aimant. Tout l'appareil forme un transformateur électrique, dans lequel la bobine primaire induit le courant dans la chambre annulaire, faisant fonction d'enroulement secondaire.

Ce four ne semble pas avoir reçu d'applications pratiques, car on ne signale aucun succès commercial de son exploitation. Le même procédé de fusion, au moyen des courants induits, fut breveté aux Etats-Unis par Colby, en 1890, quoique son dispositif diffère sensiblement de celui de Ferranti.

Four Stassano. — Ce n'est guère que vers 1898 que l'on reprit sérieusement l'étude de la fabrication électrique de l'acier. A cette époque, le major Stassano fit construire un four, à Rome, basé sur le principe de l'arc, en vue de fondre des minerais de fer pour produire directement de l'acier en une seule opération. Son four ressemblait à un haut fourneau chauffé au bois, dont les tuyères étaient remplacées par des électrodes en charbon. Le minerai qui traversait le four du haut en bas, était fondu sous l'action de l'arc électrique qui éclatait entre les pointes des électrodes. Ce four n'eût aucun succès commercial, et fut abandonné en faveur d'un four dans lequel le chargement des matériaux à fondre se faisait sur une sole et dont la fusion était obtenue par la radiation de chaleur émanant des arcs formés entre les pointes d'électrodes placées juste au-dessus des matériaux. Avec ce four, Stassano parvint à réduire du minerai mis en briquettes avec du charbon de bois et en présence de fondants appropriés, avec production d'un acier de bonne qualité. Il trouva cependant que son four s'appliquait plus particulièrement à la fabrication de l'acier au moyen des scraps et c'est dans cette voie qu'il continua ses expériences.

Four Héroult. — Tandis que Stassano poursuivait ses recherches, M. P. Héroult (maintenant D^r Héroult), venu en Amérique pour la fabrication de l'aluminium au four électrique, porta son attention en 1899, sur la fabrication de l'acier par le même procédé. Le four avec lequel il entreprit ses expériences se composait d'une sole sur laquelle on disposait les matériaux à fondre et au-dessus de laquelle étaient suspendues 2 électrodes de charbon. Le courant, amené par l'une de ces électrodes formait un arc entre l'extrémité de l'électrode et les matériaux placés sur la sole. Puis de même, après avoir traversé le bain métallique, il formait un autre arc entre le métal et l'extrémité de l'autre électrode pour son retour au terminal négatif du générateur. L'effet calorifique de ces deux arcs était utilisé à la fusion du métal placé sur la sole, lequel était coulé dès qu'il était fondu.

Four Kjellin. — Une année après les expériences d'Héroult, M. F. Kjellin (feu le D^r Kjellin) imaginait en 1900, un four du type à induction, analogue à celui breveté par Ferranti en 1887. Avec ce four, il entreprit des expériences dans le but de fabriquer de l'acier avec des briquettes de minerai, de la fonte et des scraps d'acier, et parvint à faire industriellement, en 1902, de l'acier à outil à coupe rapide.

Développements modernes. — Dans ce qui précède, on remarque que les inventions et les expériences de Stassano, de Héroult et de Kjellin, reposent sur les principes des anciens brevets de Siemens et de Ferranti. Le four de Stassano n'est qu'une application du dispositif imaginé par Siemens (voir fig. 220 *a* p. 511). Le four Héroult a son originalité en ce sens que le courant quitte le four par une seconde électrode placée au-dessus du métal, au lieu de partir par une seconde électrode placée au fond du four, après avoir traversé le bain métallique. Le four de Kjellin était une application du principe de chauffage de Ferranti par un courant

induit, dû à la résistance présentée au courant par le métal de bain.

Ces trois fours sont les types sur lesquels ont pratiquement été basés tous les perfectionnements de ces dernières années. La conception de certains fours offre des dispositions légèrement différentes dans le but d'amener à un travail plus simple et plus efficace. Enfin, d'autres fours sont par eux-mêmes la combinaison de un ou plusieurs types.

Le four Girod est une application du four original de Siemens avec une électrode dans le fond. Le four Rochling-Rödenhauser est un perfectionnement du four Kjellin, le chauffage étant effectué par induction et par la résistance présentée par les armatures disposées à l'intérieur du revêtement du four. D'autres types de fours, moins connus que les précédents, ont également reçu des applications ; nous en représenterons et décrirons un certain nombre dans les chapitres qui vont suivre.

CHAPITRE XXXIX

FOURS A ARC

Introduction. — Le premier four électrique qui fut employé pour la fabrication de l'acier fut un four à arc, inventé par feu Sir William Siemens. Il faut aussi noter que le premier four employé industriellement fut aussi un four à arc, imaginé en Italie, en 1898, par le major Stassano. Ce four, cependant, est le seul qui ait conservé le principe du chauffage par simple radiation d'un arc ou de plusieurs arcs formés entre des électrodes de charbon placées au-dessus du métal de la sole du four.

Four Stassano. — Les premières expériences de Stassano n'ont pas

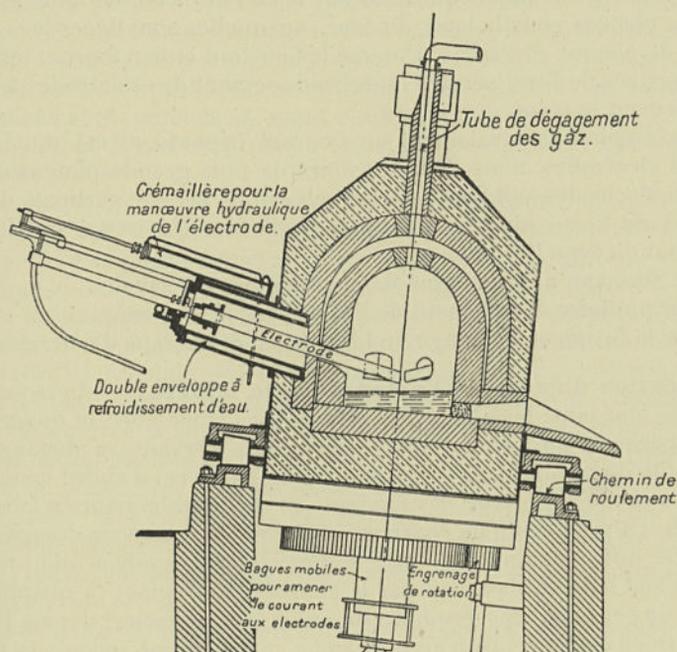


Fig. 222. — Four Stassano.

permis de produire industriellement de l'acier, en partant directement du minerai de fer. Elles étaient faites dans un four ressemblant beaucoup à

un petit haut fourneau dans lequel on aurait remplacé les tuyères par des électrodes en charbon. Mais quand il eut employé le type de four à sole, ses expériences furent couronnées de succès.

Au début, ce four appartenait au type fixe, mais ayant constaté que le bain métallique n'était pas suffisamment agité pour assurer l'affinage complet et une homogénéité parfaite, on l'a remplacé par un four du type rotatif. Ce dernier est représenté en coupe, suivant l'élévation, par la figure 222.

Description du four. — Le four se compose d'une enveloppe cylindrique formée de plaques en acier, montée sur un chemin de roulement disposé d'une façon telle que l'axe du four fasse un angle de 7° par rapport à la verticale. La rotation du four se fait au moyen d'un engrenage actionné par un moteur. Le revêtement intérieur de l'enveloppe est fait de blocs de magnésite. Les électrodes traversent presque horizontalement l'enveloppe et le revêtement du four et sont enfermées dans une sorte de gaine, boulonnée à l'enveloppe, servant à la fois de guide et de support et traversée par une circulation d'eau froide. Les extrémités intérieures des électrodes sont dirigées vers le centre du four. L'arrangement des électrodes se fait au moyen de petites crémaillères hydrauliques. Le courant y est amené par des câbles qui passent à travers le pivot et qui sont reliés à des balais qui assurent le contact avec les bagues coussissantes, placées sous la base du four, auxquelles sont fixées les câbles flexibles de chaque électrode. Comme le four tout entier tourne, les conduites d'arrivée de l'eau servant au refroidissement des électrodes traversent également le pivot.

Le four emploie généralement un courant triphasé et est muni pour cela de 3 électrodes, mais dans les fours de plus grande dimension on emploie 6 électrodes soit 2 sur chaque phase. La section verticale de ces électrodes est beaucoup plus petite que celle des électrodes employées dans le four du type Héroult.

Le four Stassano a été imaginé dans un double but savoir :

- (a) Pour produire directement de l'acier avec le minerai ;
- (b) Pour la fusion et l'affinage de la fonte ou des scraps d'acier doux.

Fabrication directe de l'acier avec le minerai. — Lorsque l'on emploie le four pour la fabrication directe de l'acier avec le minerai, la partie supérieure du four est munie d'un tube servant au dégagement des produits de la combustion. Le minerai employé est d'abord concassé, puis broyé et mélangé avec des fondants et du charbon pour en faire des briquettes. La proportion de charbon employée varie avec la composition du minerai utilisé lequel doit être soigneusement analysé afin que sa réduction soit faite entièrement par le charbon. En réglant la quantité de charbon, on peut arriver à produire diverses sortes d'acier, depuis l'acier très pauvre en carbone jusqu'au plus riche, voire même jusqu'à la fonte.

Les particularités suivantes, résultats d'expériences entreprises par Stassano pour la production directe de l'acier en partant du minerai, sont extraites de l'étude de M. R. Catani¹. Dans les premières expériences, on

¹ *Journal iron and Steel Institute*, 1911, II, p. 215.

employait du minerai hématite de bonne qualité, contenant 93,02 p. 100 de Fe^2O^3 que l'on moulait sous forme de briquettes avec du brai et que l'on chargeait ensuite dans le four avec du charbon de bois et du calcaire. Pour une seconde série d'expériences, on utilisait un minerai différent contenant 68,7 p. 100 de Fe^2O^3 . Celui-ci était concassé, puis mis en briquettes avec une solution de silicate de soude à 25 p. 100 au lieu de brai. On obtenait un acier de bonne qualité, mais on ne fit que quatre charges expérimentales de 100 kilogrammes chacune.

Ce procédé ne paraît pas avoir reçu beaucoup de développement, le four ayant surtout été utilisé pour fabriquer de l'acier avec des scraps d'acier doux.

Fabrication de l'acier avec les scraps. — Les particularités suivantes¹, relatives à un four de 1 tonne (300 HP) produisant en Allemagne de l'acier pour moulages, donnent la méthode suivie pour fondre et affiner des scraps d'acier doux dans un four Stassano.

Le four porte 3 électrodes, munies chacune d'une crémaillère hydraulique et refroidies par circulation d'eau froide. Les matériaux employés sont des scraps d'acier de bonne qualité contenant 0,2 à 0,3 p. 100 de carbone; 0,3 à 0,5 p. 100 de Mn; 0,07 à 0,09 p. 100 de Si; 0,03 à 0,15 p. 100 de S et 0,08 à 0,12 p. 100 de P.

Avant de mettre le four en marche, le revêtement est complètement séché. Les électrodes sont alors mises en place, les arcs formés et le four, amené à une haute température, est prêt à recevoir la charge. Les électrodes sont alors retirées, on introduit les deux tiers de la charge, les charbons sont ramenés en avant et on envoie le courant.

Le voltage fourni est de 105 à 110 et l'ampérage est réglé entre 1000 et 1100 ampères.

On ajoute un peu de minerai de fer ou des battitures avec de la chaux à la charge initiale, afin de l'affiner et de la déphosphorer. On retire la première scorie formée avant que la charge soit complètement fondue, et lorsque le bain est entièrement liquide, on ajoute le restant de la charge aussi rapidement que possible sans interrompre le courant. Quand toute la charge est fondue (ce qui demande environ trois heures et demie) on retire la seconde scorie et l'on ajoute, si c'est nécessaire, davantage de battitures et de chaux. Il se forme encore une troisième scorie qui est enlevée à son tour, et l'on forme une scorie finale par addition d'une petite quantité de chaux et de ferro-silicium, ce qui complète l'affinage du métal. Au bout de quinze minutes environ, on ajoute du ferromanganèse et l'on coule la charge sept minutes après. On ajoute dans la poche une petite quantité d'aluminium. Pour obtenir des aciers riches en carbone, on ajoute des fontes suédoises quelques instants avant la coulée.

Une charge de 1000 kilogrammes nécessite une consommation de force de 800 à 1 000 kilowatts-heure, selon la pureté des matériaux employés et le degré d'affinage demandé. On peut prendre le chiffre moyen de 900 kilowatts-heure. En plus de cela, le four doit être maintenu chaud

¹ Foundry Trade Journal, 1909, p. 49.

durant les arrêts, ce qui s'obtient en envoyant le courant de façon intermittente selon les besoins.

Le produit fini, qui est un acier pauvre en carbone, a la composition chimique suivante :

C	0,08 à 0,18 p. 100.
Si	0,08 à 0,10 —
Mn.	0,4 p. 100.
P	0,06 —
S	0,03 —

Production et prix de l'installation. — Le prix d'un four de 1 tonne, en y comprenant les tableaux de distribution, les fondations, etc. est approximativement de 43 750 francs. Avec ce four, on peut faire 3 à 4 charges de 1 000 kilogrammes en vingt-quatre heures, de sorte que si le four fonctionne deux cent quarante jours par an, avec une production journalière moyenne de 3 500 kilogrammes, la production annuelle sera de 840 tonnes.

Charge annuelle pour l'amortissement (10 p. 100) .	4 375,00 fr.
— — — pour intérêt du capital (5 p. 100) .	2 187,50 —
Charge annuelle totale.	<u>6 562,50 fr.</u>

D'où l'on a :

Frais d'amortissement et d'intérêt par tonne d'acier liquide

$$\frac{6\,562,50}{840} = 7,81.$$

*Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide,
pour moulages en acier au carbone).*

Frais d'entretien. — Le remplacement du revêtement de magnésite, qui a lieu au moins toutes les trois semaines, coûte 500 francs. Le remplacement du revêtement exigeant quatre à six jours de travail, il s'en suit que le nombre des jours de travail du four est relativement bas. Environ deux cent quarante comme indiqué. Le prix des matériaux de réparation, les salaires, les frais divers représentent une dépense de 13,75 fr. par tonne d'acier liquide.

Dépense de force motrice et d'eau de refroidissement — En supposant que la consommation de force soit de 900 kilowatts-heure pour fondre et affiner une tonne de métal, et que le prix de cette force soit de 0,03 fr. l'unité, on obtient une somme de 27 francs par tonne d'acier liquide. En plus de cela, il faut compter sur une consommation de 108 unités pour chauffer le four durant les arrêts, soit un supplément de 3,25 fr. Pour refroidir les électrodes, on emploie 2 000 litres d'eau à l'heure représentant une dépense de 0,50 fr. On a donc :

$$\text{Dépense totale de force motrice et d'eau} = 27 + 3,25 + 0,50 = 30,75 \text{ fr.}$$

Prix des électrodes. — La durée des électrodes est de 9 charges, et chacune coûte 5 francs, soit 45 francs la série des trois. Le prix des électrodes par tonne d'acier est donc de $\frac{45}{9} = 1,64$ fr., mais comme celles-ci sont placées presque horizontalement, il arrive que l'on en casse assez souvent pendant le chargement du four, aussi faut-il compter sur une dépense de 3,10 fr. par tonne d'acier.

Prix de la main-d'œuvre. — Un four de 1 000 kilogrammes exige une équipe de 3 ouvriers. En Allemagne, où fonctionne ce four, les salaires de l'équipe de jour et de nuit sont de 37,50 fr. soit $\frac{37,5}{3,5} = 10,70$ fr. par tonne d'acier liquide.

Prix des matières premières. — En prenant les chiffres indiqués pour une charge type, les matériaux employés pour une tonne d'acier sont les suivants, indépendamment des scraps.

20 kilogrammes de battitures à 21,25 fr. la tonne . . .	0,42 fr.
20 — de chaux à 15 francs la tonne	0,30 —
4 — de ferro-manganèse (80 p. 100) à 275 francs la tonne	1,10 —
8 — de ferro-silicium (12 p. 100) à 187,50 fr.	1,50 —
0,70 kg. d'aluminium	1,45 —
Dépense totale de fondants et de ferros . . .	<u>4,77 fr.</u>

RÉSUMÉ DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 43 750 francs.

Amortissements et intérêts	7,81 fr.
Entretien	13,75 —
Force motrice et eau	30,75 —
Electrodes	3,10 —
Main-d'œuvre	10,70 —
Matières premières : Scraps d'acier	83,75 —
Fondants et ferros	4,77 —
Direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	<u>5,35 —</u>
Dépense totale par tonne d'acier	159,98 fr.

CHAPITRE XL

FOURS A INDUCTION

Le chauffage par les courants induits, constitue le point caractéristique des fours décrits dans ce chapitre. Ces fours sont des transformateurs, le courant étant induit dans le bain de métal qui joue le rôle d'un enroulement secondaire. Le premier four à induction fut breveté en 1887 par M. S. de Ferranti, mais son principe ne reçut une application industrielle que vers 1900, époque à laquelle feu le Dr Kjellin utilisa son four à Gysinge, en Suède, et dont il existe actuellement plusieurs types modifiés, dont les plus importants seront étudiés dans les pages suivantes.

Four Kjellin.

Le premier four Kjellin était construit pour traiter une charge de 80 kilogrammes exigeant une force de 78 kilowatts, soit environ une production de 270 kilogrammes en vingt-quatre heures et une consommation moyenne de force supérieure à 7 000 kilowatts-heure par tonne d'acier. Tout ceci fut perfectionné petit à petit, jusqu'à ce que le four soit arrivé à produire, avec 58 kilowatts, de 600 à 700 kilogrammes de lingots d'acier en vingt-quatre heures. Chaque charge était environ de 400 kilogrammes et le temps employé variait entre trois et quatre heures. Le revêtement du four était fait avec des briques de silice qui devaient être remplacées une fois par semaine. Les résultats obtenus avec ce four furent encourageants (quoique peu satisfaisants au point de vue commercial) de sorte qu'en 1902, on fit construire un four produisant près de 4 tonnes en vingt-quatre heures, prenant 225 kilowatts et produisant à chaque coulée près de 1 000 kilogrammes de métal. Le revêtement de ce four était fait en magnésite, car on avait constaté que dans les petits fours la charge enlevait au revêtement une grande quantité de silicium. (Le revêtement de magnésite dure en outre plus longtemps, le premier n'ayant été remplacé qu'après douze semaines.)

Description du four. — La disposition du four Kjellin est visible sur la figure 223, qui représente un des types fixes. La figure 224, représente le schéma des circuits électriques du four. En principe, ce four est un transformateur dans lequel le creuset circulaire joue le rôle d'un enroulement secondaire court-circuité, le creuset formant le bain de fusion du métal.

Le creuset est fermé avec un couvercle et l'espace central de cet anneau

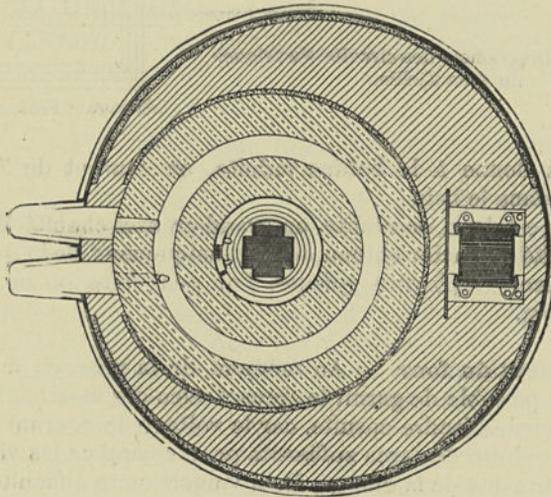
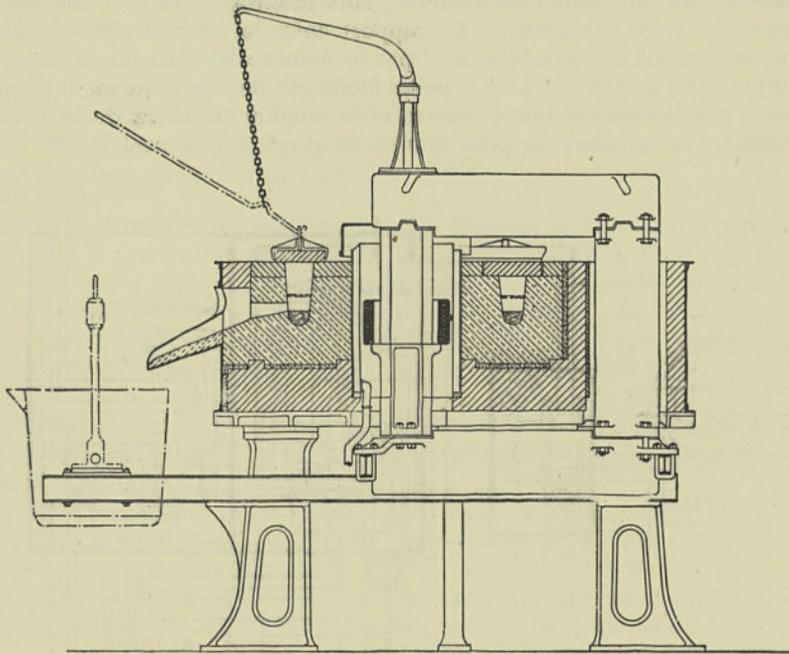


Fig. 223. — Four Kjellin.

est occupé par un noyau composé de plaques en fer doux. Ce noyau est entouré par une bobine composée de fils de cuivre, isolée par de l'amiante et reliée au générateur de courant alternatif. Le courant traversant cette

bobine, excite dans la masse de fer un flux magnétique variable, et la variation du flux induit un courant dans le circuit fermé, formé par le métal fondu dans le creuset. Le rapport entre le courant primaire et le courant secondaire est déterminé par le nombre de tours du primaire et l'importance du courant dans le métal fondu est alors pratiquement donnée par le produit du courant primaire et le nombre de tours de la bobine primaire. Ainsi, dans un petit four de ce genre, un courant de 500 volts

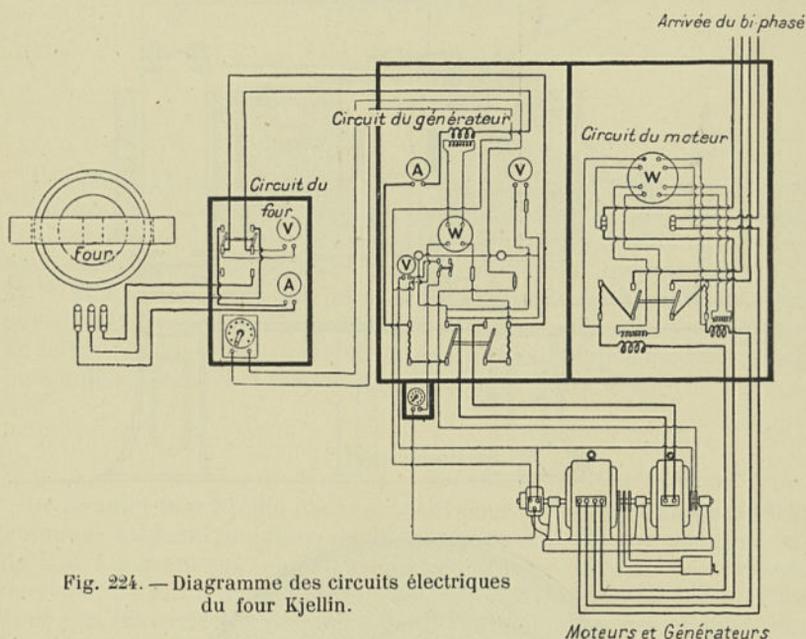


Fig. 224. — Diagramme des circuits électriques du four Kjellin.

et 280 ampères donne à la bobine induite, un courant de 7 volts et 20 000 ampères dans le bain.

Le four Kjellin est donc, en réalité, un grand creuset chauffé électriquement, et la qualité de l'acier obtenu dépend uniquement de la qualité des matières premières employées puisque l'on peut faire ou ne pas faire d'affinage du bain.

Fonctionnement du four. — Au moment de la mise en marche du four, il n'est pas possible de garnir le creuset avec des morceaux de fonte ou de scraps pour les fondre ensuite, car le voltage du courant induit est trop bas pour produire des arcs suffisants pour enjamber les vides entre les différents morceaux de la charge. Pour vaincre cette difficulté on doit, ou remplir le creuset avec du métal préalablement fondu, ou mettre dans le creuset un anneau en fer que l'on fond ensuite pour former le bain. Lorsque le four travaille d'une façon continue, l'usage est de laisser dans le fond du creuset une quantité suffisante de métal au moment de la coulée de la charge, pour provoquer un circuit complet dans le creuset avant l'introduction de la charge suivante.

Au commencement de la fusion, le four n'est chargé que d'une partie de la charge et ce n'est que quand celle-ci est fondue, que l'on ajoute le restant petit à petit. Le carbone et le silicium sont apportés par des matériaux choisis qui produisent l'acier désiré et l'on peut obtenir, par des additions appropriées, des aciers spéciaux de toute composition. Nous indiquerons au Chapitre XLV, relatif aux « Matériaux employés dans le procédé électrique », les charges types des matériaux employés et les indications relatives au travail du four.

Prix et données de fabrication. — Puisque le four Kjellin convient surtout à la fabrication de l'acier extra en partant de matériaux purs, il s'en suit que le prix de ces matériaux constitue, de beaucoup, le facteur le plus important du prix de revient de l'acier fabriqué. Ce procédé peut être comparé avec le procédé au creuset, la force électrique se substituant au coke ou au gaz. Nous donnons ci-dessous, les données générales relatives au travail du four.

Production du four : un four de 165-170 kilowatts fabriquant des aciers à outils, à coupe rapide, peut faire en vingt-quatre heures, quatre fusions de 1 000 kilogrammes chacune.

Frais d'entretien : le prix de remplacement du revêtement d'un four de 1 tonne, est environ de 3 francs par tonne d'acier produite.

Force : quand on fabrique de l'acier à outil avec des fontes de bonne qualité et des scrap d'acier, il faut compter sur une consommation de 800 kilowatts-heure par tonne d'acier. Si, d'autre part, cette force est vendue au prix de 0,031 fr. le kilowatt-heure, la dépense par tonne d'acier sera approximativement de 25 francs.

Main-d'œuvre : un four de 1 tonne exige une équipe de 3 ouvriers.

Pertes à la fusion : la perte à la fusion d'une charge de matières premières de bonne qualité est approximativement de 2 p. 100.

Four électrique Röchling-Rodenhauser.

Dans le four Kjellin, la difficulté est de ne pouvoir travailler avec des matériaux devant être affinés et traités en grande quantité. Par exemple, si l'on doit traiter une charge de 3 tonnes et plus, la section du bain devient très large, provoquant une faible résistance, abaissant conséquemment le facteur force et nécessitant l'emploi d'un générateur à basse fréquence. De plus, les méthodes de désulfuration et de déphosphoration sont très lentes dans le four Kjellin, car il est difficile de maintenir à cet effet, les scories suffisamment fluides. Pour surmonter toutes ces difficultés, le D^r Rodenhauser et le D^r Schonawa des usines Röchling, à Volklingen, Allemagne, ont modifié le four Kjellin et en ont fait un four perfectionné, connu sous le nom de four « Röchling-Rodenhauser ».

Description du four. — Ce four est construit pour utiliser des courants mono, bi ou triphasés et se compose d'un four-transformateur, basé sur le principe du four Kjellin, mais ayant deux bains en forme d'anneau, adjacents et communiquant avec un autre, dans le cas d'un four monophasé, et avec trois autres, dans le cas d'un four triphasé.

La figure 225, représente deux vues du four monophasé. La communication des bains en forme d'anneaux, se fait sous forme d'une sole carrée ou rectangulaire munie de portes à l'avant et à l'arrière.

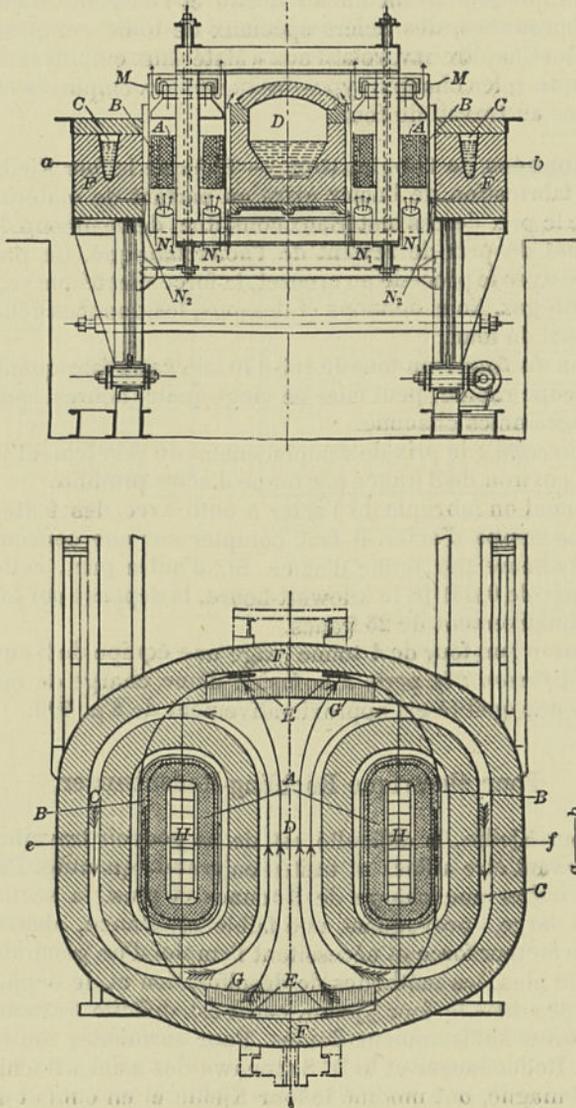


Fig. 225. — Four monophasé de Röchling-Rodenhauser.

Le point caractéristique se trouve dans un enroulement secondaire formé de gros câbles de cuivre, placé autour et sur le même axe que le primaire (un sur chaque côté de la bobine) et entouré par les anneaux formant bain. Les secondaires, formés de quelques tours seulement, sont

reliés aux plaques conductrices noyées dans les parois du four. Ces plaques en acier sont plissées et enduites d'un composé à base de magnésite, de dolomie et de goudron. Quoique ces plaques, quand elles sont

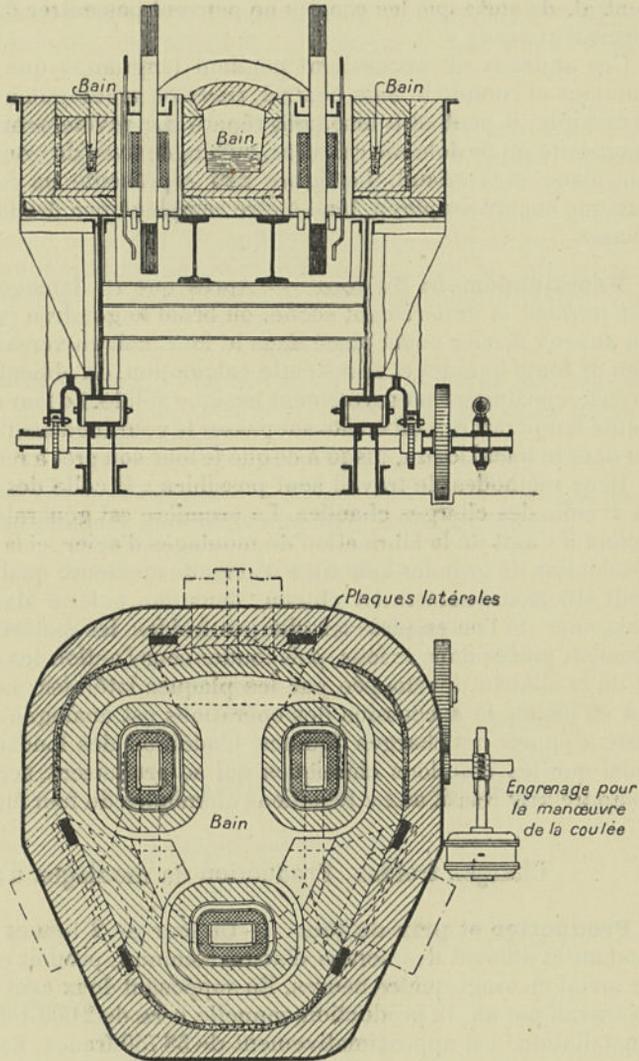


Fig. 226. — Four triphasé Röchling-Rodenhauser.

froides, agissent comme de mauvais conducteurs, elles agissent comme d'excellents conducteurs lorsque le four est chargé de métal fondu et laissent volontiers passer le courant. Par ce moyen, environ 70 p. 100 du courant est transmis au bain par induction dans les bains en forme d'anneaux et le restant par les plaques latérales. Le secondaire en cuivre est

placé tout près du primaire pour maintenir le facteur-force aussi élevé que possible.

La partie du bain ayant la forme d'un anneau est recouverte avec des briques, à une hauteur au-dessous du niveau de la charge dans le bain central, de sorte que les scories ne peuvent pas entrer dans ces baigns en forme d'anneaux.

Ces anneaux ne nécessitent pendant longtemps que des réparations minimales et comme le bain central, carré ou rectangulaire, est facilement accessible, il peut être aisément réparé. Le revêtement se compose de magnésite ou de dolomie calcinée, mélangée avec du goudron. Il est damé sur place et à chaud. La figure 226 représente un four triphasé qui, quoique encore employé, tend à être remplacé par des fours mono ou bi-phasés.

Fonctionnement du four. — Après que le damage du revêtement est terminé et entièrement séché, on brûle le goudron (soit en chauffant un anneau d'acier coulé placé dans le four, soit en versant sur la sole un peu de fonte liquide) et après cette calcination, on obtient une masse cendreuse constituant un revêtement basique solide. Le four est alors porté à haute température, soit en faisant passer le courant dans l'anneau de métal ou dans le métal fondu, jusqu'à ce que le four soit prêt à recevoir la charge.

Deux méthodes de travail sont possibles : 1° celle des charges froides et 2° celle des charges chaudes. La première est généralement employée quand il s'agit de la fabrication de moulages d'acier, et la seconde pour la production de grandes quantités d'acier de meilleure qualité que celui qui peut être convenablement obtenu, dans une aciérie Martin-Siemens ou Bessemer. Si l'on emploie les charges froides, les matériaux sont préalablement placés dans le four, puis fondus sous l'action des courants induits et de la chaleur développée par les plaques latérales. Lorsque le métal est en fusion, la succession des opérations est analogue à celle qui consiste à épurer les charges liquides. L'addition des fondants nécessaires, ainsi que les réactions chimiques qui se produisent, seront étudiées au Chapitre XLIV relatif aux « Réactions chimiques du four électrique ».

Charges froides. Production de moulages d'acier.

Production et prix du four. — Un four de 2 tonnes (280-300 k.-w.) fondant et affinant des scraps d'acier commun, produit environ 8 tonnes de métal en vingt-quatre heures. En supposant deux cent cinquante jours de travail par an, la production annuelle sera de 2 000 tonnes. Le prix de l'installation¹ est approximativement de 58 750 francs. En supposant une retenue de 10 p. 100 pour l'amortissement et de 5 p. 100, pour les intérêts du capital engagé, la charge annuelle sera de 15 p. 100 soit 8812,50 fr. D'où on a :

$$\begin{aligned} & \text{Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier} \\ & = \frac{8812,50}{2000} = 4,40 \text{ fr.} \end{aligned}$$

¹ *Transactions American Foundrymen's Association*, 1914, p. 243.

*Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide,
pour moulages en acier au carbone).*

Frais d'entretien. — Les frais d'entretien, du revêtement, de l'installation générale, des outils, représentent une somme de 3,45 fr. par tonne d'acier.

Prix de la force. — Il faut environ 700 kilowatts-heure pour fondre la charge et 200 kilowatts-heure pour l'affiner. (Ce dernier chiffre dépend naturellement du degré d'affinage cherché.) A 0,031 fr. le kilowatt-heure, cela représente une dépense de force d'environ 27,90 fr. par tonne d'acier. En plus de cette force, il faut tenir compte de celle employée pour vider le four et de celle consommée par le ventilateur servant au refroidissement du transformateur et représentant une dépense approximative de 0,20 fr. par tonne.

Prix de la main-d'œuvre. — Le travail du four nécessite une équipe de 2 à 3 ouvriers dont le salaire total (sur les bases américaines) serait environ de 7,80 fr. par tonne d'acier.

Prix des matières premières. — Nous donnons ci-dessous, un exemple des proportions des matériaux employés dans la charge.

250 kilogrammes de scraps empaquetés à 58,50 fr. la tonne	14,60 fr.
250 kilogrammes de copeaux et tournures à 48 francs la tonne	12,00 —
500 kilogrammes de vieux rails d'acier à 71,50 la tonne.	35,75 —
Total	62,35 fr.
Plus les pertes	3,15 —
Dépense totale	65,50 fr.

La proportion moyenne des fondants par tonne d'acier est :

Battitures	10 kilogrammes.	} Prix : 2,25 fr.
Chaux	35 —	
Spath-fluor	5 —	
Sable	9 —	
Ferro-manganèse	4 —	

RÉCAPITULATION DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 58 750 francs.	
Amortissements et intérêts	4,40 fr.
Entretien et outillage.	3,45 —
Force pour la fusion et l'affinage	27,90 —
— l'air de refroidissement et la coulée	0,20 —
Total	35,95 fr.

	Report	35,95 fr.
Main-d'œuvre		7,80 —
Matières premières (scraps d'acier)		65,50 —
— — (fondants).		2,25 —
— — (pertes de fondants pour $\frac{1}{4}$ du métal restant sur la sole)		0,80 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)		3,90 —
Dépenses par tonne d'acier liquide		<u>116,20 fr.</u>

Charges chaudes : affinage du métal fondu.

L'exposé suivant des dépenses est relatif à un four de 5 tonnes, affinant le métal chaud d'un mélangeur. Le temps nécessaire pour chaque chauffe est d'environ $2\frac{1}{2}$ heures, ce qui représente une production de 40 tonnes par journée de vingt-quatre heures, soit une production annuelle de 10 000 tonnes, pour deux cent cinquante jours de travail par an.

Le prix de l'installation¹ est approximativement de 88 500 francs. En admettant 10 p. 100 d'amortissement et 5 p. 100 d'intérêt du capital, la charge annuelle soit 15 p. 100 sera de 13 275 francs. On a alors :

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier affiné

$$\frac{13\,275}{10\,000} = 1,32 \text{ fr.}$$

RÉCAPITULATION DES DÉPENSES

Prix de l'installation : 88 500 francs.	
Amortissements et intérêts	1,32 fr.
Entretien et outillage.	3,30 —
Force pour l'affinage (280 kilowatts-heure à 0,031 le kilowatt-heure)	8,68 —
Force pour les appareils auxiliaires	0,30 —
Main-d'œuvre	2,60 —
Matières premières (métal liquide du mélangeur à 62,50 la tonne)	62,50 —
Matières premières (flux, etc.)	3,10 —
— — (pertes par oxydation soit 3 p. 100).	1,85 —
Prix de l'affinage dans le mélangeur.	15,60 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	1,30 —
Dépenses par tonne d'acier liquide	<u>100,55 fr.</u>

Four électrique Frick.

Description du four. — Ce four diffère de celui de Kjellin par la disposition des enroulements primaires. La figure 227 en représente une coupe en élévation. Les enroulements primaires sont plats et sont dis-

¹ *Transactions American Foundrymen's Association*, 1911, p. 245.

posés tous les deux dessus et dessous le creuset annulaire de fusion. Le principe du travail est le même que celui du four Kjellin.

Les renseignements suivants sont relatifs ¹ à un four Frick de 10 tonnes, installé aux usines de MM. Fried Krupp. Ce four est employé pour la fusion de matériaux de bonne qualité destinés à la fabrication d'aciers de qualité extra. Il travaille habituellement avec une charge de $8\frac{1}{2}$ t. dont on retire, l'opération étant terminée, $6\frac{1}{2}$ t., le restant, soit 2 tonnes, est laissé dans le four pour maintenir le circuit pour l'opération suivante. Le diamètre exté-

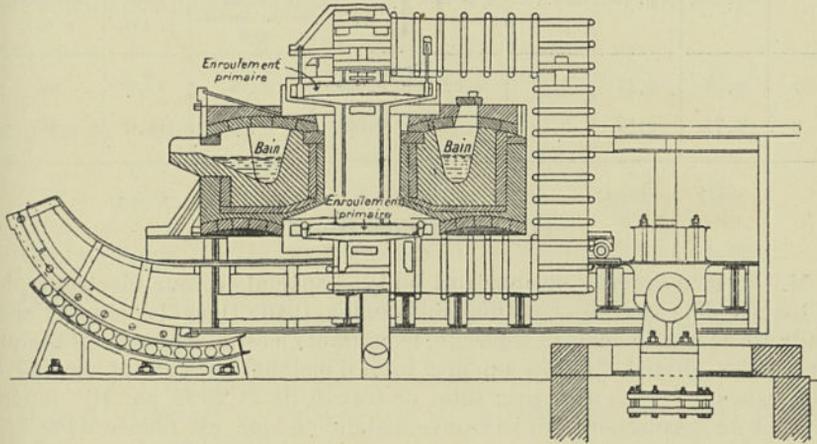


Fig. 227. — Four Frick.

rieur du four est de 4,40 m., le creuset annulaire a un diamètre extérieur de 2,70 m. et un diamètre intérieur de 1,90 m. Le courant primaire employé est de 5000 volts sous une fréquence de 5 périodes à la seconde, le courant étant de 265 ampères. Le facteur force du circuit est de 0,528. Le courant calculé traversant le bain est de 52000 ampères et la résistance du bain est de 0,0002 ohm.

Fonctionnement du four. — Chaque chauffe nécessite une durée de $6\frac{1}{2}$ heures. Pendant les $4\frac{1}{2}$ premières heures, les matériaux sont chargés dans le four à raison de 250 kilogrammes chaque fois, les 2 heures restantes étant employées au chauffage et à l'affinage du bain.

La consommation de force, par tonne d'acier, est en moyenne de 617 kilowatts-heure. Une force réelle de 590 kilowatts est absorbée comme suit : 187 kilowatts pour maintenir la température du four (en tenant compte des pertes par radiation et par conductibilité), et les 403 kilowatts restant sont entièrement employés à la fusion et à l'affinage du bain.

Pendant une période de huit semaines, ce four a fait 180 charges représentant une production de 1150 tonnes.

Nous donnons ci-dessous l'analyse chimique et les essais mécaniques

¹ *Iron and Coal Trades Review*, 26 août 1910, p. 320.

de deux aciers fabriqués avec ce four. Nous n'avons aucune indication relative à la composition des matériaux employés, mais comme ce four ne sert qu'à la fabrication des aciers de qualité extra, il s'en suit naturellement que l'on n'y emploie que des matériaux de choix ne nécessitant qu'un très petit affinage.

N°	COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ACIER PRODUIT					ESSAIS MÉCANIQUES		
	C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.	Résistance à la traction. Tonnes par centimètre carré.	Allongement p. 100.	Contraction de surface p. 100.
1	0,38	0,23	0,30	0,02	0,024	5 ^t ,36	27,5	65
2	0,77	0,45	0,40	0,013	0,015	8 ^t ,85	16,6	46

Four électrique Hiorth.

M. Hiorth a breveté et construit un type spécial de four électrique de 5 tonnes de capacité, fonctionnant depuis 1910. Dans la plupart des endroits de la côte ouest de Norvège, le courant électrique peut être obtenu, grâce aux chutes d'eau, à un prix total d'installation, variant de 125 à 150 francs le HP. et à un prix total de travail de 21,25 fr. par HP année. L'usine de Jassingfjord, où se trouve installé ce four, est placée dans ces conditions. Elle emploie un courant monophasé de 250 volts, à 12,5 périodes.

Description du four. — Le four de 5 tonnes actuellement en service, est un four à induction à double canal, dont le primaire est composé par quatre bobines groupées en série. Les bobines supérieures sont concentriques avec les canaux de chauffage et de fusion et sont suspendues à des poulies au moyen de câbles flexibles. Lorsque le four est en marche, les bobines sont rapprochées du couvercle des canaux, mais on peut les écarter de 0,60 m. quand on veut soulever le couvercle. Les bobines supérieures sont constituées par des barres en cuivre nu, non isolées, enroulées en spirales. Les bobines inférieures sont constituées par des conducteurs en cuivre creux, refroidis par circulation d'eau froide et noyés dans le revêtement en magnésite du four, à environ 0,50 m. au-dessous du fond des canaux. L'espace entre l'aimant et la paroi annulaire intérieure du four est de 0,30 m., ce qui permet de fixer solidement cet aimant au sol tout en permettant l'oscillation du four au moment de la coulée.

La jonction des deux canaux a 0,30 m. de large dans le milieu et 1,90 m. de long de l'avant à l'arrière, ce qui constitue un espace suffisamment large pour y mettre les lingots ou les scraps destinés à la fusion. La figure 228 représente quatre vues différentes du four. Le revêtement du four est fait en magnésite calcinée, le couvercle est fait de plaques de silice.

Ce four est surtout employé pour la fabrication d'acier de qualité extra,

analogue à celui que l'on fait dans les creusets. On emploie pour cela les fontes suédoises les meilleures de Dannemora et du fer de Walloon. Les scories des hauts fourneaux de Dannemora sont usées comme fondant et on y ajoute, si l'on veut obtenir une plus grande fluidité, un peu de spath-fluor.

Fonctionnement du four. — Lorsque le four travaille en pleine charge, à la fin de l'opération on en retire 3 tonnes, les 2 tonnes laissées dans le four servant à l'opération suivante. La fonte de Dannemora employée a la composition chimique suivante :

C	Si	Mn	S	P
3,8	0,31	1,727	0,025	0,02 p. 100.

et le fer de Walloon

C	Si	Mn	S	P
0,107	0,013	0,068	0,010	0,009 p. 100.

Nous donnons, ci-dessous, le traitement d'une charge dans le four :

- 12,20 h. Le four contient 2 700 kilogrammes d'acier provenant de la charge précédente (1,0 p. 100 de carbone). On charge 1 000 kilogrammes de fonte et 500 kilogrammes de fer de Walloon. On met le courant.
- 12,30 h. Courant de 1 800 ampères, 273 volts, 380 kilowatts, facteur force = 0,77.
- 13,30 h. Courant de 1 840 ampères, 273 volts, 395 kilowatts, facteur force = 0,80.
- 14,00 h. Courant de 2 050 ampères, 265 volts, 380 kilowatts, facteur force = 0,70.
- 14,30 h. Fusion complète de la charge. Force moyenne, 380 kilowatts pour 2,10 h. = 560 kilowatts-heure par tonne de métal fondu.
- 14,30 h. On charge 350 kilogrammes de fonte et 1 150 kilogrammes de fer de Walloon.
- 15,30 h. Courant 2 275 ampères, 270 volts, 400 kilowatts, facteur force = 0,65.
- 16,30 h. Charge fondue. Courant moyen 440 kilowatts pour deux heures = 540 kilowatts-heure par tonne de métal fondu.
- 17,30 h. Courant 2 370 ampères, 265 volts, 395 kilowatts, facteur force = 0,63.
- 18,00 h. Courant 2 425 ampères, 278 volts, 400 kilowatts, facteur force = 0,53.
- 18,15 h. Courant 2 300 ampères, 280 volts, 365 kilowatts, facteur force = 0,57.

Le métal est amené à la température de coulée. La moyenne du courant usé, pendant les six heures, est de 395 kilowatts soit 805 kilowatts-heure par tonne d'acier.

Pendant la fusion, on a ajouté au bain 45 kilogrammes de ferro-silicium

à 30 p. 100 et 8,500 kg de ferro-manganèse à 80 p. 100. De plus, on a versé dans la poche de coulée 150 grammes d'aluminium.

La main-d'œuvre nécessitée par ce four, en vingt-quatre heures, se compose de : un chef fondeur, un aide fondeur et un gamin par équipe ainsi qu'un ouvrier chef de poche et son aide.

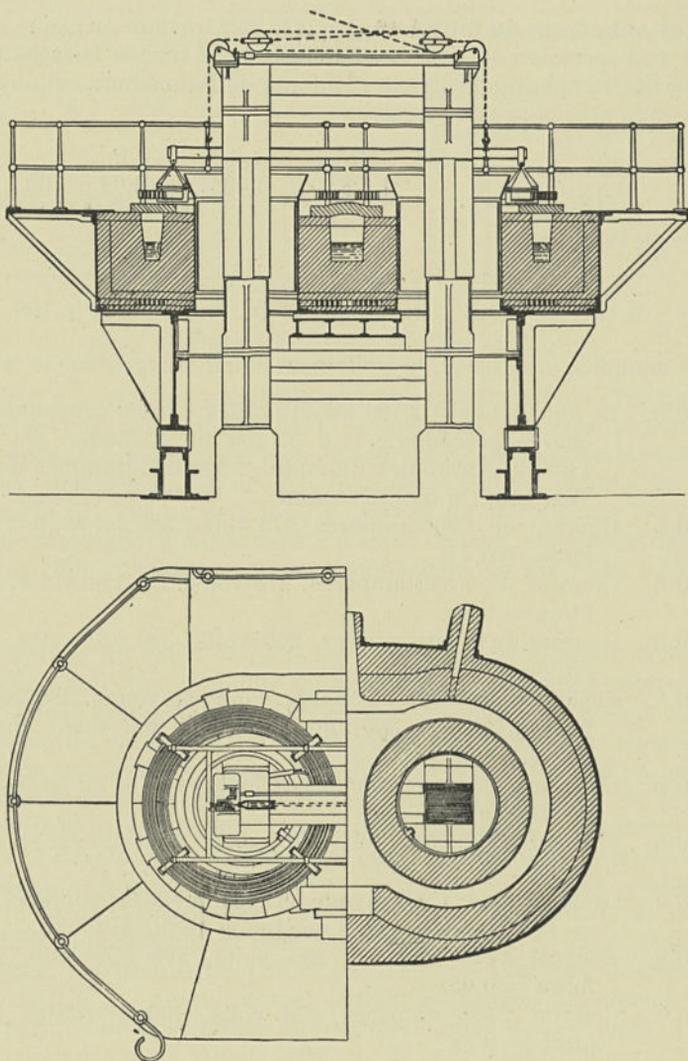


Fig. 228. — Four Hiorth.

La production du four est de 12 tonnes en vingt-quatre heures, soit une coulée de 3 tonnes chaque six heures. Quand on travaille régulièrement, on consomme 700 kilowatts-heure pour la fusion de 1000 kilogrammes de matériaux froids.

Four électrique Paragon.

Ce four fut imaginé par la Grondäl Kjellin C^o., dans le but de réunir en un seul, les principaux avantages des fours à arc, à induction et à résis-

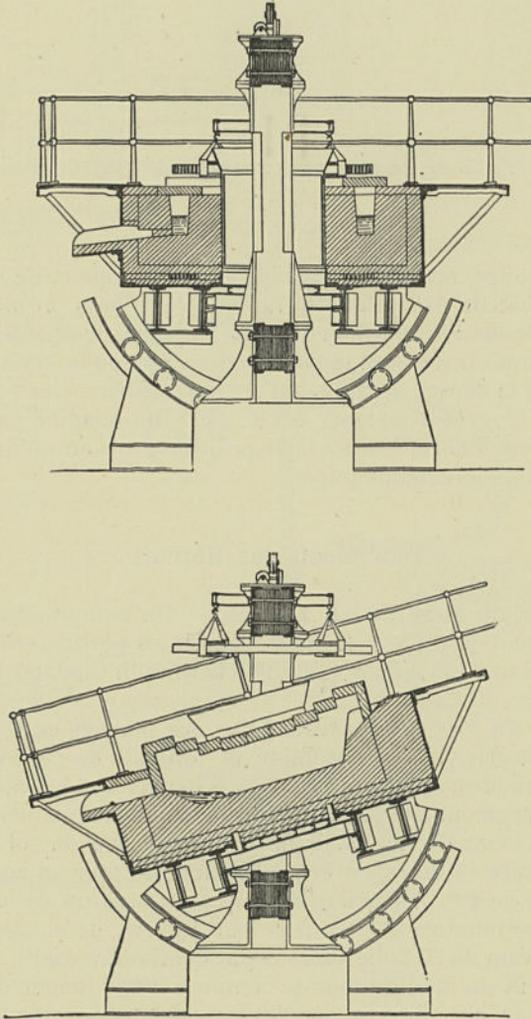


Fig. 228.

tance. Le chauffage du bain métallique se fait au moyen d'électrodes en charbon placées au-dessus du bain et l'affinage se termine au moyen des plaques noyées dans le revêtement du four et au-dessous du bain. C'est cette disposition qui paraît donner les résultats les plus avantageux. Ce four est actuellement à l'essai et nous ne pouvons donner aucun renseignement en ce qui concerne sa valeur industrielle.

CHAPITRE XLI

FOURS A RÉSISTANCE A ARC

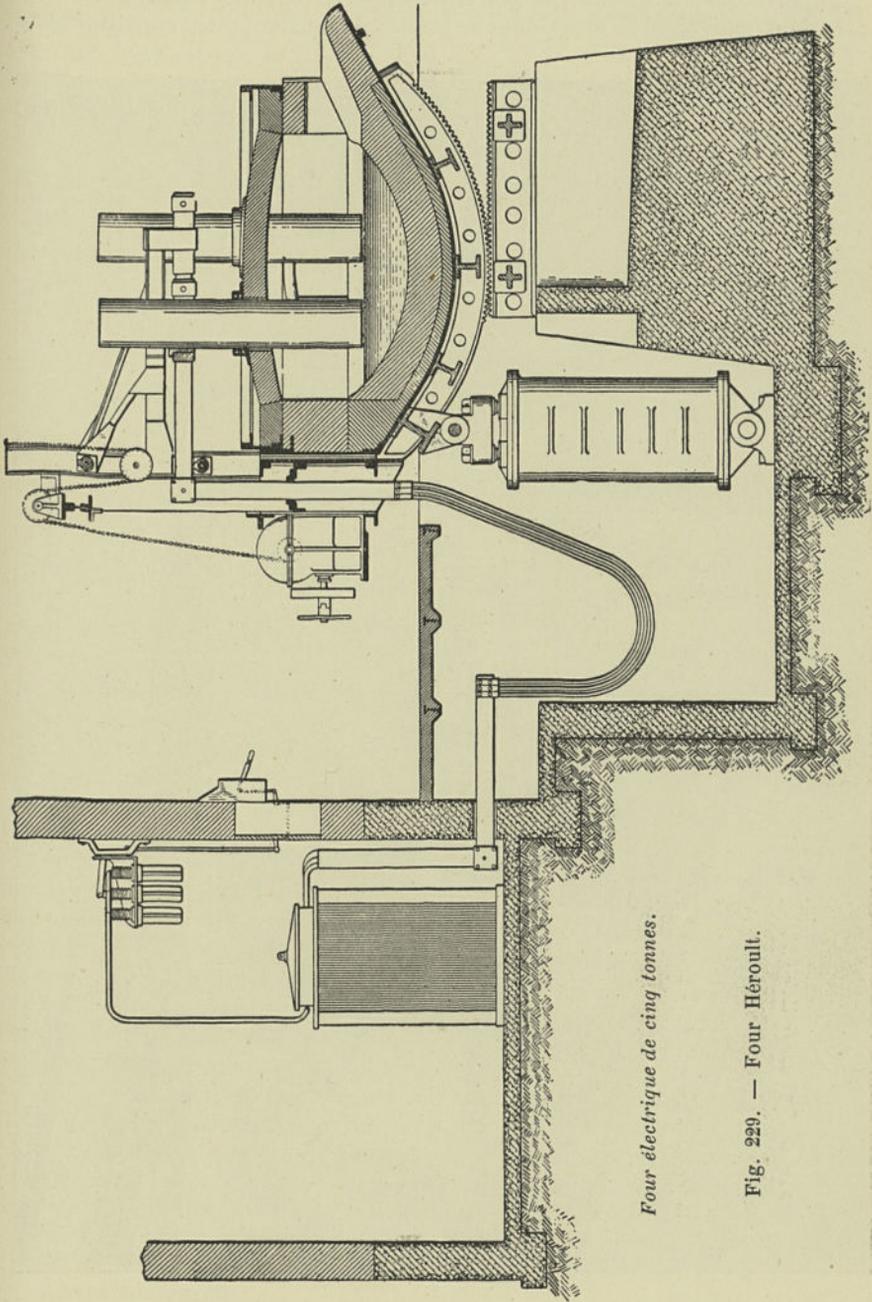
Dans ce chapitre, nous décrirons les fours principaux de ce type dans lesquels la chaleur est produite au moyen d'arcs formés entre les pointes d'électrodes en charbon placées juste au-dessus de la ligne des scories, le courant traversant la couche de scorie ou la surface du métal, et retournant à la source au moyen d'une ou plusieurs électrodes. Le plus important des fours à résistance à arc, est celui imaginé par D^r Héroult en 1902. La figure 229 représente la disposition d'un four moderne triphasé de 5 tonnes, complètement équipé.

Four électrique Héroult.

Description du four de 15 tonnes. — On comprendra plus facilement la construction du four Héroult d'après les particularités suivantes relatives à un four de 15 tonnes, installé à la « South Chicago Works of the Illinois Steel C^o., E. U. »

L'enveloppe du four est constituée par des plaques en tôle d'acier de 25 mm. d'épaisseur, rivées ensemble et formant en plan un cercle de 4,05 m. de diamètre, aplati à l'avant et à l'arrière. A cette enveloppe se trouve fixé un segment denté, qui engrène dans une crémaillère fixe scellée à un massif en béton de 1,50 m. de hauteur au-dessus du sol. Ce segment a un arc de 3 mètres de rayon et peut donner au four un angle d'oscillation maximum de 29°. A l'arrière du four se trouve un cylindre hydraulique de 45 centimètres de diamètre sur 1,20 m. de course, travaillant sous une pression de 35 kilogrammes par centimètre carré.

Le revêtement du fond du four se compose d'une rangée de briques de magnésite de 11 cm. d'épaisseur, les parois latérales verticales sont en magnésite de 45 cm. d'épaisseur. Le fond est composé d'une couche épaisse de magnésite calcinée de Spaeter, ayant au centre une épaisseur de 30 cm, inclinée depuis le haut jusqu'aux extrémités pour former une surface sphérique de 2,15 m. de rayon. La voûte mobile est formée de briques de silice de 30 cm. d'épaisseur. Le four est muni de cinq portes, deux sur chacun des côtés et une, sur l'avant, servant à la coulée. Les portes latérales sont faites en fonte recouverte de briques réfractaires et sont actionnées par la vapeur sous pression.



Four électrique de cinq tonnes.

Fig. 229. — Four Hérault.

Le four utilise le courant triphasé et les trois électrodes forment en plan les extrémités d'un triangle équilatéral ayant 1,55 m. de côté. Les

supports des électrodes qui peuvent supporter des électrodes de 60 cm. (ou leur équivalent en électrodes de petites dimensions) sont constitués par

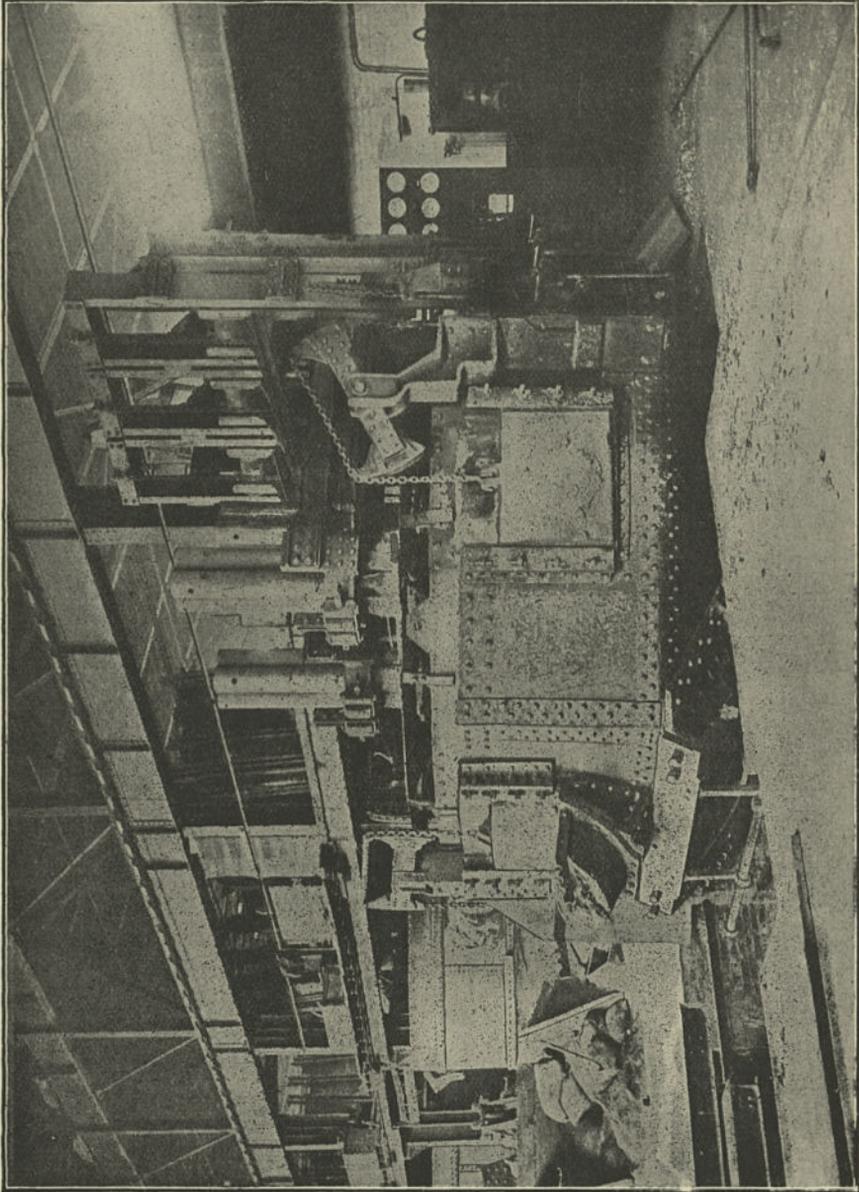


Fig. 230. — Four Héroult de 15 tonnes de la « Worcester Plant, American Steel and Wire Co. », E. U.

des pièces en cuivre coulé, boulonnées à des traverses. Leur réglage se fait soit automatiquement, soit à la main.

La force envoyée à ce four est de 2 200 volts, 3 phases et 25 périodes,

elle est ramenée au four, au moyen de trois transformateurs de 750 kilowatts, à des voltages secondaires de 80, 90, 100 ou 110 suivant les besoins. Ordinairement on emploie le 90 volts.

La figure 230 représente une photographie du four de 15 tonnes de l'American Steel and Wire C^o., Works, Worcester, E. U. et qui est analogue à celui de la South Chicago, que nous venons de décrire.

Jusqu'à ces derniers temps, ces fours étaient les plus forts en service, mais nous apprenons que l'on vient d'installer en Allemagne, aux aciéries de Deutscher Kaiser, un four de 25 tonnes qui travaillera conjointement avec un convertisseur Bessemer de 25 tonnes.

La majorité des fours Héroult, actuellement en service, sont d'une capacité plus petite, c'est-à-dire de 5 à 7 tonnes, mais le principe général et le mode de construction restent les mêmes.

Fonctionnement du four. — Les fours de grandes dimensions emploient des charges de métal liquide, c'est-à-dire affinent du métal Bessemer ou Martin, pour produire un acier de qualité supérieure pour rails, axes, câbles, etc. Une partie des petits fours travaillent de cette façon, tandis que les autres fondent des scraps pour fabriquer de l'acier destiné soit à des moulages, soit à la fabrication des tôles, tubes, etc.

A la mise en marche du four, le revêtement est d'abord parfaitement séché de la manière habituelle, puis après avoir été ensuite progressivement porté à une température élevée, au moyen de feux de coke ou de houille, il est prêt à recevoir la charge. Si on emploie des charges froides, le minerai, la chaux et les scraps sont chargés dans le four, puis on envoie le courant. Quand les scraps sont fondus, l'affinage de la charge se fait de la même façon que celle utilisée pour les charges liquides.

La description qui va suivre est relative à une opération faite à South Chicago, avec un four de 15 tonnes. Dès que le métal soufflé est versé dans le four, on y jette à la pelle les oxydes de fer et la chaux par les portes de travail. Il en résulte la formation d'une scorie basique oxydante qui élimine le phosphore. Au bout de trente minutes, on retire cette scorie et on ajoute le recarburant. Sur la surface propre du métal oxydé, on ajoute rapidement de la chaux et suffisamment de spath-fluor pour former une masse fluide. Au bout de quinze minutes environ, la chaux est fondue et l'on jette de la poussière de coke sur la scorie. L'atmosphère du four devient neutre et quand les réactions de la scorie paraissent terminées, on prélève un échantillon du métal et si son essai donne satisfaction, on relève les électrodes et on coule le métal du four.

Les particularités suivantes sont relatives à une charge type :

Coulée de la charge précédente.	7 heures.
Arrivée du métal demandé	7,15 h.
Commencement de l'opération	7,17 —
Envoi du courant	7,27 —
Décassage. Commencement	8,00 —
— Fin	8,11 —
Coulée	8,48 —

Matériaux employés dans cette charge :

Métal soufflé du convertisseur Bessemer	13 600 kilogrammes.	
Battitures.	318	—
Ferro-manganèse (80 p. 100)	91	—
Ferro-silicium (10 p. 100).	27	—
— (50 —).	36	—
Recarburant	60	—
Spath-fluor	182	—
Poussière de coke.	91	—
Chaux. Première scorie	272	—
— Deuxième scorie	272	—
Dolomie (pour la réparation)	182	—
Magnésite	11	—

Le métal soufflé du convertisseur a la composition chimique moyenne suivante :

C	Si	Mn	P	S
0,05 à 0,10 %	0,005 à 0,015 %	0,05 à 0,10 %	0,095 %	0,035 à 0,07 %

On fait habituellement 12 chauffes en vingt-quatre heures. Quand il faut,

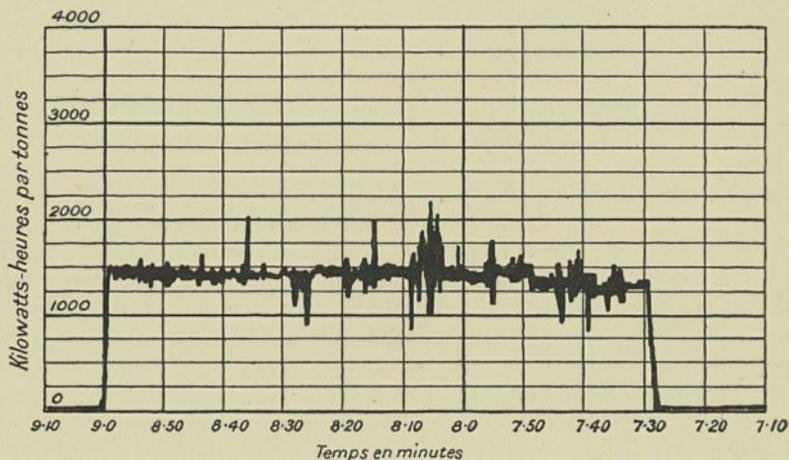


Fig. 231. — Diagramme de four, montrant la consommation du courant électrique, pendant l'affinage d'une charge de métal chaud dans le four Héroult.

à la fois, désulfurer et déphosphorer, la consommation de l'énergie électrique est d'environ 150 kilowatts-heure par tonne, si cependant la charge est pauvre en phosphore, la consommation donne entre 100 et 150 kilowatts-heure par tonne.

La figure 231 représente le diagramme de consommation de force pendant l'affinage de la charge de métal chaud.

Dépenses de fabrication. Four de 15 tonnes. Affinage du métal fondu.

Les frais de fabrication suivants, concernant le travail de fours de cette capacité, sont extraits de renseignements en notre possession.

Production et prix de l'installation. — Le four faisant 12 chauffes en moyenne par jour, en admettant deux cent quatre-vingts jours de travail par an, la production annuelle de métal affiné sera de : $12 \times 15 \times 280 = 50\,400$ tonnes.

Le prix approximatif d'un four de 15 tonnes (non compris les transformateurs et la station génératrice) est de 75 000 francs. Ce prix ne comprend ni les fondations, ni les bâtiments, ni la force hydraulique, etc. Si nous admettons que le prix de l'installation soit de 150 000 francs, un amortissement de 10 p. 100 et un intérêt de 5 p. 100 du capital employé, la charge annuelle, soit 15 p. 100, sera de 22 500 francs. On a donc.

Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier affiné :

$$\frac{22\,500}{50\,400} = 0,44 \text{ fr.}$$

Frais d'entretien. — La voûte de silice coûte 312 francs et peut supporter 100 à 150 chauffes.

Prenons une moyenne de 125 chauffes, les frais d'entretien de la voûte par tonne d'acier seront de

$$\frac{312}{125 \times 15} = \text{environ } 0,20 \text{ fr.}$$

Le fond d'un four de 15 tonnes peut supporter 4 000 à 5 000 chauffes en faisant la réparation ordinaire entre chaque fusion. On estime que les réparations générales et ordinaires du revêtement, de la voûte, des pièces mécaniques, etc. est d'environ 0,90 fr. par tonne.

Prix de la force. — Il faut de 100 à 140 kilowatts-heure par tonne d'acier. En prenant une moyenne de 125 kilowatts-heure à 0,031 fr. l'unité, le prix de la force par tonne = 3,87 fr. (Le prix de l'électricité employée par le four de 12 tonnes de la South Chicago, est de 0,025 par kilowatt-heure.)

Prix des électrodes. — Pour chaque tonne d'acier, on consomme de 4,5 kgr. à 6,3 kgr. du poids de l'électrode. En supposant que le prix des électrodes soit de 350 francs la tonne, la dépense moyenne sera de 1,86 fr. par tonne d'acier affiné.

Prix de la main-d'œuvre. — Le service du four comprend un fondeur, un aide-fondeur et un manœuvre. Au moment de la coulée et du chargement du four, on adjoint un aide supplémentaire. On n'a pas encore adopté un tarif spécial de prix pour les ouvriers occupés aux fours électriques, ce soin était encore laissé aux usines employant ces fours. On

peut cependant estimer que le prix de la main-d'œuvre par tonne est de 0,90 fr.

Prix des matières premières. — En supposant que le prix de la fonte liquide est de 62,50 fr. la tonne, et que son affinage partiel dans le convertisseur Bessemer ou dans le four Martin-Siemens coûte 15,60 fr. la tonne, le prix du métal, partiellement affiné, livré au four électrique est de 78,10 fr. la tonne.

Fondants et ferros. — En admettant les proportions indiquées pour les charges types de la page 538, le prix de ces matériaux par tonne serait de 4,65 fr.

RÉCAPITULATION DES DÉPENSES

Prix de l'installation = 150 000 francs environ.	
Amortissements et intérêts	0,44 fr.
Entretien	0,90 —
Force motrice	3,87 —
Electrodes	1,85 —
Main-d'œuvre	0,90 —
Matières premières (fonte)	62,50 —
— — (affinage partiel)	15,60 —
— — (fondants et ferros)	4,65 —
Pertes de métal	2,50 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	0,45 —
Prix par tonne d'acier liquide	93,66 fr.

Dépenses de fabrication.

Four de 2 $\frac{1}{2}$ t. fabriquant, avec des scraps, l'acier pour moulages.

Supposons qu'il s'agisse d'un four de 2 $\frac{1}{2}$ t. (ce qui est le type de four que l'on emploie généralement dans les petites fonderies) travaillant de jour et de nuit ; il pourra faire 4 fusions en vingt-quatre heures. La durée moyenne d'une fusion et de son affinage est d'environ cinq heures, quoique cela dépende beaucoup de la qualité des scraps employés et de celle de l'acier que l'on veut obtenir.

Production et prix du four. — Un four de 2 $\frac{1}{2}$ t. (sans compter le transformateur ou la station génératrice) coûte environ 20 000 francs. En supposant que le prix de l'installation soit de 50 000 francs — en admettant que l'électricité provienne d'une source extérieure — que l'on prélève 10 p. 100 pour l'amortissement et 5 p. 100 pour l'intérêt du capital employé, la charge annuelle, soit 15 p. 100, sera égale à 7 500 francs. En travaillant deux cent soixante jours par an à raison de 4 charges par jour (vingt-quatre heures) la production annuelle sera de $260 \times 4 \times 2 \frac{1}{2} = 2 600$ tonnes d'où :

$$\text{Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier} = \frac{7\,500}{2\,600} = 2,88 \text{ fr.}$$

*Récapitulation des dépenses par tonne d'acier liquide,
pour moulages en acier au carbone.*

Les dépenses suivantes sont extraites de renseignements particuliers que nous avons en notre possession.

Prix de l'installation : environ 50 000 francs.	
Amortissements et intérêts	2,88 fr.
Entretien des parois, de la voûte, de l'installation mécanique (la voûte fait environ 80 fusions)	3,40 —
Forces, 750 kilowatts-heure à 0,031 l'unité	23,25 —
— pour maintenir la chaleur à l'arrêt hebdo- madaire	1,25 —
Electrodes, 13,6 kg. à 18,1 kg. (moyenne 15,8)	7,25 —
Main-d'œuvre = 1 fondeur, 1 aide, 4 manœuvres	7,50 —
Matières premières : 965 kilogrammes de scraps à	
68,78 fr. la tonne.	} 73,40 —
— — 101 kilogrammes de fonte à	
81,25 fr. la tonne.	
— — fondants et ferros-alliages	5,60
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	3,75 —
Dépenses par tonne d'acier liquide	127,98 fr.

Four Bessemer électrique Cutts.

Ce four a été imaginé dans le but de combiner les procédés Bessemer et électrique, en affinant l'acier Bessemer dans le même four avec l'aide des arcs électriques, ce qui évite de transvaser le métal soufflé du convertisseur dans un four électrique, comme cela se pratique dans le procédé duplex ordinaire.

Description du four. — Ce four est représenté par la figure 232. Il se compose d'une cornue fermée, montée sur tourillons, et munie d'une ouverture sur le côté servant au décrassage et à l'introduction de la charge. A l'une des extrémités du four sont placées les tuyères pour le « soufflage » et à l'autre sont placées les électrodes, qui passent à travers le revêtement du four et qui sont réglées indépendamment l'une de l'autre par les méthodes habituelles électriques ou mécaniques. Les électrodes sont munies d'un dispositif de refroidissement par circulation d'eau froide ou d'air. Du côté des électrodes, il y a un trou de coulée qui peut servir à la coulée du métal fini.

Fonctionnement du four. — Le four est préalablement chauffé de la façon habituelle, puis ensuite chargé avec le métal liquide provenant du cubilot ou du mélangeur, le four étant placé dans la position horizontale. On relève ensuite l'appareil, la charge se trouvant du côté des tuyères. Le vent entre en action dès que l'appareil est dans la position voulue et la transformation se fait comme dans le procédé Bessemer ordinaire.

Pendant ce temps, la partie électrique se trouve chauffée par les gaz chauds, etc., provenant du soufflage. Sur la fin du soufflage, on tourne le four de 180° de façon à faire passer la charge à l'autre extrémité. On envoie alors le courant et on termine l'affinage du métal.

Il est évident que l'utilisation de la flamme de l'opération Bessemer,

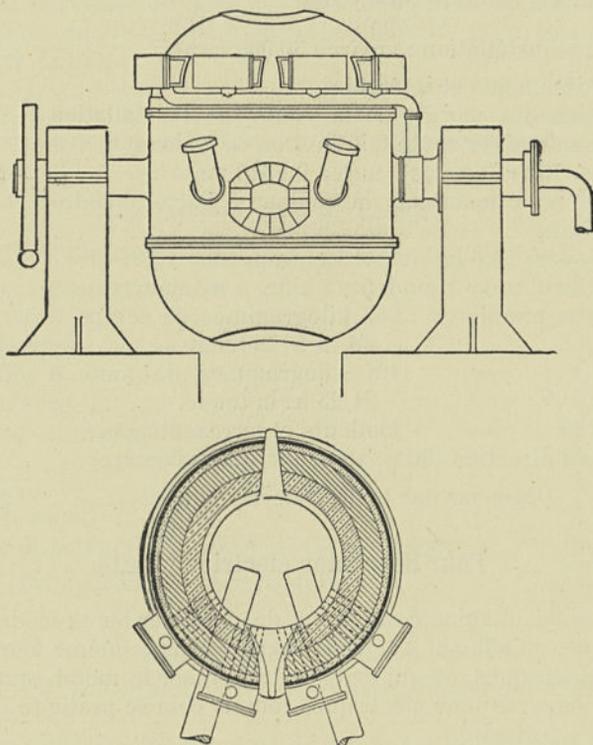


Fig. 232. — Four Bessemer électrique Cutts.

chauffant la sole au-dessus de la température à laquelle on fait l'affinage électrique, il en résulte, pendant la seconde partie du procédé, une économie considérable d'énergie électrique. Si la teneur en phosphore est faible dès le commencement de l'opération électrique, on prétend que la consommation d'énergie est inférieure à 100 kilowatts-heure par tonne d'acier fabriquée. Si, cependant, il faut faire à la fois la désulfuration et la déphosphoration, on emploie environ 190 kilowatts-heure par tonne d'acier.

Four électrique Ruthenburg.

Description du four. — Ce four a été construit pour l'utilisation du courant alternatif triphasé, les extrémités des électrodes étant plongées dans la scorie, le voltage employé est inférieur à celui nécessité pour la formation des arcs. La disposition générale d'un four, avec électrodes de

300 millimètres, est représentée par la figure 233. Le four est cylindrique. Il est construit avec des plaques d'acier doux, le revêtement étant acide ou basique selon les besoins.

La sole est mobile et quand l'opération est terminée, une tige hydraulique vient en contact avec la partie inférieure du truck fixé à la sole, on desserre les écrous de fixation, la sole est abaissée et emmenée avec son truck, et l'acier est coulé par la rigole placée sur le côté au moyen d'une grue comme le représente la figure 234. On comprend que par ce système la réparation de la sole est excessivement facile et dans le cas de réparations importantes on dispose d'une sole de rechange, toujours prête à l'emploi, que l'on met à la place de l'autre. Le temps nécessaire pour abaisser la sole, la vider et la remettre en place est d'environ de douze minutes.

Les électrodes sont protégées par des gaines, refroidies par l'eau, qui s'étendent jusqu'à quelques centimètres du bain. Par ce moyen on évite les ennuis occasionnés par les électrodes non protégées. Les supports des électrodes ont les mêmes dimensions que celles-ci, de sorte que l'électrode tout entière peut traverser l'enveloppe protectrice, ce qui permet d'en utiliser les 90 p. 100 de leur longueur. Grâce à ce dispositif d'utilisation des électrodes, il n'est plus nécessaire de placer la voûte du four immédiatement au-dessus de la partie chauffée, de sorte que celle-ci est placée à une hauteur relativement grande au-dessus du niveau du bain. On cite le cas d'un four de ce genre ayant fonctionné trois ans sans qu'il soit besoin de remplacer la voûte.

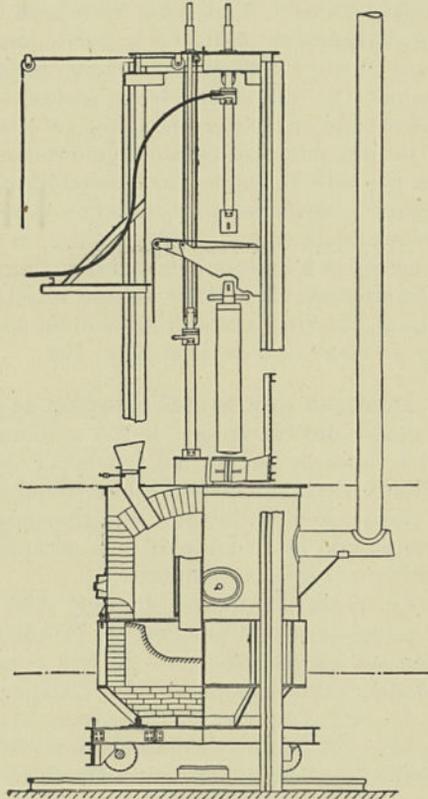


Fig. 233. — Four Ruthenburg.

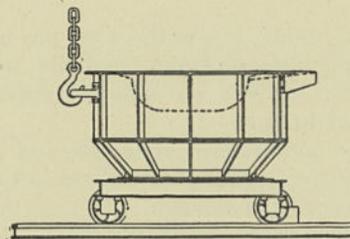


Fig. 234. — Sole mobile du four Ruthenburg, montrant le dispositif de coulée de la charge.

Fonctionnement du four. — Avant d'introduire la charge de métal on fond d'abord le bain de scorie qui se trouve sur la sole. Les paquets de scraps, pauvres en carbone, sont chargés par la porte latérale placée au-dessus du bain, tandis que les scraps légers sont introduits par la trémie de chargement, placée à la partie supérieure du four. Si on le désire, on peut fondre et affiner dans le four, de la fonte et des scraps ou du minerai. Quand il est nécessaire de couler les scories, on débouche au moyen d'une barre, une ouverture destinée à cet usage,

Le procédé, qui emploie généralement des scraps solides, est surtout un procédé de fusion, car les matériaux soigneusement choisis sont chargés en proportions telles que l'on obtient directement la composition chimique finale voulue. Le four utilise un courant à ampérage constant, contrairement à l'usage habituel d'un courant à voltage constant. Ceci permet de faire varier le voltage avec la résistance du bain et dès que celle-ci est établie, la force reste pratiquement constante. On dit que le facteur force de ce four est d'environ 90 p. 100.

Données sur la fabrication et les prix. — Un four de 1 tonne, emploie des électrodes de 250 millimètres, sa sole a 1,20 m. de diamètre et le bain de métal une épaisseur de 150 millimètres. La fusion d'une charge de scraps d'acier doux demande quatre heures, ce qui représente, à raison de 250 kilowatts, une consommation totale de 1 000 kilowatts. En employant de la fonte et des scraps, ou de la fonte et des minerais, ce chiffre est un peu plus bas.

Les frais d'entretien du four sont d'environ de 2,50 fr. par tonne. L'usure des électrodes est de 11^{kg},300 par tonne d'acier fabriqué, représentant une dépense de 5,20 fr. La main-d'œuvre est représentée par un fondeur et un manœuvre pour charger les charges et faire les coulées.

Le prix d'un four est approximativement de 2500 francs pour chaque pouce (0,025 mm.) de diamètre des électrodes, autrement dit un four d'une tonne employant des électrodes de 10 pouces (250 mm.) est approximativement de 25 000 francs.

Four électrique Gin.

En réalité, le four Gin n'est pas un type particulier de four : ce n'est que l'application de types existants, modifiés dans leurs dispositions particulières, car il a été imaginé dans le but d'obtenir une circulation du métal du bain.

De nombreuses méthodes ont été préconisées par les inventeurs de fours électriques pour obliger la totalité du métal à venir en contact avec les scories d'affinage. C'est en vue de vaincre cette difficulté que Gin a imaginé son four, dont la disposition peut aussi bien être appliquée à un four à induction qu'à un four à électrodes.

La figure 235 représente son application à un four à électrodes. Selon que l'on emploie du courant monophasé ou triphasé, le four est muni de deux ou de trois soles, une sous chaque électrode en charbon et elles sont reliées ensemble, sous le niveau du métal fondu qu'elles contiennent, par des canaux inclinés.

Le courant passant par le bas d'une électrode traverse le bain, passe par les canaux de communication et traverse l'autre bain et son électrode. Il est établi, qu'en raison de la chaleur induite dans les canaux de communication et de la différence de niveau qu'il y a d'une extrémité à

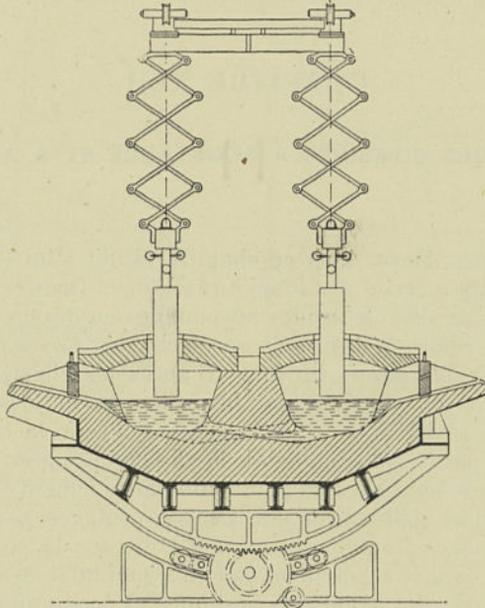


Fig. 235. — Four Gin.

l'autre de ceux-ci, le métal s'élève dans ceux-ci et passe d'une sole à l'autre, de sorte qu'il en résulte une circulation continue qui tend à maintenir le métal à une même température.

CHAPITRE XLII

FOURS COMBINÉS A RÉSISTANCE ET A ARC

Le type de fours décrit dans ce chapitre réunit à lui seul les caractéristiques des fours à arc et des fours à résistance. Dans ces fours, le courant est amené par des électrodes suspendues au-dessus du métal, qu'il traverse pour se rendre à des pôles ou électrodes noyés dans la maçonnerie du fond ou des parois du four. D'après les constructeurs de ces fours, le métal serait chauffé d'une façon beaucoup plus uniforme que dans les fours à résistance. Cependant, par suite de la très faible résistance présentée par le bain de métal, la chaleur produite par le passage du courant dans le bain est très petite comparativement à celle d'un arc, de sorte que l'on ne doit retirer que peu d'avantages par ce moyen. Il existe des différences d'opinion en ce qui concerne la position à donner aux pôles noyés dans le revêtement du four. Quoi qu'il en soit, si ces fours sont appelés à avoir des avantages pratiques et économiques, il faut surtout y rechercher la simplicité de la construction.

Tous les fours décrits dans ce chapitre sont des modifications plus ou moins grandes du four original de Sir William Siemens, représenté par la figure 220 *b*, page 544, la disposition générale reste la même et il n'y a que des modifications de détail faites dans le but d'obtenir un travail plus efficace.

Four électrique Girod.

Description du four. — La disposition du four Girod est visible sur la figure 237, qui représente un four de $2 \frac{1}{2}$ t. Le four se compose d'une enveloppe de plaques d'acier (sa forme est circulaire ou rectangulaire en plan), garnie de matériaux basiques, et dont les parois sont munies de portes servant au chargement, à la coulée et au décrassage. Le tout est monté sur un berceau dont l'oscillation est produite électriquement ou hydrauliquement. La voûte est faite avec des briques en silice et porte des blocs en fonte, refroidis par circulation d'eau et servant au passage de ou des électrodes. Le nombre des électrodes est déterminé d'après les dimensions du four. Le courant, qui peut être continu ou alternatif, arrive par l'électrode supérieure (ou les électrodes), forme un arc entre l'extrémité de cette électrode et la scorie, traverse le bain de métal, et s'en va par les pôles constitués par des pièces en acier, noyées dans le

revêtement du fond du four. Ces pôles en acier sont directement en contact avec le bain, de sorte que quand le four est en marche, elles fondent au point de contact et c'est pourquoi on est obligé de refroidir l'autre extrémité par circulation d'eau froide comme le montre la figure 237. Comme tous les arcs sont en parallèles, le four travaille à un faible vol-

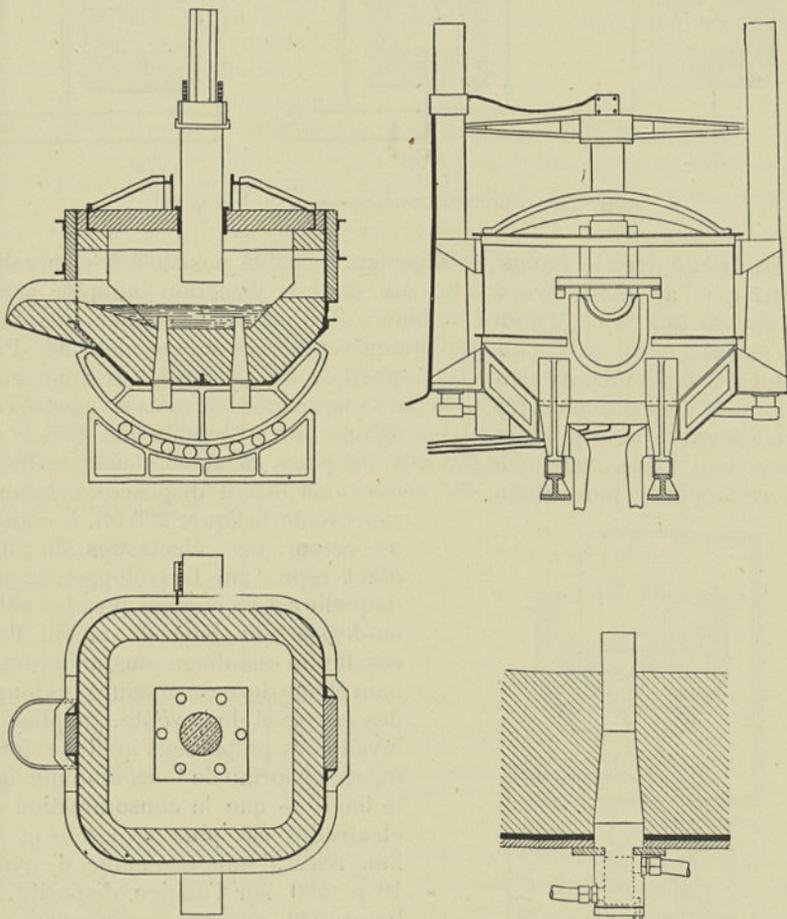


Fig. 236.
Four Girod.

Fig. 237. — Électrode refroidie
par circulation d'eau. Four Girod.

tage, soit environ 50 volts. Les électrodes en charbon sont fixées à la main à des régulateurs automatiques. Le bain est chauffé à la fois par les arcs et par la résistance présentée par la scorie et le métal au courant qui les traverse, mais il est évident que la plus grande quantité de chaleur est surtout fournie par les arcs qui, probablement, établissent aussi la circulation du bain, nécessaire aux réactions d'affinage. Ce four est employé pour fabriquer de l'acier avec des charges froides ou pour affiner du métal liquide.

Dans les premiers modèles, les connexions électriques étaient disposées comme le montre la figure 238 *a*, dans le but de réunir le four à la source

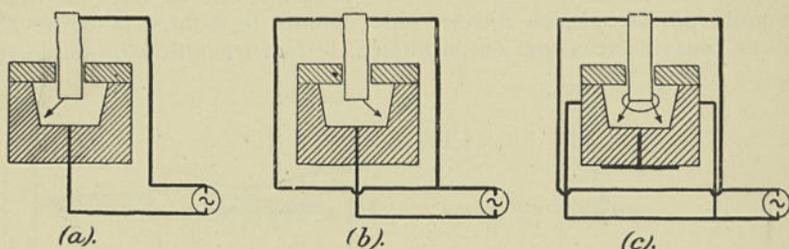


Fig. 238. — Connexions électriques du four Girod.

d'électricité avec le moins de dépense de câble possible. Il en résultait alors que l'arc était dévié sur le côté, dans la direction indiquée par la flèche, de sorte que, d'abord, le bain n'était pas uniformément chauffé et qu'ensuite cette partie du revêtement était rapidement détruite. Pour remédier à cet inconvénient, la disposition des câbles fut modifiée et on adopta la disposition représentée par la figure 238 *(b)*, mais ici encore l'arc était dévié de côté produisant les mêmes inconvénients que dans le cas précédent. Dans chacun de ces cas, les pôles en acier étaient isolés de l'enveloppe du four. Enfin, les connexions furent disposées comme le

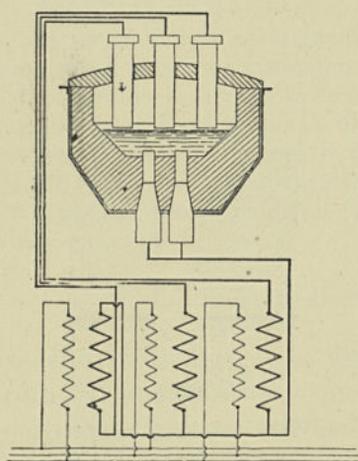


Fig. 239. — Diagramme du circuit électrique du four Girod.

représente la figure 238 *(c)*, le courant de retour des électrodes du fond étant repris sur l'enveloppe du four (laquelle est en contact avec les pôles) au-dessus du bain de métal. Il en résulte un chauffage plus uniforme du bain et une durée beaucoup plus longue des parois et de la voûte. De plus, les inventeurs prétendent qu'il se forme un arc en forme de tourbillon qui agite le bain, — que la consommation des électrodes est plus uniforme et que l'on réalise une économie d'environ 10 p. 100 sur l'ancien dispositif. La figure 239, montre le diagramme du circuit électrique du four.

Les dimensions du four, le temps s'écoulant entre deux fusions successives, les conditions du chargement et la qualité du produit final ont une influence considérable sur la consommation de l'énergie. Avec un four d'une capacité normale de 3 tonnes, travaillant avec des charges d'acier Martin-Siemens liquides à affinage variable, l'énergie consommée pour obtenir la meilleure qualité et pour obtenir la qualité moyenne, est repré-

¹ *Stahl und Eisen*, 1911, 20 juillet.

sentée par la figure 240. Les chiffres pointés sont ceux que l'on obtient actuellement.

Le revêtement de la sole et des parois est fait, soit avec de la magnésite, soit avec de la dolomie, celui de la voûte est en briques de silice.

Fonctionnement du four. — L'affinage d'une charge dans ce four peut se diviser en deux périodes.

1. La période d'oxydation ;
2. La période de désoxydation.

Si on emploie une charge froide, les scraps sont d'abord fondus jusqu'à ce qu'ils soient devenus liquides et que la température ait atteint celle d'une charge versée chaude dans le four. On ajoute alors progressi-

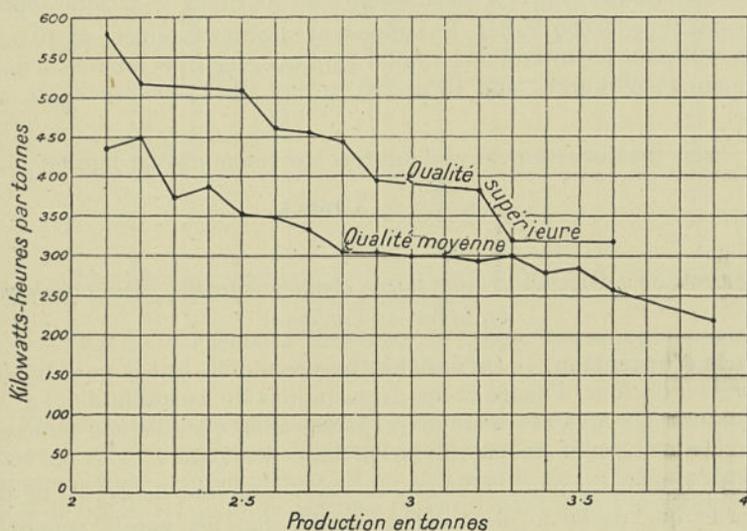


Fig. 240. — Four Girod. Affinage d'une charge. Variations du courant pendant l'opération.

vement le minerai dans le bain et le carbone, le manganèse, le phosphore et une partie du soufre sont oxydés. La scorie oxydante est retirée du four à la fin de cette période, et les dernières traces de phosphore sont enlevées avec de la chaux. La désoxydation et la désulfuration se font au moyen d'additions de chaux, de sable et de spath-fluor, de ferro-silicium, de coke de pétrole ou de résidus d'électrodes en charbon. Dès que la scorie est fluide et exempte d'oxydes, on fait les additions de ferro-silicium et de ferro-manganèse, puis on coule la charge.

Production et prix du four. — Le prix¹ d'un four de $2\frac{1}{2}$ t., y compris les régulateurs des électrodes, les appareils de mesure, le mécanisme de basculage, les câbles conducteurs du four au transformateur ou à la dynamo si elle est placée près du four, est approximativement de

¹ Journal Iron and Steel Institute, 1910, I, p. 451.

15 000 francs. Signalons qu'un four de $12 \frac{1}{2}$ t., avec le même équipement, coûtera approximativement 30 000 francs. Le rendement d'un four dépend du travail auquel il est destiné, c'est-à-dire si on l'emploie pour la fusion et l'affinage ou pour l'affinage seulement, et dépend aussi du degré d'affinage demandé. Un four de $2 \frac{1}{2}$ t. fondant des charges froides de fonte et de scraps d'acier et produisant de l'acier de bonne qualité pour moulages, fait une chauffe en six heures, soit 4 chauffes en vingt-quatre heures. Ce four aura donc une production hebdomadaire d'environ 50 tonnes d'acier liquide, soit 2 500 tonnes par année de deux cent cinquante jours de travail.

En admettant que le courant employé par le four provienne d'une source extérieure, le prix d'installation d'un four de $2 \frac{1}{2}$ t. sera approximativement de 50 000 francs. En supposant un amortissement de 10 p. 100 et 5 p. 100 pour les intérêts du capital employé, les frais annuels d'amortissement et d'intérêts, soit 15 p. 100, seront de 7 500 francs. On aura donc :

Frais d'amortissement et d'intérêts par tonne d'acier liquide :

$$\frac{7\,500}{2\,500} = 3 \text{ francs.}$$

Dépenses de fabrication (par tonne d'acier liquide, pour moulages en acier au carbone).

Frais d'entretien. — On indique¹ un prix de 15 francs pour les frais d'entretien du four, l'usure et les dégradations de l'installation. La chaleur intense des arcs nécessite des réparations fréquentes non seulement du revêtement, mais encore du briquetage des parois et de la voûte. Employé seulement pour l'affinage, la voûte d'un four de $2 \frac{1}{2}$ t. ne peut supporter que de 60 à 70 chauffes, tandis que les parois supportent 120 chauffes, après lesquelles il faut les reconstruire et réparer complètement la sole. Le prix d'un revêtement en dolomie d'un four de $2 \frac{1}{2}$ t. est approximativement de 437^{fr},50, celui en magnésite de 875 francs. Nous prendrons le prix d'entretien et de réparation indiqué de 15 francs.

Prix de la force. — La consommation de force d'un four de $2 \frac{1}{2}$ t. produisant de l'acier de bonne qualité avec des scraps ordinaires, varie entre 800 et 900 kilowatts-heure par tonne, et en supposant une perte de 10 p. 100 par les conducteurs, on peut prendre le chiffre de 1 000 kilowatts-heure par tonne. Avec des scraps de choix, donnant par simple fusion la composition d'acier voulue, où, par conséquent, l'opération de l'affinage est réduite au minimum, la consommation de force varie entre 650 et 750 kilowatts-heure. Comme ceci nécessite, bien entendu, l'emploi de matériaux plus purs, il s'ensuit que l'économie du four est compensée par l'augmentation du prix des matériaux employés. Pour l'affinage du métal liquide du four Martin-Siemens ou du Bessemer, la consomma-

¹ Foundry Trade Journal, 1909, p. 150.

tion de force varie entre 300 et 350 kilowatts-heure par tonne. La figure 241 montre les variations du courant pendant l'opération.

Il est intéressant de noter qu'un four de $2\frac{1}{2}$ t. ayant une électrode en charbon et 6 pôles de sole, consomme 20 litres d'eau par minute pour le refroidissement de l'électrode en charbon de la voûte, et $5\frac{1}{2}$ lit. par minute, pour refroidir les pôles de la sole. Cette eau enlève au four une quantité de chaleur équivalente à 13,4 kw.-h. par tonne d'acier quand le four est employé pour l'affinage du métal liquide.

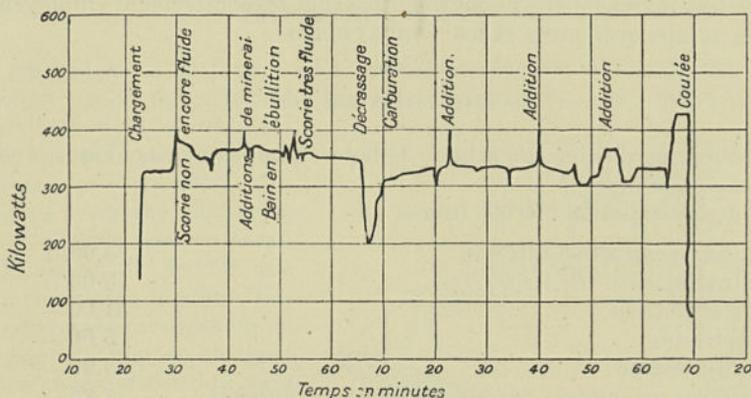


Fig. 241. — Four Girod. Affinage d'une charge. Variations du courant pendant l'opération.

En admettant une consommation de 4 000 kilowatts-heure par tonne, pour fondre et affiner des scraps ordinaires et fabriquer de l'acier de bonne qualité pour moulage, et en supposant que le prix de cette force soit de 0,031 fr. l'unité, la dépense de force, par tonne d'acier liquide, sera de $4\ 000 \times 0,031 = 31$ francs.

Prix des électrodes. — Le prix des électrodes, par tonne d'acier fabriqué, est indiqué comme étant égal à 5 francs si le four fond et affine des scraps ordinaires; de 3,95 fr. s'il fond des scraps de bonne qualité et de 1,95 fr. s'il affine du métal liquide.

Prix de la main-d'œuvre. — Pour le travail d'un four de $2\frac{1}{2}$ t., l'équipe se compose d'un chef fondeur, d'un aide-fondeur et d'un gamin. Le prix de main-d'œuvre payé par tonne d'acier liquide (selon le Standard continental) est de 5,90 fr. quand le four fond et affine des scraps ordinaires; de 3,95 fr. s'il fond des scraps de bonne qualité et de 3 francs s'il affine du métal fondu.

Prix des matières premières. — Les matières premières employées par le four comprennent les scraps d'acier et les matériaux d'oxydation et d'affinage tels que le minerai de fer, la chaux, etc., ainsi que les ferro-alliages. La perte à la fusion et à l'affinage des scraps d'acier est de 3 à 4 p. 100 de sorte qu'avec les scraps ordinaires à 68,75 fr. la tonne, le prix des

scraps par tonne d'acier liquide fabriqué = 71,25 fr. Pour affiner et modifier le métal fondu, la quantité de chaux, de flux et de ferro-alliages dépendent de la qualité des scraps employés et de la composition chimique de l'acier fini. Un prix moyen, comprenant 102 kilogrammes de chaux, 102 kilogrammes de minerai de fer et de ferro-alliages s'élève à 3 francs par tonne d'acier liquide.

Les récapitulations suivantes des prix, n° 1 et n° 2, sont relatives à la production d'acier pour moulages de qualité identique à celui donné dans le tableau LXII, page 301 et le tableau XCIII, page 577. Les expressions de scraps « bon marché » et « bonne qualité » sont respectivement employées pour les scraps ordinaires et les scraps choisis.

RÉCAPITULATION DES PRIX

1. Production d'acier au carbone de bonne qualité pour moulages, avec des scraps bon marché.

Prix de l'installation : 50 000 francs.

Amortissements et intérêts	3,00 fr.
Entretien	15,00 —
Force motrice	31,00 —
Electrodes	5,00 —
Main-d'œuvre	5,90 —
Matières premières. Scraps d'acier (bon marché)	71,25 —
Flux et ferro-additions	3,00 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	2,95 —
Prix par tonne d'acier liquide	137,10 fr.

2. Production d'acier au carbone de bonne qualité pour moulages, avec des scraps de bonne qualité.

Prix de l'installation : 50 000 francs.

Amortissements et intérêts	2,50 fr.
Entretien	11,85 —
Force motrice	23,40 —
Electrodes	3,95 —
Main-d'œuvre	3,95 —
Matières premières. Scraps d'acier (bonne qualité)	77,50 —
Flux et ferro-additions	0,50 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	1,97 —
Prix par tonne d'acier liquide	125,62 —

3. Affinage du métal fondu Bessemer ou four M.-S.

Prix de l'installation : 50 000 francs.

Amortissements et intérêts	1,25 fr.
Entretien	5,00 —
Force motrice	10,60 —
Electrodes	1,95 —
Total	18,80 fr.

	Report	18,80 fr.
Main-d'œuvre		3,00 —
Matières premières. Fonte		62,50 —
	(Prix de l'affinage partiel)	15,60 —
	Flux et ferro-additions.	1,95 —
Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)		1,50 —
Perte de métal		2,50 —
	Prix par tonne d'acier liquide.	<u>105,85 fr.</u>

Four électrique Anderson.

Description du four. — La disposition du four Anderson est représentée par la figure 242. Le four ressemble à un four Martin-Siemens oscillant, dont la voûte serait percée pour laisser passer des électrodes groupées à la source électrique soit en série, soit en parallèles selon le travail que l'on demande au four. Immédiatement au-dessous de la base du four et en ligne avec chaque électrode, sont fixés des électro-aimants qui ont pour but de provoquer la formation des arcs et de neutraliser toute interférence. On prétend également que ces électrodes concentrent les gaz incandescents autour des arcs, de sorte que leur chaleur peut être plus facilement communiquée au bain. Pour les fours de petite capacité, un seul électro-aimant suffit, comme cela est représenté sur la figure. Le four est muni d'un bec de coulée et de trous de coulée par lesquels on peut vider les scories et le métal quand c'est nécessaire. Les électrodes sont entourées d'une enveloppe refroidie par circulation d'eau froide, elles peuvent être élevées ou abaissées par un dispositif spécial.

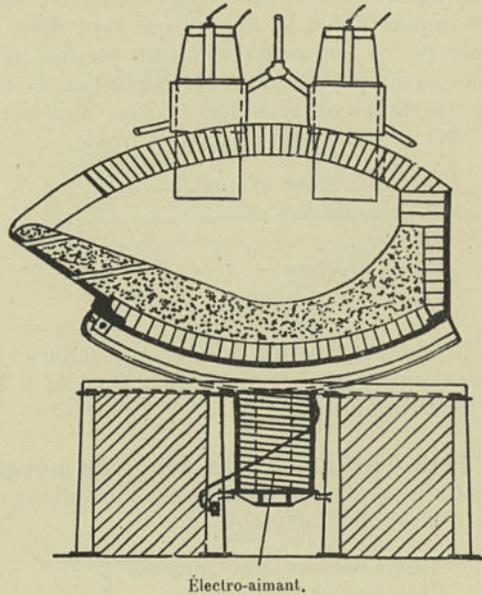


Fig. 242. — Four Anderson.

Fonctionnement du four. — Lorsque le four sert à l'affinage du métal fondu, la charge est recouverte avec une scorie oxydante qu'on laisse en contact pendant environ trente minutes, puis que l'on retire ensuite. On étend alors une couche de charbon à la surface du métal, puis une couche de scories ne contenant pas d'oxygène. La scorie neutre refroidit la masse et il en résulte la réduction des oxydes ferreux par le

carbone. On ajoute ensuite du minerai de manganèse à la scorie neutre, ce qui complète l'élimination des dernières traces d'oxyde ferreux. Quand la scorie est parfaitement blanche, on prélève un échantillon de métal sur lequel on dose le carbone et, d'après cet essai, on ajoute ensemble un mélange de fer et de carbone, ainsi que les alliages nécessaires, dont les proportions ont été calculées d'après l'analyse de l'essai. L'affinage d'une charge de métal fondu peut être faite en 1 ou $1\frac{3}{4}$ heure avec une consommation moyenne de force de 270 kilowatts-heure par tonne.

Lorsque le four sert à la fois à la fusion et à l'affinage, on charge les scraps mélangés à un peu de minerai et de chaux, on établit le courant, et les matériaux sont amenés à l'état fondu par le chauffage combiné des arcs et des résistances. Une scorie, formée de chaux et de silicates de fer, nage à la surface du bain. Les électrodes plongent dans cette scorie mais non dans le métal lui-même. On envoie alors un courant d'air qui oxyde les impuretés de la charge qui vont dans la scorie, laquelle est ensuite enlevée. Si l'on veut obtenir un produit très pur, on forme une ou deux scories supplémentaires. Lorsque l'on a retiré la dernière scorie formée, on ajoute les alliages nécessaires, puis on coule la charge.

Voici un exemple de charge froide :

Scraps d'acier ordinaire.	2 630 kilogrammes.
Minerai de fer	177 —
Chaux	168 —
Ferro-silicium	8 —
Ferro-manganèse.	1,360 kg.

Il faut environ six heures pour fondre et affiner une charge, avec une consommation moyenne de force de 975 kilowatts-heure par tonne d'acier produit.

Prix d'affinage à la tonne de métal fondu. — Les chiffres suivants nous ont été donnés par l'inventeur du procédé et sont ceux obtenus expérimentalement :

Amortissements et intérêts.	4,65 fr.
Entretien et réparations	5,00 —
Force : 210 kilowatts-heure à 0,031 fr. l'unité.	6,51 —
Électrodes	1,85 —
Main-d'œuvre	6,25 —
Additions : ferro-alliages, chaux, scories.	7,90 —
Frais de direction et divers.	3,10 —
Prix d'affinage à la tonne d'acier liquide.	<u>35,26 fr.</u>

Fusion et affinage des scraps solides :

Amortissements et intérêts.	10,00 fr.
Entretien et réparations	5,00 —
Force : 750 kilowatts-heure à 0,031 fr. l'unité.	23,25 —
Électrodes	4,35 —
Total.	<u>42,60 fr.</u>

	Report	42,60 fr.
Main-d'œuvre (4 ouvriers)		30,00 —
Matières premières : Scraps de bonne qualité à 75 fr. la tonne		85,00 —
Chaux, minéral		6,25 —
Ferro-alliages		5,60 —
Frais de direction		3,75 —
	Prix par tonne d'acier liquide.	173,20 fr.

Four électrique Chaplet.

Description du four. — Le four Chaplet se fait en deux types, l'un fixe, l'autre oscillant.

Il se compose essentiellement d'une enveloppe garnie de matériaux réfractaires, placés de façon à former dans le milieu une sole circulaire, recouverte d'une voûte mobile, également faite de matériaux réfractaires, maintenus ensemble au moyen d'un châssis en fer. La disposition du four oscillant est représentée par la figure 243. Le four n'emploie qu'un seul arc et, pour cela, la voûte est percée d'un trou en son milieu pour le passage de l'électrode en charbon. Le courant de retour est transmis au circuit, à travers le bain, par une électrode fixe en acier, enfoncée dans la maçonnerie, en arrière du four, et reliée au bain de métal par une barre de métal solide restant dans une rigole horizontale, comme on le voit sur la figure.

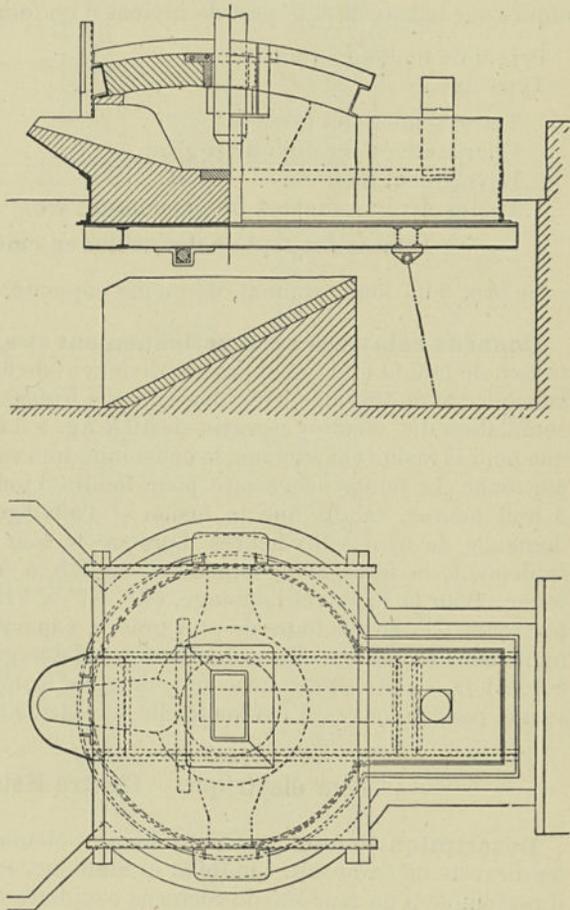


Fig. 243. — Four Chaplet.

A la mise en marche du four, le contact entre la base de l'électrode en

acier et la charge du four, est établi au moyen de barres de fer que l'on dispose au fond de la rigole. Dès que la charge est en fusion, elle s'écoule dans la rigole, vient adhérer à l'électrode en acier coulé, se solidifie dans cette partie, de sorte qu'elle constitue un passage ininterrompu pour le courant aussi longtemps que le four est en service.

Le four oscillant peut être monté sur un berceau reposant sur des galets ou sur un simple pivot, comme le montre la figure. Dans ce cas, le mouvement de bascule est obtenu au moyen d'un piston hydraulique. L'électrode est abaissée ou élevée au moyen d'une petite crémaillère fixée après le support de l'électrode.

Ce four peut être employé pour la fusion seulement, ou pour la fusion et l'affinage. Les pertes de métal varient approximativement entre 3 et 5 p. 100.

Nous donnons, ci-dessous, les renseignements qui nous ont été communiqués sur le travail et le prix de revient d'un four de 3 tonnes.

Prix d'un four de 3 tonnes.

Type fixe :

Terrassements et fosse	4 000 francs.
Charpente en fer du four et grue	2 900 —
Revêtement intérieur	1 600 —
Postes divers, support de l'électrode, etc.	1 500 —
Total (à l'exception des câbles en cuivre).	<u>7 000 francs.</u>

Le prix d'un four oscillant, de même capacité, serait de 10 000 francs.

Données relatives au fonctionnement et au prix. — Le prix d'entretien de tout le four est approximativement de 6,25 fr. par tonne d'acier fabriquée si on travaille avec des charges froides. Pour la fusion, la consommation des électrodes varie de 10,8 kg. à 12,2 kg. par tonne, tandis que pour la fusion et l'affinage, la consommation varie de 14,9 kg. à 15,8 kg. par tonne. Le temps nécessaire pour fondre 3 tonnes d'acier est de sept à huit heures, tandis que la fusion et l'affinage d'une même quantité demande de neuf à dix heures. Lorsque le four ne fait que des fusions seulement, la force consommée est de 715 à 740 kilowatts-heure par tonne. Pour la fusion et l'affinage, elle est de 915 à 970 kilowatts-heure par tonne. (Pour des fours de plus grande capacité ces chiffres sont probablement moindres.) En admettant que l'énergie électrique soit livrée à 0,031 fr. l'unité, la dépense moyenne de fusion sera de 22,80 fr. à la tonne, pour la fusion et l'affinage elle sera de 29,55 fr.

Four électrique « Electro-Métaux ».

Description du four. — Le four Electro-Métaux a été construit d'après les brevets de Grönwall, Lindblad et Ståhlane. Par son aspect extérieur, il ressemble à un four Martin-Siemens oscillant, dont la voûte serait traversée par deux électrodes et dont le fond serait muni d'une électrode pour le retour du courant, selon la disposition représentée par la figure 244.

Le four est construit en plaques d'acier doux ou de fonte et après le

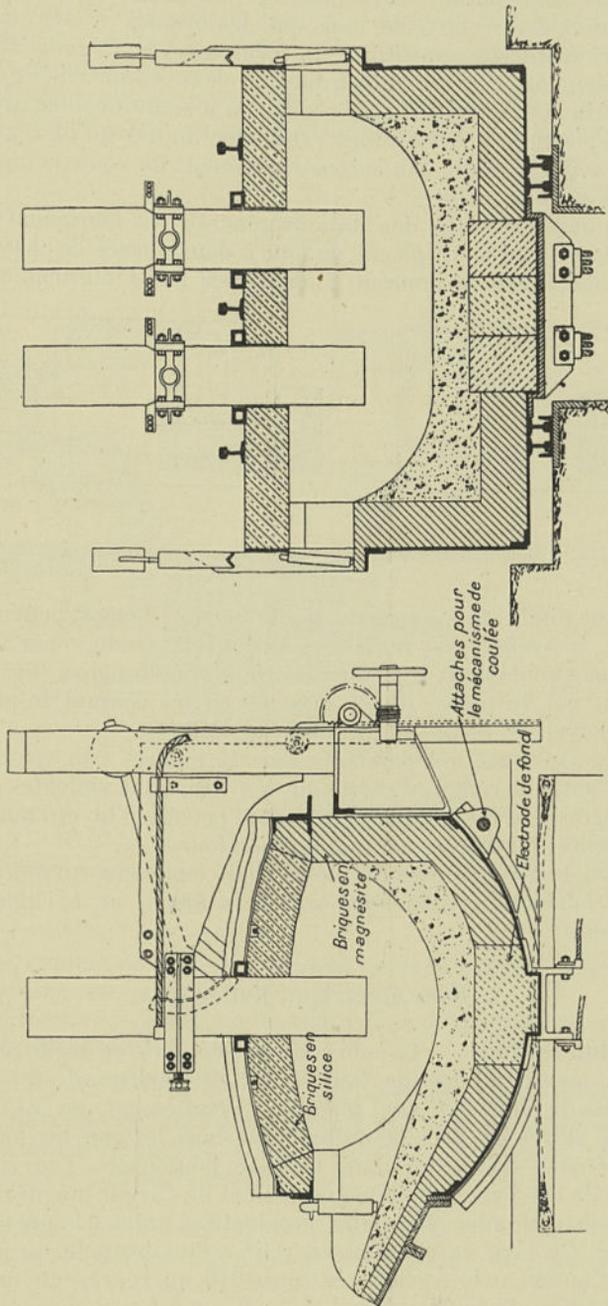


Fig. 244. — Four « Electro-Métaux ».

fond se trouve boulonnée une pièce moulée, destinée à recevoir une électrode en charbon ou en graphite, fixée avec un ciment spécial, assurant

un contact électrique parfait. Cette électrode est placée entre les briques en magnésite et est recouverte, ainsi que les briques, d'une couche de dolomie ou de magnésite constituant un revêtement analogue à celui d'un four Martin-Siemens. Les deux électrodes du dessus sont reliées chacune à une phase du courant bi-phasé, de sorte qu'il se forme deux arcs indépendants. La position des électrodes est réglée au moyen de régulateurs fonctionnant soit à la main, soit automatiquement. La voûte composée de briques de silice, est mobile.

Comme la majeure partie des stations génératrices fabriquent du courant à haute tension bi ou tri-phasé, un four à deux phases de ce type offre l'avantage d'employer ce courant sans passer par l'intermédiaire d'un

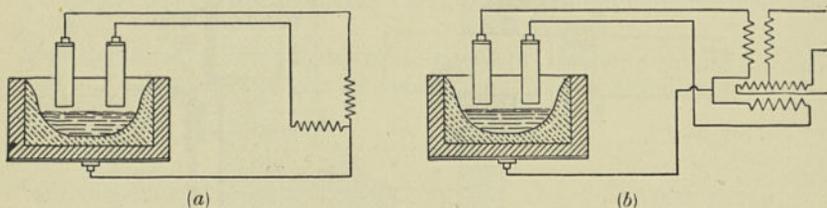


Fig. 245. — Diagrammes des connexions. Four « Électro-Métaux ».

transformateur rotatif. Si le courant à haute tension dont on peut se servir est bi-phasé, le voltage est ramené à la tension voulue, par exemple 65 volts, au moyen de deux transformateurs à simple phase (fig. 245, a). Si le courant est tri-phasé il est ramené en un courant bi-phasé de 65 volts au moyen du dispositif de Scott (fig. 245, b).

Comme les arcs sont indépendants l'un de l'autre, l'un se forme au moment où l'autre se rompt, de sorte que les variations violentes que l'on constate dans le courant quand les arcs sont en série l'un et l'autre, sont beaucoup moins importantes avec ce type de four.

Ce four sert, soit à l'affinage du métal fondu des convertisseurs Bessemer ou des fours Martin-Siemens, soit à la fusion et à l'affinage de charges froides.

Four électrique Keller.

Description du four. — La sole conductrice, faite en argile renforcée, constitue la caractéristique du four Keller. Des barres de fer de 25 à 30 millimètres de diamètre sont placées verticalement, en les espaçant les unes des autres de 25 à 30 millimètres dans le fond du four, leurs extrémités venant s'emboîter dans un bloc boulonné à l'enveloppe du four. Autour de ces barres, on pilonne à chaud de l'argile magnésienne, et l'on obtient ainsi une sole réfractaire, conductrice grâce à la présence des barres de fer. Ce fond conducteur est relié à l'un des pôles producteurs du courant. Comme on le verra sur la figure 246, qui représente une coupe suivant l'élévation de ce four, le courant est amené au four par des électrodes en charbon dont la disposition ressemble, sur beaucoup de points, à celle adoptée dans le four Girod précédemment décrit dans ce chapitre.

Nous relevons¹ les renseignements suivants concernant un four de 8-10 tonnes, installé aux aciéries Holtzer, à Unieux, utilisant l'acier fondu d'un four Martin. Ce four électrique est muni de 4 électrodes mobiles, 2 de chaque étant en parallèle.

Les électrodes sont supportées par des bras tournants et des barres flexibles et passent à travers la voûte du four. Elles peuvent être élevées

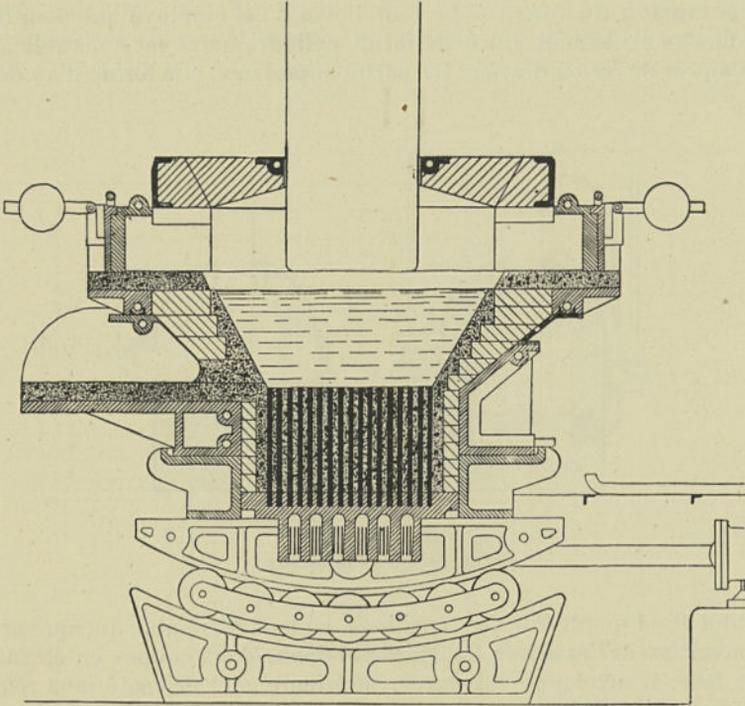


Fig. 246. — Four Keller.

ou abaissées, comme on le désire, ou être complètement retirées du four pour les remplacer ou quand on veut enlever la voûte.

Le four lui-même est monté sur tourillon et peut être basculé au moyen d'un piston hydraulique.

Une charge liquide de 5 400 kilogrammes est affinée en $2\frac{3}{4}$ heures, sous une charge moyenne de 750 kilowatts, soit une consommation d'énergie de 275 kilowatts-heure environ à la tonne. Les compositions chimiques du métal chargé et de l'acier produit sont :

Charge liquide — 0,15 p. 100 C ; — 0,007 p. 100 P ; — 0,06 p. 100 S

Acier produit — 0,044 p. 100 C ; — 0,008 p. 100 P ; — 0,009 p. 100 S.

La consommation de chacune des 4 électrodes (103 centimètres carrés)

¹ *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXVIII, p. 961.

est de 19 millimètres par heure, ce qui représente une dépense de 35 francs par chauffe, soit 4,05 fr. par tonne d'acier. Pour le travail de ce four, il faut un chef fondeur et trois manœuvres.

Four électrique Levoz.

Description du four. — Le four Levoz n'est employé que pour faire de l'affinage seulement. Il est de forme cylindrique et est construit avec des plaques de fer ou d'acier. La partie supérieure a la forme d'un dôme

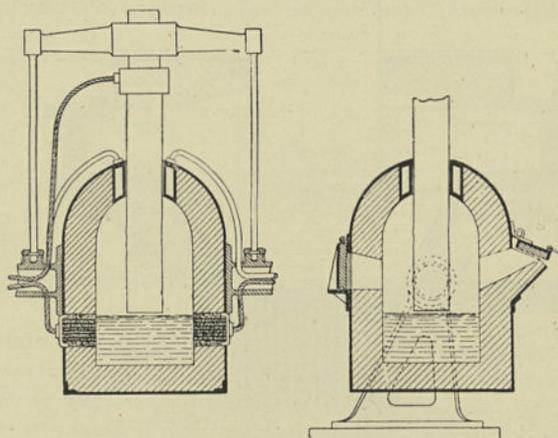


Fig. 247. — Four Levoz.

et le tout étant monté sur des tourillons, ce four ressemble quelque peu à un convertisseur Bessemer. La figure 247 donne deux coupes en élévation de ce four. L'enveloppe est garnie intérieurement de matériaux réfractaires, la partie inférieure, ou creuset, est faite avec des briques de magnésite et la partie supérieure avec des briques de silice.

Les électrodes, qui peuvent être une ou plusieurs de même polarité, sont placées au-dessus du bain et traversent la partie supérieure, en forme de dôme, laquelle est refroidie par circulation d'eau froide. Les électrodes de polarité opposée sont placées, comme on le voit, dans les parois, et sont en contact électrique avec la partie supérieure du bain, dont elles sont séparées par une substance partiellement conductrice, comme un mélange de dolomie et de goudron ou de charbon, ou de magnésie et de cendres de four. Le four est muni de portes percées dans les parois, dans un sens diamétralement opposé à celui des tourillons. Elles servent au chargement des matériaux, au déchargement et aux coulées.

Le métal, préalablement fondu dans un cubilot, est versé dans le four, et pendant l'affinage on procède aux additions nécessaires de la même façon qu'avec les autres fours d'affinage. On admet que la circulation nécessaire du métal dans le bain, est produite par une sorte de liaison inverse de molécule à molécule dont l'inception est facilitée par la différence de densité qui existe entre le métal affiné et le métal non affiné.

Four électrique Nathusius.

Description du four. — La planche IX représente la disposition générale d'un four Nathusius de 12 tonnes et de son équipement. Il y a au-dessus du bain, trois électrodes verticales en charbon, disposées d'une façon telle que leur axe corresponde chacun à l'angle d'un triangle équilatéral et elles sont reliées toutes trois aux extrémités extérieures du circuit secondaire d'un générateur ou d'un transformateur tri-phasé. Des électrodes en acier, placées au fond du four, sont reliées aux

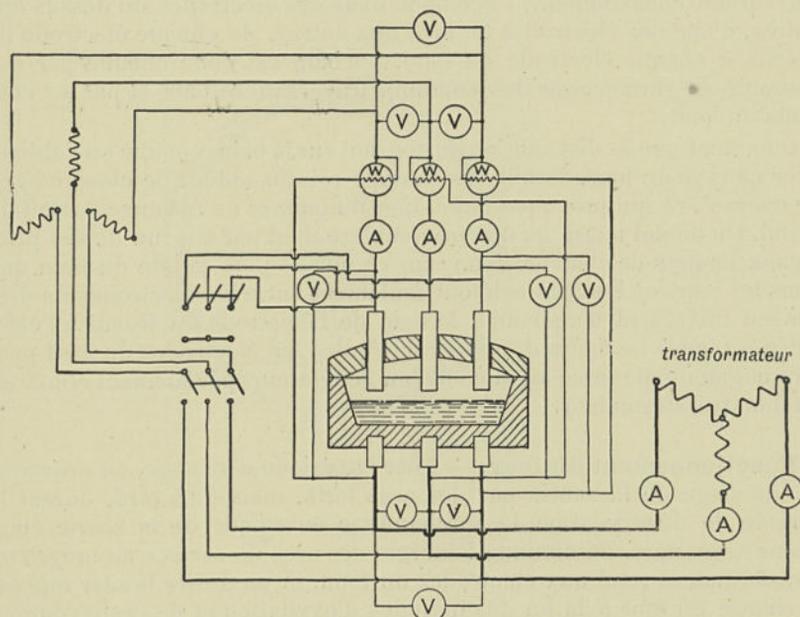


Fig. 248. — Circuit électrique du four Nathusius.

extrémités intérieures du circuit secondaire du même générateur ou transformateur tri-phasé. Le four est cylindrique, il est monté sur un berceau reposant sur des galets, le mouvement de bascule se faisant au moyen d'un moteur électrique. Il y a trois portes — une entre chaque groupe des deux électrodes supérieures — servant à examiner le bain. Les électrodes du fond sont coulées en acier, elles sont encastrées dans la maçonnerie du four et recouvertes d'une couche de matériaux réfractaires, fortement pilonnée, constituant le revêtement. La totalité du four, à l'exception de la voûte, est garnie de dolomie. Quant à la voûte, elle est faite avec des briques de quartz, ou des briques Dinas ou autre substance analogue, très riche en alumine.

Les électrodes supérieures sont suspendues par des cordages à des poulies aériennes, de sorte qu'au moment où on incline le four on peut rapidement les élever, pour les abaisser ensuite lorsque le four a repris sa posi-

tion normale. Lorsqu'il est nécessaire de remplacer les électrodes, les supports peuvent être amenés sur le côté du four. Les appareils électriques, les instruments de mesure, les appareils de réglage sont tout à fait en dehors du four et placés dans un endroit à l'abri de la chaleur et des poussières, et d'où l'on peut facilement surveiller le travail du four.

La figure 248 donne le diagramme des connexions électriques du four. Les trois extrémités intérieures du circuit secondaire du générateur ou du transformateur sont séparées, de sorte que le point de jonction est dans le bain lui-même. Les électrodes du haut et celles du fond ont une polarité variant constamment, s'écoulant dans des électrodes du dessus aux autres, d'une des électrodes du fond aux autres, de chaque électrode du dessus à chaque électrode du fond. Le bain est donc chauffé par des courants de surface, par des courants traversant le bain et par les courants du fond.

On admet que la distribution du courant sur le bain, comme on l'obtient avec ce type de four, établit des champs rotatifs autour de chaque ligne de courant, ce qui provoque l'agitation du bain et un mélange parfait du métal. On admet aussi, qu'un courant s'écoulant par chacun de ses principaux centres de chaleur, donne un chauffage plus rapide du bain que dans les fours où les arcs éclatent seulement entre les électrodes du dessus ou traversent simplement le bain de l'électrode du dessus à l'électrode du fond. Le courant qui s'écoule entre les électrodes du fond peut être augmenté de force au moyen d'un générateur spécialement construit ou d'un transformateur.

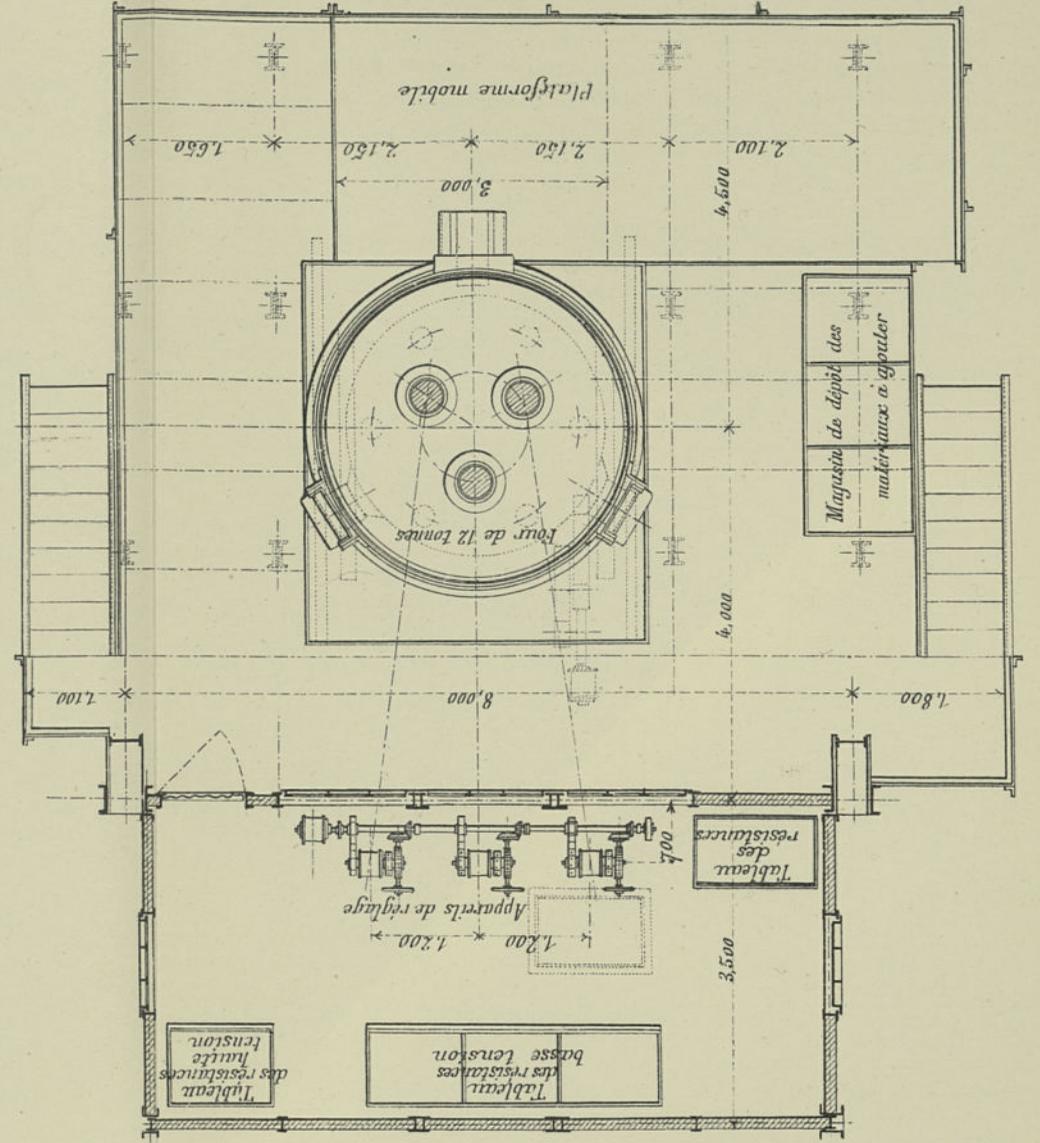
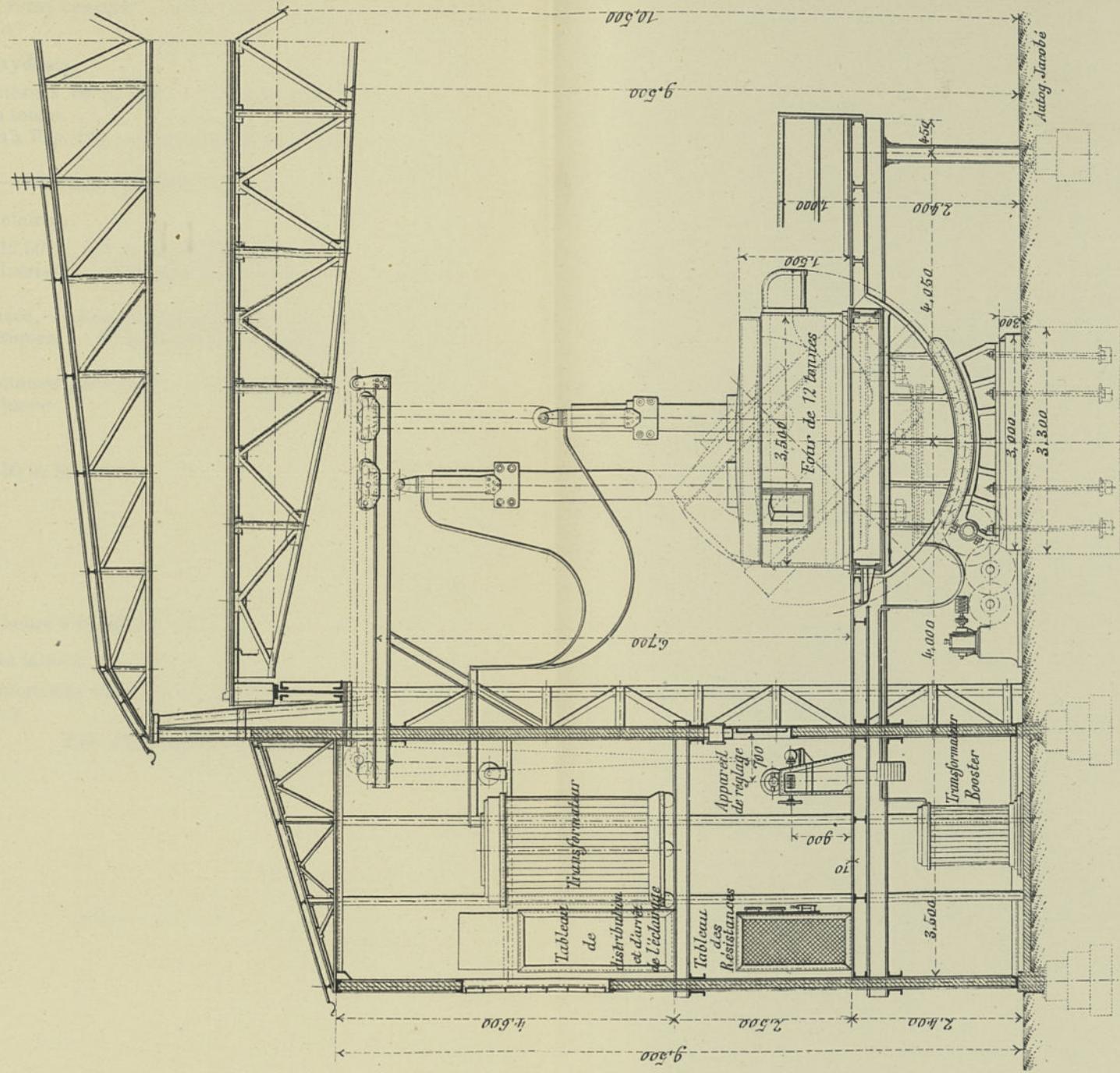
Fonctionnement du four. — Pour la période d'affinage, on provoque le chauffage de la scorie par des arcs forts, mais plus tard, durant la période de désoxydation, le surchauffage énergétique de la scorie étant moins nécessaire, on diminue l'énergie des arcs de surface au moyen du transformateur relié aux électrodes du fond. Si on désire laisser reposer la charge du four à la fin des périodes d'oxydation et de désoxydation, la perte équivalente de chaleur, par radiation, peut être remplacée en supprimant le courant dans les électrodes du dessus et ne le laisser circuler qu'entre celles du fond, on produit ainsi le chauffage par résistance du bain.

Dépenses de fabrication. — Prix par tonne, pour l'affinage de l'acier liquide Martin-Siemens, dans un four Nathusius de 5 tonnes, d'après les renseignements communiqués par l'inventeur.

Additions.

Minerais, 25 kilogrammes à 36,45 fr. la tonne	0,90 fr.
Chaux, 30 kilogrammes à 13,75 fr. la tonne	0,45 —
Sable, 3 kilogrammes à 2,50 fr. la tonne	0,03 —
Spath-fluor, 4 kilogrammes à 32,75 fr. la tonne	0,13 —
Coke de pétrole à 47,50 fr. la tonne	0,15 —
Total	1,66 fr.

FOUR NATHUSIUS DE 12 TONNES.



	Report.	1,66 fr.
Matériaux désoxydants.		
	Ferro-manganèse à 60 p. 100, — 6 kilogrammes à 197,50 fr. la tonne.	1,18 —
	Ferro-silicium à 75 p. 100, — 1 kilogramme à 387,50 fr. la tonne.	0,38 —
	Aluminium, — 0,5 kg. à 1 675 francs.	0,83 —
Matériaux réfractaires.		
	Voûte (prix 312,50 fr., fait au moins 100 fusions) . . .	0,62 —
	Magnésite pulvérisée, — 4 kilogrammes à 62,50 fr. la tonne	0,25 —
	Argile pulvérisée, — 4 kilogrammes à 18,75 fr. la tonne.	0,07 —
	Matériaux basiques, — 15 kilogrammes à 42,50 fr. la tonne	0,67 —
	Briques réfractaires pulvérisées, — 4 kilogrammes à 21,85 fr. la tonne.	0,07 —
Electrodes.		
	5,6 kg. à 362,50 fr. la tonne	2,06 —
	Support.	0,11 —
Salaires.		
	6 ouvriers	2,25 —
Courants.		
	250 kilowatts-heure à 0,036 fr. l'unité.	9,37 —
Amortissement et intérêts.		
	10 p. 100 d'amortissement et 5 p. 100 d'intérêt sur 125 000 francs	2,12 —
	Prix d'affinage par tonne.	21,64 fr.

CHAPITRE XLIII

FOURS A RÉSTANCE

Nous allons seulement essayer de donner une courte description de trois fours, qui ont été construits sur le principe du chauffage par résistance, et dans lesquels le courant est fourni, au bain, par des moyens autres que ceux employés dans les fours à induction que nous avons décrits au Chapitre xl. Convenablement appliqué, le chauffage par résistance est probablement le plus efficace de tous. Il reste cependant encore à voir si les fours que nous allons décrire prouvent, en pratique, leur économie et leur efficacité.

Four électrique à creuset d'Helberger.

Description du four. — Dans le four Helberger, la charge est fondue

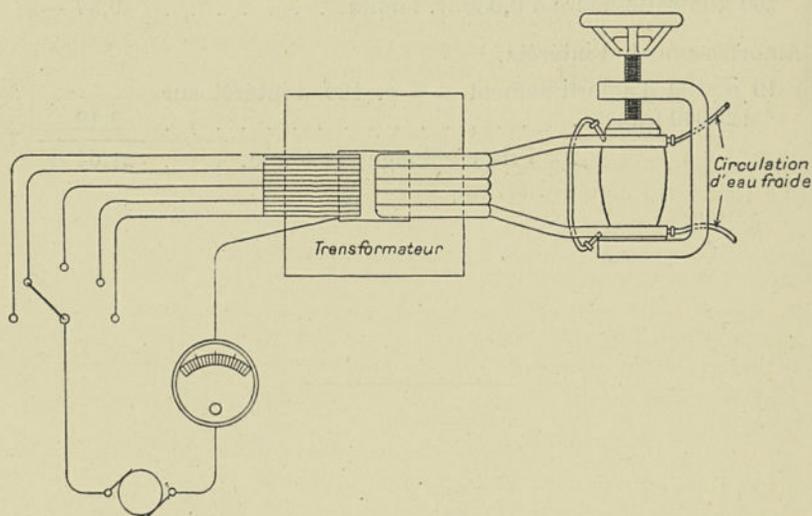


Fig. 249. — Circuit électrique du four Helberger.

dans un creuset dans lequel la chaleur, générée par sa résistance, est transmise à la charge de métal par conductibilité. L'appareil comprend

un transformateur de courant alternatif (qui peut être relié à des circuits soit mono, soit polyphasés de tous voltage et fréquence) dont le secondaire est relié à un dispositif spécial, refroidi par circulation d'eau, s'agrafant à la partie supérieure et à la base d'un creuset en graphite ou en plombagine. La figure 249 représente le diagramme du circuit électrique. Le transformateur et le four forment un appareil complet, les appareils de mesure et le tableau de distribution étant montés sur le même châssis, le

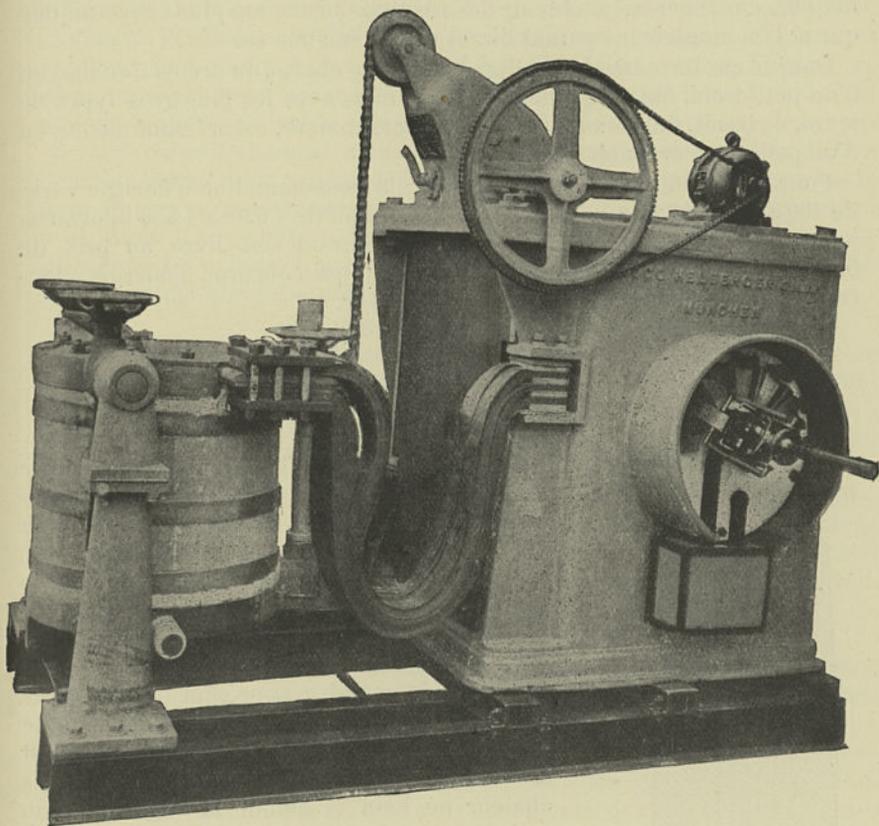


Fig. 250. — Four Helberger.

tout peut être mis de façon à ce qu'on puisse facilement se relier aux câbles d'arrivée du courant.

La figure 250 représente une photographie d'un four d'environ 100 kilogrammes de capacité ; la plus grande dimension construite jusqu'à ce jour a été faite pour fondre 250 kilogrammes d'acier.

Le creuset est placé entre deux dispositifs d'attache, celui du dessus est solidement fixé au creuset comme on le voit sur la figure, le contact se faisant sur des surfaces en charbon. Le mécanisme de contact du dessus est fixé au cercle du creuset de sorte que l'on peut, à tout moment, examiner le contenu du creuset et faire à la charge les additions nécessaires.

Au moyen d'un rhéostat de réglage, placé sur le côté primaire du trans-

formateur, on peut faire varier le courant de circuit secondaire dans une proportion considérable et par suite accélérer ou retarder la durée de la fusion.

Fonctionnement du four. — On a constaté qu'il fallait moins de courant, lorsque le creuset et sa charge sont froids que quand ils sont chauds et c'est pour cette raison que l'on a adopté l'emploi d'un transformateur, car il permet d'obtenir des résultats beaucoup plus économiques que si l'on emploie le courant direct et les résistances.

Dans le cas de fours plus petits, on coule la charge du creuset au moyen d'un petit treuil fonctionnant à la main, mais avec les plus gros types de fours, ce treuil, monté sur le bâti du transformateur, est actionné au moyen d'un petit moteur électrique.

Pour fondre 100 kilogrammes d'acier, la consommation d'énergie varie de 100 à 150 kilowatts-heure, ce qui correspond de 1 020 à 1 530 kilowatts-heure par tonne. En admettant que le courant soit livré au prix de 0,031 fr. l'unité, le prix de la fusion (en ce qui concerne l'énergie électrique seulement) varie de 32,15 fr. à 48,21 fr.

Chaque creuset peut supporter de 10 à 12 fusions.

Four électrique Hering.

Description du four. — Dans le four Hering la chaleur est produite par le passage du courant dans le bain d'une façon spéciale. Si un courant électrique passe à travers un bain ou une colonne de métal fondu, dont la surface de la section transversale va en se resserrant de façon que la densité du courant soit élevée à un certain point, le métal transportant le courant se contracte et devient « resserré ». Cette action sur le métal a pour effet d'établir une pression qui peut devenir si élevée qu'elle rompt le circuit. Cet effet de « resserré » est utilisé dans le four Hering pour transmettre la chaleur au bain et établir la circulation du métal en vue de sa fusion et de son affinage.

La disposition du four est représentée par la figure 251. Le four, du type vertical, se compose d'une chambre en forme de dôme, formée de matériaux réfractaires et munie, à la partie supérieure du dôme, d'une ouverture destinée au chargement des matériaux de la charge. Au fond de la sole, il y a un ou plusieurs trous verticaux, dont les extrémités inférieures sont en contact avec des électrodes formant fermeture et reliées à la source d'électricité. Le nombre des électrodes et des trous est déterminé d'après le genre d'électricité utilisé par le four. La partie des électrodes en contact avec le four est refroidie par circulation d'eau froide. On construit également ce four d'une autre façon dans

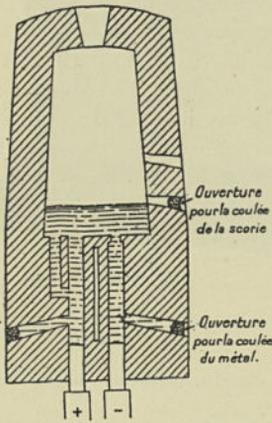


Fig. 251. — Four Hering.

laquelle la colonne de métal est inclinée, au lieu d'être horizontale; dans ces conditions, il faut moins de pression hydrostatique dans les colonnes de métal pour assurer la transmission de la chaleur à la totalité du bain.

L'« effet resserré » est déterminé en proportionnant les sections transversales des colonnes, au courant qui les traverse. Il y a une colonne sur le côté ayant pour but de stimuler la circulation du métal et pour cela on lui donne une section transversale différente des autres, ce qui établit une différence de pression. On peut d'ailleurs arriver au même résultat en diminuant l'orifice d'une des colonnes, comme le représente la figure. Les colonnes sont coniques, le plus grand diamètre étant celui de l'orifice, de sorte que si on arrête le four avec les colonnes remplies de métal on ne craint aucune rupture pendant la solidification. Les colonnes sont entourées par un tube, ou partiellement entourées par un cercle ou une plaque, s'étendant sur toute leur longueur, faite en matériaux bons conducteurs à haute température — en carborundum — de sorte que si la colonne de métal vient à se rompre, le courant n'est pas interrompu. Il y a également un espace d'air entre les colonnes, pour être certain que le courant ne traversera pas les parois du four entre celles-ci.

Fonctionnement du four. — A la mise en marche du four, on verse soit du métal fondu qui remplit complètement les colonnes ou on met une tige coudée en acier (de préférence de même qualité que l'acier à fabriquer) que l'on introduit jusque dans le fond des trous, pour mettre les extrémités en contact avec les électrodes. Cette pièce se trouve donc placée en forme de fer à cheval, ce qui assure un circuit complet.

La chaleur est produite dans ces colonnes de métal par la résistance présentée au courant qui les traverse et venant des électrodes et quand la fusion est obtenue, on charge les matériaux, par l'ouverture spécialement ménagée à cet effet, à la partie supérieure du dôme.

La chaleur des colonnes de métal se transmet au bain par l'effet du « resserré » qui oblige le métal fondu à couler le long de l'axe des colonnes, et la pression hydrostatique l'obligeant à descendre le long de la circonférence des colonnes.

Le métal est coulé par un trou de coulée, placé près de la base des colonnes, ou par une rigole de coulée percée dans le fond de la sole. Les scories sont coulées par un trou percé au niveau des scories et au-dessus duquel se trouve un trou de rentrée d'air, destiné à assurer la combustion complète des gaz non brûlés qui se dégagent de la charge.

Four électrique Igewsky.

Description du four. — Dans le four Igewsky, la chaleur générée dans le revêtement du four est transmise au bain par radiation et conductibilité.

Le four se compose d'une enveloppe cylindrique garnie de matériaux réfractaires et tournant sur des galets autour de son axe. La disposition du four est représentée par la figure 252. Le courant est amené aux plaques de contact, disposées à l'intérieur d'un cadre fixe, et de celles-ci,

à des plaques de laiton. Le passage du courant à travers les plaques de fer et des intervalles de briques, génère de la chaleur qui est utilisée pour fondre et affiner le métal placé à l'intérieur du four. Le revêtement employé est soit acide, soit basique, quoique la conductibilité électrique de ce dernier étant deux fois plus grande que celle du premier, la conductibilité calorifique l'est également, de sorte qu'il en résulte une certaine perte d'énergie.

Le four de 1 tonne actuellement en service a, dans son revêtement,

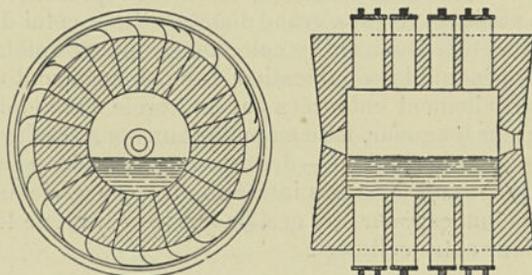


Fig. 252. — Four Igewsky.

36 plaques électrodes en fer mesurant 1,10 m. de long sur 0,30 m. de large. L'intérieur du four a un diamètre de 0,75 m. et 1,20 m. de long, le revêtement (lequel est acide) a 0,30 m. d'épaisseur. Le courant employé mesure 600 ampères et 550 volts. La rotation du four, au moyen d'un moteur électrique, est de 2 tours à la minute.

Fonctionnement du four. — A la mise en marche du four, on fait à l'intérieur un feu de coke, ou l'on y brûle du gaz, de façon que la maçonnerie soit chauffée à une température voisine de 300°. L'intérieur du revêtement est alors enduit avec une solution de soude ou de carbonate de soude qui forme une légère couche conductrice du courant et qui par suite de son incandescence, quand elle est chauffée, facilite la radiation de la chaleur.

L'inventeur prétend que le prix de l'installation est faible et que la consommation de force ne doit pas dépasser 1 000 kilowatts-heure par tonne.

Dans les fours de plus grande capacité, cette consommation serait un peu diminuée.

Les frais d'entretien et de main-d'œuvre seraient à peu près les mêmes que pour les autres fours électriques. Le chauffage du four au-dessus de 1 700° C, entraîne la destruction du revêtement.

Voici les avantages que l'on dit retirer de ce four :

1. Emploi d'un voltage élevé;
2. Emploi d'un courant de nature quelconque;
3. Nature compacte du four.

CHAPITRE XLIV

LES RÉACTIONS CHIMIQUES DU FOUR ÉLECTRIQUE

Les changements chimiques qui se produisent dans la fabrication et l'affinage de l'acier au four électrique sont analogues à ceux qui se produisent dans les autres procédés. L'agent calorifique étant exempt de soufre, le procédé convient donc parfaitement à la fabrication des aciers d'excellente qualité. Les autres fonctions particulières au four électrique et qui influencent, dans une certaine mesure, la chimie du procédé, sont :

(a) Températures plus élevées que celles obtenues avec les autres procédés de fabrication et leur influence sur l'affinage ;

(b) Plus grande facilité de maintenir dans le four une atmosphère non-oxydante que dans les autres fours.

Les réactions qui se produisent dans le procédé peuvent se diviser en deux catégories :

1. La période d'oxydation ;
2. La période de désoxydation.

Période d'oxydation. — Cette partie de l'affinage commence lorsque la fusion de la charge solide est complète, ou dès que le métal liquide vient d'être chargé, selon que l'on travaille avec des charges froides ou des charges liquides.

L'oxydation est provoquée par les additions de minerai de fer ou de battitures, auxquelles on ajoute de la chaux pour former une scorie basique (les fours eux-mêmes ont généralement un revêtement basique) et sous l'action de la chaleur le silicium, le manganèse, le carbone, le phosphore et le soufre sont plus ou moins oxydés. Si la teneur en carbone est nettement élevée, il est parfois nécessaire d'utiliser plus d'une scorie oxydante pour arriver à ramener la teneur en carbone au chiffre voulu. L'oxydation favorise l'élimination du phosphore dans la scorie basique sous forme d'acide phosphorique (P_2O_5) et les analyses suivantes, faites pendant la période d'oxydation d'une charge d'un four Girod de 3 tonnes, montrent clairement la réduction des impuretés qui s'y produit. Le métal employé était de l'acier Martin-Siemens partiellement affiné et de composition chimique connue.

On remarquera que le soufre est également partiellement éliminé durant cette période, mais le fait principal c'est l'élimination du phosphore.

Période d'oxydation.

	Échantillon N°	C	Si	Mn	P	S
Charge	1	0,15	tr.	0,54	0,034	0,054
Après addition de 10 kg. de minerai	2	0,14	—	0,40	0,021	0,048
Après addition de 15 kilogrammes de minerai	3	0,14	—	0,34	0,016	0,044
Après addition de 25 kilogrammes de minerai juste avant le décrassage	4	0,10	—	0,29	0,008	0,046

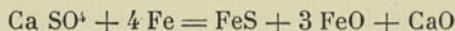
Lorsque l'oxydation et la déphosphoration qui l'accompagne est jugée suffisante, on retire la scorie. Si cette scorie restait dans le four pendant la seconde période, les substances désoxydantes provoqueraient le retour du phosphore de la scorie à l'acier, puisque l'acide phosphorique dans la scorie n'est pas stable. Dans le but de se dispenser de cette opération de décrassage, M. E. Humbert fit breveter, en 1909, un procédé où l'on ajoutait à la scorie oxydante des substances réductrices transformant le phosphate en un phosphure stable.

Période de désoxydation. — C'est pendant cette période, qui suit immédiatement celle d'oxydation, que la totalité du soufre est éliminée de la charge. La scorie désoxydante est formée par des additions de chaux, de sable et de spath-fluor et les matériaux employés pour la désoxydation sont le coke de pétrole et le ferro-silicium. L'addition du carbone nécessaire est faite au commencement de cette période sous forme de coke de pétrole, de morceaux d'électrodes en charbon, de houille, etc., et l'étude des diverses charges qui suit, montrera que la teneur en carbone ainsi formée reste pratiquement constante pendant cette partie du procédé.

La scorie fondue, qui est noire par suite de la dissolution de l'oxyde ferreux formé, devient plus blanche lorsque le fer qu'elle contient retourne au bain. L'examen de la couleur de la scorie, pendant la période de désoxydation, permet au chef fondeur de suivre les progrès de celle-ci. Lorsque la scorie est devenue blanche, cela n'indique pas nécessairement l'élimination du soufre de l'acier, mais cela montre plutôt la réduction de l'oxyde ferreux de la scorie, et il faut encore laisser s'écouler quelque temps avant que le soufre des sulfures métalliques formés ne soit réduit.

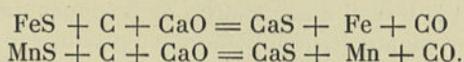
La destruction des oxydes ferreux est essentielle à la désoxydation et à la désulfuration.

D'après les recherches⁴ entreprises par le Dr Th. Geilenkirchen sur un four Héroult, et le professeur B. Osann sur un four Röchling-Rodenhauser, ils sont arrivés tous deux à conclure que l'élimination du soufre dans le four électrique était due à la formation de sulfure de calcium. Si cependant, la scorie contient du sulfure de calcium, celui-ci a une grande tendance à s'oxyder pour former Ca SO^4 qui, s'il se forme, agirait sur le fer d'après la réaction suivante qui restituerait le soufre au bain d'acier



⁴ *Iron and Coal Trades Review*, vol. LXXVIII, p. 230.

Mais on prétend que l'oxydation du sulfure de calcium n'est pas possible dans un four Héroult, d'abord, à cause de la nature excessivement réductrice de la scorie et ensuite, parce que l'atmosphère du four est également réductrice. La transformation du sulfure de fer en sulfure de calcium est supposée due à la présence du carbure de calcium qui se forme spontanément dans le four sous l'action de l'arc électrique. L'opération de désulfuration peut se décrire comme suit : La scorie excessivement réductrice formée à la surface du bain, désoxyde d'abord le bain d'une façon telle que les oxydes métalliques passent dans la scorie, y sont réduits à l'état métallique et retournent dans le métal du bain, tandis que le carbure de calcium est oxydé en chaux et en oxyde de carbone. Après que cette réaction est complète (c'est-à-dire lorsque la scorie et le bain ne contiennent plus d'oxydes métalliques) la scorie réductrice agit sur les sulfures métalliques, et les réduit en formant du sulfure de calcium :



La scorie formée est blanche et se désagrège en une poudre blanche, quand on l'expose à l'air.

Les recherches ci-dessus confirment les expériences du professeur Osann sur un four Röchling-Rodenhauser de 1 tonne. Il a constaté que le soufre n'était pas éliminé si le désoxydant (ferro-silicium) était remplacé par du ferro-manganèse. De plus, si la scorie contient une quantité de fer de beaucoup supérieure à 2 p. 100, l'élimination du soufre n'est pas satisfaisante et le professeur Osann conclut que du fer dans la scorie empêcherait la désulfuration du bain d'acier. Voici d'ailleurs les résultats qu'il a obtenus avec une charge dure.

Expériences sur un four Röchling-Rodenhauser de 1 tonne.

	ANALYSE DU BAIN				
	C	Si	Mn	P	S
Analyse du bain après traitement par les battitures.	0,105	0,016	0,204	0,012	0,069
Addition de 5 kg. de ferro-silicium à 50 p. 100 (grosueur d'un œuf) et de 15 kg. de houille. Scorie faite avec 10 kg. de chaux et 4 kg. de spath-fluor. Lorsque la scorie fut fluide le bain avait la composition.	1,07	0,092	0,248	0,020	0,044
On projette sur la scorie 5 kg. de chaux, 2 kg. de ferro-silicium à 50 p. 100 (grosueur d'une noix) et 2 kg. de spath-fluor.	1,07	0,096	0,234	0,013	0,028
La scorie étant encore noire, on fait une nouvelle addition de 1 kg. de ferro-silicium à 50 p. 100 et 1 kg. de spath-fluor. La couleur de la scorie devient plus claire	1,07	0,19	0,263	0,015	0,016

	ANALYSE DU BAIN				
	C	Si	Mn	P	S
On ajoute encore 2 kg. de ferro-silicium à 50 p. 100 et 2 kg. de spath-fluor. La scorie est maintenant blanche. On vide le four.	1,05	0,25	0,263	0,016	0,008

Composition de la dernière scorie.

SiO ₂	CaO	FeO	MnO	S	Fe
28,66	43,3	2,59	0,70	0,45	2,22

Pour représenter les changements qui se produisent durant les périodes d'oxydation et de désoxydation, les analyses des scories montreront probablement plus clairement les progrès de l'affinage et le tableau XCII (p. 573), donnant le travail d'une charge de 5 tonnes dans un four Röchling-Rodenhauser, montre les réactions qui se produisent durant les périodes d'oxydation et de désoxydation.

La désulfuration qui se produit durant la période de désoxydation est bien mise en évidence par les analyses suivantes, faites pendant l'affinage dans un four Girod, d'une charge d'acier Martin-Siemens fondu de 3 200 kilogrammes. La période précédente d'oxydation de cette même charge, a déjà été donnée page 570.

Période de désoxydation.

	Échantillon N°	C	Si	Mn	P	S
Après addition de 24 kg. de coke de pétrole et 50 kg. de scorie d'affinage	5	0,50	tr.	0,26	0,010	0,034
Après addition de 40 kg. de scorie d'affinage.	6	0,50	tr.	0,26	0,010	0,038
Après addition de 30 kg. de scorie d'affinage	7	0,49	tr.	0,27	0,010	0,026
Après addition de 9 kg. de ferromanganèse	8	0,50	tr.	0,49	0,011	0,026
Après addition de 1 kg. de coke de pétrole pulvérisé et 5 kg. de ferro-silicium.	9	0,52	0,07	0,52	0,015	0,026
Après addition de 5 kg. de ferro-silicium.	10	0,52	0,14	0,52	0,012	0,018
Après addition de 4 kg. de ferromanganèse	11	0,56	0,14	0,61	0,015	0,010
Echantillon final.	12	0,56	0,14	0,62	0,015	0,010

Il ressort des expériences faites, que la formation de carbure de calcium joue un rôle important dans les réactions désulfurantes, quoiqu'il existe de grandes différences d'opinion, en ce qui concerne la façon dont se font ces réactions.

M. E.-H. Saniter¹, auquel l'industrie de l'acier est redevable de ses

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1910, II, p. 206.

TABLEAU XCH
Travail d'une charge liquide de 5 tonnes, dans un four Röchling-Rodenhauser¹.

TEMPS	ÉCHANTILLON N°	ANALYSE CENTÉSIMALE DU BAIN						ANALYSE CENTÉSIMALE DE LA SCORIE							
		C	Si	Mn	P	S	CaO	SiO ₂	FeO	Fe	MnO	MgO	P	S	
Décrassage, recarburation et formation de la 2 ^e scorie.	0,0	Charge fondue.	0,06	0,02	0,49	0,06	0,065	—	—	—	—	—	—	—	
	0,20		0,07	0,02	0,28	0,025	0,034	38,5	9,0	24,9	6,8	4,9	0,71	0,54	
	0,40	Période d'oxydation.	0,07	0,02	0,21	0,022	0,049	40,0	8,4	24,1	28,3	5,7	4,4	0,645	0,69
	1,0		0,06	0,03	0,12	0,018	0,053	43,0	8,25	21,4	25,2	4,7	5,0	0,428	0,45
	1,20		0,06	0,03	0,12	0,015	0,057	48,6	8,4	21,4	24,0	4,2	4,0	0,428	0,50
	1,40		0,07	0,02	0,12	0,0145	0,053	48,5	8,6	20,25	23,6	4,0	4,5	0,47	0,55
	2,0	On ajoute 100 kg. de coke et 14 kg. de ferro-silicium.	0,06	0,02	0,12	0,012	0,048	—	—	—	—	—	—	—	—
	2,40	On ajoute 6 kg. de ferro- spiegel. On ajoute 44 kg. de ferro- silicium à 50 p. 100 à la scorie	0,26	0,02	0,15	0,015	0,028	66,3	45,0	4,5	1,7	0,25	4,3	0,048	1,22
			0,50	On ajoute 2 kg. de ferro- manganèse à 80 p. 100.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3,00	On ajoute 7 kg. de ferro- silicium à 50 p. 100 à la scorie	4,39	0,15	0,21	0,016	0,022	64,4	48,1	4,3	4,9	0,25	4,2	0,048	1,25
4,30			0,21	0,24	0,013	traces	64,4	48,1	4,3	4,9	0,25	4,2	0,048	1,25	
3,45	Période de réduction.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

¹ Journal Iron and Steel Institute, 1909, I, p. 312.

recherches sur la question de l'élimination du soufre dans l'acier, doute que le carbure de calcium intervienne dans la désulfuration.

Il est de toute évidence que le spath-fluor joue un rôle dans ces réactions, car, qu'il soit employé soit dans le four Martin-Siemens, soit dans le four électrique, sa présence est accompagnée de la réduction du soufre dans l'acier. La continuation des recherches sur ce sujet permettra, à n'en pas douter, d'établir définitivement les réactions exactes qui se produisent, et il en résultera probablement des méthodes de désulfuration rapides et économiques qui pourront être appliquées, sinon à tous, mais à la plupart des fours employés pour la fabrication de l'acier.

CHAPITRE XLV

COMPOSITION DES CHARGES EMPLOYÉES. ANALYSE ET EMPLOIS DE L'ACIER FABRIQUÉ AU FOUR ÉLECTRIQUE

La fabrication de l'acier au four électrique peut être classée en trois catégories :

(1) L'acier fabriqué avec des matériaux purs, métal simplement fondu et « tué » comme c'est le cas dans les fours à creusets.

(2) L'acier fabriqué avec des matériaux solides fondus puis affinés, produisant un acier de qualité supérieure à celui des matériaux bruts employés.

(3) L'acier affiné, fabriqué avec du métal soufflé de convertisseur ou partiellement affiné dans un four Martin-Siemens.

L'acier produit sous la rubrique (3), constitue le résultat du procédé duplex, c'est-à-dire la combinaison du convertisseur Bessemer et du four électrique ou du four Martin-Siemens et du four électrique. Les descriptions des matériaux employés dans le procédé duplex ont été faites au Chapitre xxxvii et l'on s'y reportera pour avoir les descriptions et les détails des charges affinées dans le four électrique.

La plus grande proportion de l'acier fabriqué au four électrique, avec des matériaux solides, provient des scraps d'acier. Dans les charges solides, on emploie rarement une grande proportion de fonte, car son emploi prolonge la durée de l'opération par suite de l'augmentation de la teneur en carbone et des autres impuretés. Il faut donc plus de temps pour les éliminer et par conséquent consommer plus de force électrique, ce qui augmente sensiblement le prix de revient. La pratique habituelle consiste à charger des scraps d'acier, ayant une composition chimique telle, qu'après leur fusion on obtiendra presque la teneur voulue en carbone dans l'acier final. Grâce à cette façon d'opérer, la période d'affinage se trouve réduite au minimum et le prix de revient considérablement diminué. Dans le cas où l'on doit fabriquer des aciers à outil à haute teneur en carbone, et que l'on ne puisse employer des scraps d'acier à outils convenables on utilise de la fonte et bouts de barres de fer pur que l'on mélange dans des proportions telles, que l'on obtient presque directement l'acier voulu. Ce procédé n'est en somme qu'un procédé de fusion où l'on « tue le métal » comme cela se pratique dans le procédé au creuset.

Le tableau suivant, donne l'énergie nécessaire pour fabriquer 1 tonne d'acier et montre clairement l'économie qui résulte de l'emploi des scraps d'acier.

*Kilowatts-heure nécessaires pour produire 1 tonne d'acier
(Rodenhauser-Schoenawa)¹.*

	KILOWATTS-HEURE
Avec de la fonte froide	1 500
— de la fonte liquide.	1 100-1 200
— de la fonte froide et des scraps froids	900-1 300
— de la fonte liquide et des scraps froids.	600-1 000
— des scraps froids	300- 900

Usages de l'acier électrique. — Avec le développement du procédé électrique, l'acier obtenu a trouvé des applications de plus en plus grandes. Aussi, est-il impossible de donner une liste complète des usages auxquels ces aciers sont destinés. Non seulement le four électrique peut être employé pour la fabrication des aciers à outils et des aciers à coupe rapide, analogues à ceux que l'on fabrique dans le four à creusets, mais il sert également à la fabrication des aciers spéciaux et des moulages en acier. (Les grands fours travaillant d'après le procédé duplex sont utilisés pour l'affinage des lingots d'acier pour rails, etc.).

Le prix seul limite les emplois de l'acier du four électrique, et par conséquent on ne peut guère faire au four électrique, lorsque l'on emploie des charges froides, que des aciers d'excellente qualité vendus à des prix relativement élevés. Il ne peut être question de la qualité de l'acier obtenu, car généralement l'acier fabriqué au four électrique est de bien meilleure qualité que celui fabriqué, pour le même usage, par n'importe quel autre procédé.

On voit donc d'après ce qui précède que le four électrique peut être considéré comme le rival du four à creusets, du petit convertisseur Bessemer et du petit four Martin-Siemens et sa substitution partielle ou complète aux anciens types de fours, ne dépend que du prix comparatif de revient de l'acier dans chacun des procédés. Dans le tableau XCIII nous donnons une liste d'analyses de quelques aciers fabriqués au four électrique sans cependant avoir l'intention d'indiquer les limites analytiques des aciers qu'il est possible d'obtenir dans chacun des fours indiqués.

Matériaux employés dans les charges. — La qualité des matériaux employés et la composition des charges varient dans de très grandes limites et dépendent, non seulement des matières premières disponibles et de la qualité de l'acier à produire, mais aussi du type de four employé. Dans les fours où l'on emploie généralement des charges de scraps, il faut s'exercer à bien classer les scraps et si on les achète par marché, il faut adopter une méthode de classification et d'approvisionnement. La fonte employée avec les scraps de la charge doit être de bonne qualité et ne contenir que le moins possible de phosphore et de soufre.

Nous avons donné page 48, tableau XI, des analyses types de fontes convenables.

Charges pour acier à outils et leurs analyses. — Pour la fabrication au four électrique de l'acier à outils, la méthode la plus économique est probablement celle qui consiste à fondre simplement, puis

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1911, II, p. 221.

TABLEAU XCIII
Analyses et essais de l'acier fabriqué dans les fours électriques.

N ^{os}	USAGES auxquels l'acier est destiné.	TYPE de four.	ANALYSE					ESSAIS MÉCANIQUES			
			C p. 100.	Si p. 100.	Mn p. 100.	P p. 100.	S p. 100.	Tenacité. Tonnes par centi- mètre carré.	Limite d'élasticité. Tonnes par centi- mètre carré.	Allongement. p. 100.	Contraction de surface. p. 100.
1	Acier à outils	Kjellin.	0,89	0,27	0,3	0,043	0,005	7	4,3	40 sur 787"	33
2	—	Hiorth.	1,02	0,412	0,301	0,021	0,008	—	—	—	—
3	—	Frick.	0,77	0,15	0,40	0,043	0,043	8	—	46,6	46
4	Moulanges d'acier	Héroult.	0,42	0,037	0,48	0,005	trace	—	—	—	—
5	—	Girod.	0,53	0,474	0,275	trace	0,017	5,7-6	—	—	—
6	—	Stassano.	0,207	0,236	0,421	0,027	0,043	4,05	—	—	—
7	Bandages de roues de locomotives .	Girod.	0,52	0,78	0,49	0,015	0,048	7,6	—	44,4 sur 787"	25,5
8	Acier structural	—	0,13 à 0,25	0,08 à 0,26	0,55 à 0,88	trace à 0,018	0,044 à 0,02	4 à 6	—	34 à 23,5 sur 787"	65,6 à 49,4

1. Communication faite par le Dr Kjellin à l'American Electrochemical Society, mai 1909.
2. *Transactions American Electrochemical Society*, vol. XVII, p. 200.
3. *Foundry Trade Journal*, 1909, p. 450.
- 5, 7 et 8. *Stahl und Eisen*, 3 août 1911.
6. *Journal Iron and Steel Institute*, 1911, II, p. 224.

« tuer » ensuite des matières premières de bonne qualité, en d'autres termes, opérer comme s'il s'agissait d'un creuset chauffé électriquement. C'est grâce à cet emploi de matières premières d'excellente qualité que le four à creusets a pu conserver sa place comme four convenant le mieux à la fabrication des aciers à outils extra et c'est en copiant ses méthodes que le four électrique pourra le concurrencer. Il ne faut cependant pas oublier que le four électrique a des avantages marqués sur le four à creusets, car on peut y affiner en une seule fois une plus grande quantité de métal, le degré d'affinage peut y être poussé plus loin, ce qui permet d'employer des matières premières moins coûteuses qui donnent de l'acier d'aussi bonne qualité que celui fabriqué dans les fours à creusets avec des matières premières de meilleur choix. Pourvu que l'acier de chaque procédé soit fabriqué économiquement, le facteur qui décidera de l'emploi dans le four électrique de matériaux d'excellente qualité qui seront simplement fondus et « tués », ou de l'emploi de matériaux de qualité moindre, qui seront fondus et affinés, se trouve dans le prix de fabrication.

Nous donnons, ci-dessous, deux types de charges¹ employées dans un four Kjellin de 1 tonne, pour la fabrication d'un acier à outils ayant la composition chimique suivante : C, 0,4 à 2,0 p. 100. — Si, 0,12 p. 100. — Mn, 0,34 p. 100. — P, 0,014 p. 100. — S, 0,012 p. 100.

Charge I. — Fabrication d'acier à outils au carbone, avec de la fonte de choix, des scraps et des briquettes dans un four Kjellin.

Matériaux composant la charge :

Fonte blanche	661 kilogrammes.
Scraps d'acier	200 —
Briquettes	100 —
Ferro-silicium (50 p. 100 Si)	8 —
Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	7 —
Aluminium	28 grammes.

Marche de l'opération :

Temps.		Unités employées
5,30 h.	On charge les $\frac{2}{3}$ de la fonte	—
6,00 —	. . . . .	67,5
6,30 —	. . . . .	76,25
7,00 —	On charge le $\frac{1}{3}$ de fonte restante et les scraps	82,5
7,30 —	. . . . .	85,0
8,00 —	Fusion limpide	83,75
8,30 —	On charge des briquettes	82,50
9,00 —	. . . . .	82,50
9,30 —	On charge des briquettes	82,50
10,00 —	. . . . .	82,50
10,30 —	On charge des briquettes	82,50
11,00 —	. . . . .	82,50
11,30 —	. . . . .	82,50
	Total	972,50

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1905, II, p. 397-9.

	Report	972,50		
12,00 h.	{ On charge le ferro-silicium et le ferro-manganèse	73,75		
			Coulée	<hr/>
			Total	1 046,25

Durée de l'opération : $6 \frac{1}{2}$ heures.

Consommation d'énergie : 1046,25 kilowatts-heure.

Analyse de la fonte blanche (Herräng), C, 4,00 p. 100. — Si, 0,15 p. 100. Mn, 0,18 p. 100. — P, 0,012 p. 100. — S, 0,01 p. 100.

Analyse des briquettes : Fe, 59,0 p. 100. — S, 0,01 p. 100. — P, 0,006 p. 100. — SiO_2 , 11,0 p. 100. — CaO 2,5 p. 100. — Al_2O_3 30,5 p. 100.

Charge II. — Fabrication d'acier à outils, au carbone, avec de la fonte de choix et des scraps dans un four Kjellin.

Matériaux composant la charge :

Fonte blanche	415 kilogrammes.
Scraps d'acier	622 —
Ferro-silicium (50 p. 100 Si)	2 —
Ferro-manganèse (80 p. 100 Mn)	3 —
Aluminium	28 grammes.

La durée de l'opération fut de cinq heures et la consommation d'énergie de 793 kilowatts-heure, par tonne d'acier fabriqué.

L'analyse de la fonte était la même que celle de la charge I.

Charges pour moulages et lingots d'acier extra. — Indépendamment de l'acier à outils, le four électrique est également employé pour la fabrication des moulages et des lingots en acier extra. Les matériaux généralement employés sont les scraps d'acier, avec ou sans une petite proportion de fonte, pour donner la teneur voulue en carbone. Voici quelques charges types.

Charge III. — Voici la charge type employée dans un four Girod, fabriquant des moulages d'acier.

Matériaux composant la charge :

Fonte	263 kilogrammes.
Tournures	150 —
Scraps de fer et d'acier	458 —
Scraps revenant de la fonderie	424 —
Chaux	60 —

Le ferro-manganèse, le ferro-silicium et l'aluminium sont ajoutés en quantités voulues, selon la qualité de l'acier à obtenir.

La durée du chargement est d'environ une heure, celle de la fusion et de l'affinage, cinq heures, pour une charge de 1 500 kilogrammes.

L'acier fabriqué a la composition chimique suivante :

C, 0,53. — Si, 0,474. — Mn, 0,275. — P, traces. — S, 0,017 p. 100.

donnant une ténacité de 5¹,6 à 6¹,02 par centimètre carré.

¹ *Foundry Trade Journal*, 1910, p. 150.

Charge IV. — Charge d'un four Héroult. Voici la charge employée dans un four Héroult de $1\frac{1}{2}$ t. travaillant dans de bonnes conditions et produisant des lingots d'acier pauvre en carbone.

Commencement du chauffage . . . 5,40 h.

Charge :

Scraps. 2539 kilogrammes.

Première scorie :

Chaux. 41 —

Minerai de fer 20 —

Enlèvement de la scorie. . . . 8,30 h.

Deuxième scorie :

Chaux. 40 kilogrammes.

Spath-fluor. 20 —

Ferro-silicium 10 —

Ferro-manganèse. 3 —

Poussière de coke 2 —

Fonte (ajoutée à 8,50 h.). 25 —

Aluminium. 0,45 —

Fin du chauffage 9,00 h.

Temps total 3,20 h.

Unités totales. 1320

— par tonne 552

Poids obtenus 2417 kilogrammes.

Analyse. { C Si Mn P S
{ 0,12 0,037 0,18 0,005 traces p. 100.

Charge V. — Charge¹ type de scraps froids, travaillée dans un four Stassano de 1 tonne, fabricant des moulages d'acier doux.

Matériaux composant la charge :

Scraps de moulages d'acier. 250 kilogrammes.

— de tôle d'acier. 350 —

Tournures. 150 —

— (très rouillées). 70 —

Fonte hématite. 28 —

Ferro-silicium 3,500 kg.

Ferro-manganèse. 3,175 kg.

Chaux 30 kilogrammes.

Carbure de calcium 4 —

Analyse de l'acier fabriqué (moyenne de 8 charges).

C, 0,207. — Si, 0,236. — Mn, 0,421. — P, 0,027. — S, 0,043 p. 100.

Résistance à la tension : 4 tonnes par centimètre carré.

¹ *Journal Iron and Steel Institute*, 1911, II, p. 224.

CINQUIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT ET SALAIRES

CINQUIÈME PARTIE

PRIX DE REVIENT ET SALAIRES

CHAPITRE XLVI

COMPARAISON DES PRIX DE REVIENT DE L'ACIER LIQUIDE

1° *Produit par le même procédé.*

2° *Produit par des procédés différents.*

Les tableaux suivants sont la récapitulation des prix de revient de l'acier, indiqués dans les chapitres précédents. Le tableau XCIV donne le prix de revient de l'acier, pour moulages d'acier, fabriqué par les différents fours à creuset.

TABLEAU XCIV

Prix de revient par tonne d'acier liquide, pour moulages d'acier¹, fabriqué dans les fours à creuset.

N ^{os}	CHAPITRES	TYPES DE FOURS A CREUSET				
		Huntsman chauffé au coke.	Laboratoire à 4 creusets chauffé au coke.	« Radio » à tirage forcé chauffé au coke.	Chauffage au gaz, régénérateurs.	
					Siemens « Type ordinaire »	Siemens « Nouveau type »
1	Prix du four	22 500 fr.	30 000 fr.	17 500 fr.	87 500 fr. ²	50 000 fr.
2	Nombre de fours	1	1	10	1	2
3	Production en tonnes par semaine	25	25	25	25	25
4	Nombre d'équipes	2	1	1	2	2
5	Nombre de chauffés ou fusions par équipe	3	3	4	3	3
	Capacité des creusets employés	34	34	39	34	34
6	Nombre de creusets dans chaque laboratoire de fusion	2	4	3	6	12
7	Nombre de laboratoires de fusion	12	12	10	4	2
8	Poids maximum des moulages	760	1 525	1 016	760	760
9	Genre de combustible employé	Coke.	Coke.	Coke.	Gaz de bouille gazogène.	Gaz de bouille gazogène.
10	Prix du combustible à la tonne	29,35 fr.	29,35 fr.	18,75 fr.	12,50 fr.	12,50 fr.
11	Amortissement et intérêt	2,80	3,75	2,19	10,93	6,25
12	Dépenses de fabrication: Entretien	5,75	6,25	6,25	8,25	7,00
13	Combustible	51,40	36,75	37,50	18,75	15,00
14	Creusets	24,00	24,00	44,71	24,00	24,00
15	Main-d'œuvre + 50 p. 100 di- rection	45,90	42,00	37,22	48,58	46,00
16	Force motrice	»	»	1,62	»	»
17						
18	Matières premières y compris addi- tions et pertes	104,12	104,12	104,12	104,12	104,12
	Prix total de l'acier liquide	233,97	216,87	233,61	214,63	202,37

¹ Pour plus de détails de chaque prix, voir les chapitres relatifs à chaque type de four,

² Ce type de four n'est avantageux que pour les fortes productions.

Les matériaux employés dans les charges ont la même valeur monétaire dans chaque cas et les pertes de chaque four sont également les mêmes. Le four Siemens « Type ordinaire » convient mieux pour les fortes productions, d'où réduction du prix de la tonne d'acier. Les fours à tirage forcé conviennent surtout aux petites productions.

Dans le tableau XCV, nous donnons le prix de l'acier à outils au carbone et à coupe rapide. Les prix de fabrication diffèrent légèrement de ceux du tableau XCIV, donnant ceux de l'acier pour moulages ordinaires. Les dépenses de main-d'œuvre et de combustible sont un peu plus élevées, mais les matières premières constituent le chapitre principal des dépenses. Ainsi, pour l'acier à coupe rapide, la valeur des matériaux qui composent les charges peut varier de 1 250 à 5 000 francs la tonne.

TABLEAU XCV

**Prix par tonne de l'acier liquide pour acier à outils¹
fabriqué dans les fours à creusets.**

Nos	CHAPITRES	TYPE DE FOUR EMPLOYÉ Huntsmann ordinaire, chauffé au coke.			
		Acier à outils au carbone.	Aciers à outils à coupe rapide.		
			Qualité A.	Qualité B.	Qualité C.
1	Prix du four.	30 000 fr.	30 000 fr.	30 000 fr.	30 000 fr.
2	Production en tonnes par semaine. . .	25	25	25	25
3	Nombre d'équipes.	2	2	2	2
4	Nombre de fusions par équipe.	3	3	3	3
5	Capacité moyenne des creusets.	25 kg.	25 kg.	25 kg.	25 kg.
6	Nombre de creusets dans chaque la- boratoire de fusion.	2	2	2	2
7	Nombre de laboratoires de fusion. . . .	16	16	16	16
8	Poids maximum des lingots.	760 kg.	760 kg.	760 kg.	760 kg.
9	Poids habituel des lingots.	23	23	23	23
10	Matière du combustible employé. . . .	Coke.	Coke.	Coke.	Coke.
11	Prix à la tonne du combustible.	35 fr.	35 fr.	35 fr.	35 fr.
12	Intérêts et amortissements.	3,75	3,75	3,75	3,75
13	Dépenses de fabrication : Entretien. .	5,98	5,98	5,98	5,98
14	Combustible.	105,92	123,58	123,58	123,58
15	Creusets.	17,00	17,00	17,00	17,00
16	Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour la direction.	60,02	60,02	60,02	60,02
17	Matières premières.	331,95	1 881,94	1 909,05	3 799,19
	Prix total de l'acier liquide par tonne.	524,62	2 092,27	2 119,38	4 009,52

¹ Pour plus de détails de chaque prix, voir chapitre x.

Le tableau XCVI montre que les ateliers Bessemer, à soufflage à la surface, peuvent être adoptés par toutes les fonderies d'acier. Pour les moulages de qualité ordinaire ou de qualité extra, lourds ou légers, il convient également bien. Une production double de la plus forte indiquée, c'est-à-dire 320 tonnes par semaine, peut être obtenue en doublant l'installation et l'on pourra obtenir des moulages plus lourds que 20 tonnes en soufflant les 4 cornues en même temps. Si toutefois le tonnage des moulages pro-

TABLEAU XCVI

Prix comparatifs, par tonne d'acier liquide, des ateliers de convertisseurs, soufflés à la surface, capables de produire de 320 à 18 tonnes par semaine et des moulages d'acier de 20 tonnes jusqu'à 0,500 kg. chacun¹.

Nos	CHAPITRES	CONVERTISSEURS BESSEMER ACIDE, SOUFFLÉS A LA SURFACE						Convertisseurs de 1 tonne.		Convertisseur de $\frac{1}{2}$ tonne.
		Convertisseurs de 2 tonnes de capacité, travaillant 10 heures par jour.			Convertisseurs de 1 tonne.			Convertisseurs de 1 tonne.		
1	Prix du convertisseur et de son équipement.	250 000 fr.	87 500 fr.	250 000 fr.	150 000 fr.	87 500 fr.	48 750 fr.	48 750 fr.	27 500 fr.	
2	Production en tonnes par semaine.	320	84	220	410	60	30	18	18	
3	Nombre de fusions par jour et par convertisseur.	14	14 ²	10	10	10 ²	10 ²	6 ²	12 ²	
4	Capacité des convertisseurs.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	1 tonne.	1 tonne.	$\frac{1}{2}$ tonne.	
5	Nombre de convertisseurs.	4	1	4	2	1	1	1	1	
6	Nombre de convertisseurs en service	2	1	2	1	1	1	1	1	
7	Poids maximum des moulages d'acier.	20 tonnes.	4 tonnes.	20 tonnes.	7 tonnes.	4 tonnes.	75 kg.	75 kg.	36 kg.	
8	Poids min. des moulages d'acier.	0,500 kg.	0,500 kg.	0,500 kg.	0,500 kg.	0,500 kg.	450 kg.	75 kg.	quelques gr.	
9	Amortissements et intérêts.	2,16	2,66	2,83	3,15	4,09	3,40	4,77	7,38	
10	Dépenses de fabrication. Entretien.	5,04	5,67	6,30	6,93	7,24	9,45	10,71	11,99	
11	Combustible	4,99	5,67	5,67	5,98	5,98	7,09	7,56	8,19	
12	Main-d'œuvre + 50 p. 100 pour frais de direction	6,49	8,27	8,24	9,97	11,36	9,67	11,36	13,88	
13	Force motrice.	1,55	1,61	1,68	1,68	1,73	1,66	1,89	2,10	
14	Matières premières y compris les additions et les pertes.	92,90	92,90	92,90	92,90	92,90	92,90	92,90	92,90	
	Prix total de la tonne d'acier liquide dans la poche de coulée.	413,43	416,78	417,62	420,61	423,30	424,47	429,49	437,47	

1. Pour les détails complets de chaque prix voir les chapitres relatifs à chaque type de four.
2. Travaillant trois jours par semaine.

duits était chaque fois supérieur à 20 tonnes il serait nécessaire d'installer de plus grands convertisseurs pour en avoir moins ou des fours Martin-Siemens. En ce qui concerne les petites productions indiquées sur le tableau, c'est-à-dire 18 tonnes par semaine, le prix par tonne d'acier dans la poche de coulée est presque de 20 p. 100 plus élevé que celui des grandes installations.

Le tableau XCVII donne les prix comparatifs de l'acier pour moulages, fabriqué dans quelques types de fours électriques. Le prix des scraps donné dans les charges froides diffère dans ces cas, mais la fonte liquide des charges à affiner est de 63 francs par tonne.

TABLEAU XCVII

Prix comparatifs par tonne d'acier liquide pour moulages en acier fabriquée dans les fours électriques¹.

Nos	CHAPITRES	FOUR GIROD		FOUR ROCHLING-RODENHAUSER		FOUR HÉROULT	
		Fusion de scraps froids.	Affinage d'une charge liquide.	Fusion de scraps froids.	Affinage d'une charge liquide.	Four de 15 tonnes affinant une charge liquide pour rails, etc.	Four de 2½ tonnes fondant des scraps froids pour moulages.
1	Prix de l'installation . . .	50 000 fr.	50 000 fr.	58 750 fr.	88 500 fr.	150 000 fr.	50 000 fr.
2	Nombre de fours	1	1	1	1	1	1
3	Tonnage des fours	2½ tonnes	2½ tonnes	2 tonnes.	5 tonnes.	15 tonnes.	2½ tonnes
4	Nombre de fusions en 24 h.	4	10	4	8	12	4
5	Nombre d'équipes	2	2	2	2	2	2
6	Production en tonnes par semaine	50	125	40	200	1 000	50
7	Amortissements et intérêts	3,00	1,25	4,40	1,32	0,44	2,88
	Dépenses de fabrication :						
8	Entretien	15,00	5,00	3,45	3,30	0,90	3,10
9	Force motrice	31,00	10,60	28,10	8,98	3,87	24,50
10	Electrodes	5,00	1,95	—	—	1,85	7,25
11	Main-d'œuvre	5,90	3,00	7,80	2,60	0,90	7,50
12	Matières premières	71,25	80,60 ²	65,50 ³	79,95 ²	80,60 ²	73,40
13	Fondant et additions	3,00	1,95	3,05	3,10	4,65	5,60
14	Frais de direction (50 p. 100 de la main-d'œuvre)	2,95	1,50	3,90	1,30	0,45	3,75
	Prix par tonne de l'acier liquide	137,10	105,85	116,20	100,55	93,66	127,98

1. Pour les détails complet voir les chapitres relatifs à chaque type de four.

2. Le prix de la fonte liquide est de 63 francs la tonne.

3. Le prix des matières premières doit être augmenté si on le compare à celui des autres, donnés dans ce tableau.

Les frais généraux, le chauffage et la réparation des poches et l'eau de refroidissement des électrodes ne figurent pas dans les prix ci-dessus.

Le prix de la force motrice est de 0,031 le kilowatt-heure.

Le tableau XCVIII donne les prix comparatifs de l'acier fabriqué par les

TABLEAU XCVIII
Prix comparatifs de l'acier pour moulages en acier fabriqué dans les différents fours ¹.
Production : 20 à 40 tonnes par semaine.

N ^{os}	CHAPITRES	FOURS A CREUSETS				CONVERTISSEURS		FOUR Martins-Siemens.	FOUR électrique.
		Chauffage au coke.		Chauffage au gaz.		Bessemer.			
		Ordinaire.	Tirage forcé.	Ordinaire.	Nouveau type	Soufflage à la surface.			
1	Prix du four et de son équipement.	30 000 fr.	47 500 fr.	87 500 fr.	50 000 fr.	48 750 fr.	45 000 fr.	50 000 fr.	
2	Production en tonnes par semaine.	25 tonnes.	25 tonnes.	25 tonnes.	25 tonnes.	42 tonnes	25 tonnes.	50 tonnes.	
3	Nombre de fours	—	—	—	—	1	1	1	
4	— de fusions par équipes	3	4	3	3	4 ³	2	2	
5	— d'équipes.	1	1	2	2	1	1	2	
6	Tonnage du four	—	—	—	—	1 tonne.	2 à 3 tonnes	2 à 3 tonnes	
7	Capacité des creusets	34 kg.	38,500	34 kg.	34 kg.	—	—	—	
8	Nombre de creusets dans chaque laboratoire de fusion	4	3	6	4 ²	—	—	—	
9	Nombre de laboratoires de fusion	12	10	4	2	—	—	—	
10	Poids maximum des moulages.	452 kg.	400 kg.	76 kg.	76 kg.	450 kg.	178 kg.	178 kg.	
11	— minimum	Quelques gr.	Quelques gr.	Quelques gr.	Quelques gr.	Quelques gr.	Quelques gr.	Quelques gr.	
12	Nature du combustible employé	Coke.	Coke.	far de gazogène.	far de gazogène.	—	far de gazogène	Electricité.	
13	Amortissement et intérêt du capital.	3,75	2,49	40,93	6,25	3,40	5,025	2,88	
14	Entretien	6,25	6,25	8,25	7,00	9,45	7,30	3,40	
15	Combustible.	36,75	37,50	48,75	45,00	7,09	10,00	»	
16	Creusets.	24,00	44,71	24,00	24,00	»	»	»	
17	Electrodes.	»	»	»	»	»	»	7,25	
18	Force motrice.	4,02	4,62	4,66	4,78	4,66	»	24,50	
19	Main-d'œuvre et frais de direction partiels.	37,22	37,22	48,58	46,00	9,67	22,50	7,50	
20	Matières premières	—	—	—	—	—	—	—	
21	Fondants	104,12	104,12	104,12	104,12	92,90	94,35	79,00	
22	Ferro-manganèse et ferro-silicium	—	—	—	—	—	—	—	
23	Frais de direction, 50 p. 100 de la main-d'œuvre.	—	—	—	—	—	—	—	
	Prix total par tonne d'acier liquide	216,87	233,61	214,63	202,37	124,47	139,775	127,98 ⁴	

¹ Pour les détails complets de chaque prix, voir les chapitres relatifs à chaque four.

² Le prix est basé sur 2 fusions par jour. En pleine marche, on peut faire 3 fusions par jour, ce qui réduit le prix.

³ Travaillant trois jours par semaine. ⁴ A l'exclusion des frais généraux. Voir tableau XCVII.

TABLEAU XCIX

Prix comparatifs de l'acier pour moulages en acier, fabriqué dans les différents fours.
Production de 50 à 320 tonnes par semaine¹.

N ^{os}	CHAPITRES	CONVERTISSEURS BESSEMER				MARTIN-SIEMENS	FOURS ÉLECTRIQUES		
		Soufflage à la surface.		Soufflage par le fond.			Chauffé à l'huile lourde	Girod.	Röchling-Rodenhauser.
		2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.				
1	Prix du four et de son équipement.	450 000 fr.	250 000 fr.	200 000 fr.	275 000 fr.	250 000 fr.	50 000 fr.	88 500 fr.	
2	Production en tonnes par semaine.	160 tonnes.	320 tonnes.	160 tonnes.	320 tonnes.	255 tonnes.	125 tonnes.	200 tonnes.	
3	Nombre de fours.	2	4	2	4	1	1	1	
4	de fusions par équipe.	14	14	14	14	3	5	4	
5	— d'équipes.	1	1	1	1	2	2	2	
6	Tonnage du four.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	2 tonnes.	15 tonnes.	$2\frac{1}{2}$ tonnes.	5 tonnes.	
7	Poids maximum des moulages.	7	20	7	20	12	178 kg.	4	
8	— minimum	0,500 kg.	0,500 kg.	0,500 kg.	0,500 kg.	Quelques kg. huile lourde.	0,500 kg.	—	
9	Nature du combustible employé.	—	—	—	—	—	—	—	
40	Intérêt et amortissement du capital	2,66	2,46	2,99	2,41	3,78	4,25	1,32	
11	Entretien	5,67	5,04	5,88	5,67	5,67	5,00	3,30	
42	Combustible.	5,67	4,99	5,67	4,98	9,34	»	»	
43	Electrodes.	»	»	»	»	»	4,95	»	
44	Force motrice.	4,61	4,55	3,46	3,25	»	40,60	8,98	
45	Main-d'œuvre et frais partiels de direction.	8,27	6,49	8,50	6,67	6,82	3,00	2,60	
46	Matières premières	»	»	»	»	»	»	»	
47	Fondants	»	»	»	»	»	»	»	
18	Ferro-manganèse et ferro-silicium.	92,90	92,90	92,90	92,90	91,43	82,55	83,05	
19	Frais de direction, 50 p. 100 de la main-d'œuvre.	»	»	»	»	2,20	4,50	4,30	
	Prix total de l'acier liquide par tonne	416,78	413,43	449,40	445,88	449,24	405,85	400,55	

¹ Pour les détails complets de chaque prix, voir les chapitres relatifs à chaque four.

² Le prix de la fonte liquide est de 63 francs la tonne.

TABLEAU C
 Prix comparatifs de l'acier pour lingots fabriqué dans les différents fours¹.
 Production de 1 000 à plus de 10 000 tonnes par semaine.

N ^{os}	CHAPITRES	CONVERTISSEURS Bessemer.		FOURS MARTIN-SIEMENS				FOUR électrique.
		Basique. 24 tonnes.	Basique. 10 tonnes.	Basique. 75 tonna s. Charges liquides.	Basique. 40 tonnes. Charges froides.	Basique. 35 tonnes. Charges froides.	Talbot. 200 tonnes. Charges liquides.	
1	Prix des fours et de l'installation	5 000 000 fr.	4 250 000 fr.	5 000 000 fr.	1 250 000 fr.	1 000 000 fr.	1 192 500 fr.	430 000 fr.
2	Production des fours par semaine	10 500 t.	3 780 t.	5 000 t.	1 472 t.	2 400 t.	42 à 1 400 t.	1 000 t.
3	Nombre de fours	4	4	5	3	2	1	1
4	— de fours en service	3	3	4	3	2	1	1
5	— de fusions par four en vingt-quatre heures	28	24	2 à 2 $\frac{1}{2}$	2 à 2 $\frac{1}{2}$	4 à 5	5 à 6	12
6	— d'équipes	2	2	2	2	2	2	2
7	Tonnage du four	24 tonnes.	10 tonnes	75 tonnes. gaz de gazogène.	40 tonnes. gaz de gazogène.	35 tonnes. gaz de gazogène.	200 tonnes. gaz de gazogène.	15 tonnes.
8	Nature du combustible employé	—	—	3,10	3,10	1,78	3,31	—
9	Intérêt et amortissement du capital	—	4,61	3,10	3,10	4,86	2,50	0,44
10	Entretien	—	4,40	3,46	4,86	2,52	2,80	0,90
11	Combustible	—	0,52	4,30	5,30	3,10	2,80	3,87
12	Electrodes	12,00	—	—	—	—	—	4,85
13	Force motrice	Y compris flux et ferro- manganèse	4,47	—	—	—	—	0,90
14	Main-d'œuvre et frais partiels de direction	63,00	3,14	64,00	63,00	62,60	67,62	85,25
15	Matières premières	63,00	2,62	1,26	0,60	0,40	—	—
16	Fondants	—	2,52	1,89	—	1,85	—	—
17	Ferro-manganèse	—	—	Perte com- prise dans les matières pre- mières.	Ferro-manga- nèse et per- prise dans les matières pre- mières.	Compris dans les matières premières.	Sont compris dans les ma- tières pre- mières.	Sont compris dans les ma- tières pre- mières.
18	Perte de matières pendant l'opération	9,45	—	4,89	0,50	4,85	4,85	0,45
19	Direction	—	—	84,62	78,56	76,90	81,83	93,66
20	Total	84,45	88,73	84,62	78,56	76,90	81,83	93,66
	Moins la valeur de la scorie	4,39	4,41	—	—	—	—	—
	Prix total par tonne d'acier liquide	80,06	84,32	84,62	78,56	76,90	81,83	93,66

¹ Pour les détails complets de chaque prix, voir les chapitres relatifs à chaque type de four.

différents procédés pour une même sorte de moulages d'acier, tels que moulages pour l'automobile, etc. Le procédé et les fours peuvent également être employés pour des moulages de qualité moyenne.

Le tableau XCIX compare entre eux les procédés Bessemer, Martin-Siemens et Electrique pour la fabrication de l'acier jusqu'à 320 tonnes par semaine. Les prix sont basés sur les productions maximum de chaque installation. Le prix du four électrique ne comprend pas certains chapitres tels que ceux des frais généraux, du chauffage et de la réparation des poches.

Le tableau C compare entre eux les procédés Bessemer, Martin-Siemens et Electrique produisant des lingots d'acier. La fonte des charges fondues est à 63 francs la tonne. Le prix le plus remarquable est celui du four de 35 tonnes, employant des charges froides.

Prix comparés de l'acier du convertisseur Bessemer et du four Martin-Siemens en Amérique.

Il y a environ cinq ans¹, des recherches attentives et laborieuses furent entreprises par M. le commissaire Herbert Knox Smith, du Bureau des Corporations des Etats-Unis, sur les prix de fabrication des usines modèles, dans le but d'établir quelques documents définitifs sur les prix actuels des différents chapitres des dépenses dans la fabrication des rails d'acier et des billettes dans les aciéries Bessemer et Martin-Siemens, et recueillir en même temps quelque renseignements sur les profits et pertes des diverses aciéries engagées dans cette fabrication.

Les recherches furent très complètes et faites par tout un personnel « sous la direction d'un aciériste expert » qui eut à examiner les nombreux rapports des divers manufacturiers qui produisaient ensemble 93 p. 100 de la totalité des rails des Etats-Unis, pendant la période de cinq ans considérée.

Au point de vue de la valeur des renseignements recueillis, et pour les comparer avec les chapitres correspondants des prix de fabrication de l'acier fabriqué par les divers procédés résumés dans ce chapitre, nous avons préparé les tableaux CI, CII, CIII et CIV, d'après les chiffres du commissaire.

¹ *Iron Age*, vol. LXXXII (1908), p. 4987.

TABLEAU CI

Prix de fabrication de la fonte Bessemer (tous les districts) pendant 1902-1906. Tonnes totales produites : 51 902 699.

CHAPITRES DES DÉPENSES	PRIX A LA TONNE	PRIX PAR TONNE de fonte.
	francs.	francs.
Mélange métallique total net	20,86	38,36
Coke	17,71	20,44
Calcaire	—	2,25
Main-d'œuvre ¹	—	4,04
Vapeur	—	0,63
Matériaux de réparation et d'entretien	—	0,84
Approvisionnements et outils	—	0,68
Dépenses pour travaux divers et généraux	—	1,47
Dépenses générales	—	1,89
Remplacements	—	0,94
Amortissement	—	2,04
Total		73,68

¹ Le chapitre de la main-d'œuvre ne comprend pas la main-d'œuvre du déchargement des matières premières et de la production de la vapeur, car certaines compagnies font entrer ces dépenses dans le prix des matières premières et dans le prix de la vapeur.

TABLEAU CII

Prix de fabrication des rails en acier Bessemer pendant 1902-1906. Tonnes fabriquées : 14 020 303.

CHAPITRES DES DÉPENSES	PRIX A LA TONNE	PRIX PAR TONNE de rails.
	francs.	francs.
Fonte Bessemer ¹	76,29	86,52
Perte	10,23	—
Main-d'œuvre	—	10,39
Manganèse, etc.	—	5,19
Combustible	—	1,83
Vapeur	—	3,25
Moules	—	0,78
Galets	—	0,89
Matériaux de réparation et d'entretien	—	2,20
Approvisionnements et outillage	—	1,41
Dépenses pour travaux divers et généraux	—	2,67
Dépenses générales	—	0,73
Amortissements	—	0,84
Total		116,70

Prix d'opération en transformant la fonte = 40.15 fr.

¹ La différence du prix de la fonte de celui donné pour la fonte Bessemer dans le tableau CI est due aux variations dans le prix de l'excès du tonnage et dans le prix de transport de la fonte.

TABLEAU CIII

Prix de fabrication des billettes en acier dans les grandes aciéries Bessemer et Martin-Siemens pendant 1902-1906.

TONNES PRODUITES DURANT 5 ANS	BILLETES BESSEMER 17 908 033	BILLETES M. S. BASIQUE 13 422 740
	Chapitre des dépenses.	
	Prix à la tonne.	Prix par tonne
	francs.	francs.
Fonte et scraps	73,34	72,40
Perte	40,23	8,64
Prix de la fonte et des scraps en billettes.	85,57	81,04
Variation dans le prix des lingots ¹	1,89	0,34
Main-d'œuvre	6,49	8,29
Manganèse et fondants.	1,94	3,09
Combustible	1,94	4,93
Vapeur	2,57	1,94
Moules.	0,84	0,89
Galets	0,40	0,21
Matériaux de réparation et d'entretien	1,44	2,46
Approvisionnement et outillage.	0,89	1,89
Dépenses pour travaux divers et généraux.	1,52	2,04
Dépenses générales	0,52	0,68
Reconstruction du four M. S.	—	1,26
Amortissement.	0,52	0,57
Totaux.	404,38	409,57

¹ Ces variations sont surtout dues au fait qu'une partie seulement des lingots fabriqués fut employée pour faire des grosses billettes et que le prix moyen auquel cette partie fut employée diffère beaucoup du prix moyen de tous les lingots.

TABLEAU CIV

Prix comparatifs de fabrication, de vente et bénéfices de la fabrication des billettes en acier pendant 1902-1906.

Nos	ANNÉES	BESSEMER		MARTIN-SIEMENS		PRIX MOYEN de vente des billettes en acier Bessemer et Martin-Siemens.
		Prix par tonne.	Bénéfice par tonne.	Prix par tonne.	Bénéfice par tonne.	
		francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1	Le plus élevé (1903)	434,08	—	452,58	—	450,00
2	Le plus bas (1905)	94,58	—	95,84	—	108,17 (1904)
3	Moyen (1906)	—	49,49	—	28,47	Moyenne pendant la période.
4	Le plus bas (1906)	—	3,25	—	25,74	127,67

* Le prix de 94,58 fr. était presque le prix de vente de l'acier mais la même compagnie a fait et usé 9 fois plus d'acier au prix de 95,84 fr.

Prix allemands de l'acier. — Le tableau CV a été préparé d'après les prix indiqués par M. F. Grassman¹ pour la fabrication de l'acier d'après les procédés mentionnés. Les chapitres des dépenses sont intéressants quand on les compare à ceux des autres tableaux.

TABLEAU CV

Acier basique. Prix par tonne de lingots.

Nos	CHAPITRE DES DÉPENSES	BESSEMER	DAELEN	TALBOT	BERTRAND	PROCÉDÉ MARTIN- SIEMENS (scrap).
		basique.	PSZCZOLKA		THIEL	
		francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1	Matières premières pour une tonne	70,00	68,75	68,75	68,75	62,60
2	Perte à la transformation . . .	10,90	7,65	—	—	6,35
3	Prix des autres matériaux					
	Dolomie	1,25	0,70	1,25	1,25	1,50
	Goudron	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10
	Minéral	0,05	0,95	7,50	7,50	0,35
	Coke	0,35	0,25	0,10	0,10	0,10
	Houille à gaz	0,05	2,75	4,35	4,35	5,00
	Houille pour vapeur	2,70	2,50	0,95	0,90	0,70
	Chaux	2,80	0,95	0,95	0,95	0,95
	Graphite, bois, aluminium . . .	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10
	Bouchons de poches	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	Moules à lingots	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
	Ferro-manganèse	2,50	2,50	3,45	3,45	2,50
	Réparations diverses et matériaux d'approvisionnement	1,90	3,10	3,50	3,15	3,10
4	Salaires	2,50	5,00	5,00	5,00	5,60
5	Appointements	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
6	Intérêt et amortissements . . .	1,35	1,75	2,05	1,50	1,75
	Totaux	98,40	98,70	99,70	98,75	92,35
	Valeur des sous-produits	5,00	0,60	0,95	2,50	0,60
	Prix net par lingot	93,40	98,10	98,75	96,25	91,75

¹ *Stahl und Eisen*, vol. XXI, p. 1021.

CHAPITRE XLVII

ÉTABLISSEMENT DES PRIX DE REVIENT DE L'ACIER

Les différents chapitres dont l'ensemble forme le prix de revient de l'acier ont besoin d'être soigneusement et régulièrement collationnés si le fabricant d'acier veut en tirer de réels et profitables services. On emploie quelquefois des méthodes gênantes, nécessitant un travail considérable et ne donnant que des résultats indifférents. Les directeurs d'aciéries exigent, sous une forme concrète, des résultats synoptiques auxquels ils peuvent rapidement se reporter, avec le minimum d'effort.

Pour arriver à résumer exactement les dépenses, il faut constamment noter les poids des matériaux qui sont reçus et employés dans la fabrication de l'acier. Il n'est pas moins important de noter soigneusement toute la main-d'œuvre employée pour les diverses opérations, aussi bien que la force consommée pour le travail des fours et des appareils auxiliaires que pour l'éclairage. Les charges importantes telles que celles d'amortissement de l'installation, d'intérêt du capital, les frais de direction peuvent être définitivement établis par tonne d'acier produit, selon la production hebdomadaire ou de toute autre période convenable.

Système de collationnement des dépenses. — Seul est bon, le système qui ne fait connaître les différents chapitres composant un prix de revient qu'à ceux qui sont chargés d'établir le prix définitif de fabrication. Des résultats complets et satisfaisants doivent être obtenus sans qu'il se produise aucune indiscretion, chose que les industriels cherchent surtout à éviter. Pour travailler suivant un pareil système, il est nécessaire d'observer des règles parfaitement définies pour éviter la bureaucratie. Les suivantes sont essentielles et peuvent être facilement appliquées.

1. Tous les matériaux et approvisionnements sortant d'un magasin pour aider à la fabrication de l'acier doivent être commandés sur bon, par l'ouvrier ou le contremaître responsable, le duplicata restant comme souche au livre de commande ;

2. Toutes les formules employées pour noter les diverses dépenses d'un même chapitre, seront classées d'une façon telle, qu'il faudra le minimum de travail et de temps pour retrouver un renseignement cherché ;

3. Tous les bons journaliers indiquant les matériaux, etc., employés, et l'acier fabriqué, seront classés chaque jour, après avoir été examinés et paraphés par le chef de service de l'aciérie ou son second, par l'agent-

comptable chargé de ce travail. Il en sera de même pour le relevé hebdomadaire ;

4. L'agent-comptable possédera une liste des matériaux employés pour la fabrication de l'acier, avec leur prix à la tonne ou au kilogramme ;

5. Une liste de tous les ouvriers employés dans l'aciérie, avec les salaires ou les primes reçus par tonnage, indiqués en face de chaque nom d'ouvrier, sera tenue par l'agent-comptable. Cette liste comprendra tous les travailleurs auxiliaires, tels que ceux employés occasionnellement pour les réparations de l'aciérie. Ces indications sont données comme renseignement afin de familiariser l'agent-comptable avec la classification de la main-d'œuvre et des salaires payés pour chaque catégorie ;

6. Toutes les indications de main-d'œuvre peuvent être faites par des enregistreurs appropriés comme les horloges, etc. Elles sont transmises journellement à l'employé chargé de ce travail ;

7. Tous les chapitres des dépenses seront rapportés à la tonne d'acier liquide dans la poche de coulée ;

8. Le prix total de l'acier fabriqué chaque semaine, du lundi matin au samedi soir, sera préparé pour être examiné le mardi matin de chaque semaine par le chef de service.

Méthodes et formules employées pour arriver aux résultats ci-dessus. — Selon le procédé de fabrication de l'acier employé, il faudra nécessairement modifier quelque peu le système ci-dessus, mais les 8 règles que nous avons données s'appliquant à tous, il ne faudra donc que modifier les formules pour les appliquer au procédé employé.

En donnant les détails des prix de fabrication de l'acier par le procédé Bessemer on pourra facilement appliquer une méthode analogue ou modifiée, à tous les autres procédés, sans publier les formules nécessaires pour chacun de ces autres procédés. Nous avons préféré analyser le prix de fabrication de l'acier par le procédé Bessemer, car son ensemble se compose d'un plus grand nombre de chapitres que tout autre procédé.

Prix de l'acier Bessemer (soufflage à la surface).

Chapitres dont l'ensemble forme le prix de revient.

1. Matières premières employées dans la fabrication actuelle ;
2. Autres matériaux employés en aide à la fabrication ;
3. Combustible ;
4. Force motrice ;
5. Main-d'œuvre.

En plus des chapitres ci-dessus il faut également ajouter les suivants :

6. Frais d'amortissements et d'intérêts par tonne d'acier fabriquée ;
7. Frais de direction.

1. Matières premières employées dans la fabrication actuelle.

— Le bureau de l'agent-comptable doit posséder la liste suivante des

matériaux et leur prix. Ces prix sont indiqués d'après les derniers marchés, car les achats se font à différents prix.

Fonte ;
 Scraps d'acier, lourds ;
 — — légers ;
 Ferro-manganèse ;
 Spiegeleisen ;
 Ferro-silicium ;
 Ferro-chrome ;
 Nickel ;
 Calcaire ;
 Spath-fluor ;
 Aluminium.

Si l'agent-comptable n'a pas besoin de posséder les analyses ou compositions des matériaux dont il s'occupe, il est par contre, bien entendu, que les analyses habituelles de tous les matériaux seront faites et enregistrées par le chimiste avant d'être acceptées pour l'emploi. Dans le cas des fontes et des alliages dont on utilise souvent différentes sortes, ils seront désignés à l'agent-comptable par le nom de leur marque. Ces noms seront peints sur des écriteaux placés sur le stock de fonte ou autre substance correspondante, ou la façon dont la classification a été faite sera connue de l'ouvrier chargé du service du parc qui manutentionne ces matériaux.

Formules pour l'inscription des matériaux employés. — La fonte et les scraps provenant des stocks correspondants du parc (dont les poids sont indiqués sur le registre d'entrée des matières premières) sont chargés sur des wagonnets qui sont pesés sur un pont-bascule avant d'être conduits sur la plate-forme de chargement. Pour faire rapidement ces pesées, on place le bras de la bascule dans la position correspondante à la charge voulue, en remettant ou en enlevant des matériaux des wagonnets, on arrive rapidement à équilibrer la charge.

Étant donnée l'importance de ces pesées, il faut exiger qu'elles soient faites avec soin. Lorsque la charge du wagonnet est composée d'une partie de fonte et d'une partie de scraps, comme c'est le cas des petites charges de l'installation en question, on pèse d'abord la fonte et quand le poids en est noté, on ajoute les scraps et on pèse de nouveau.

Les formules sur lesquelles on inscrit les poids sont fixées sur un petit écriteau placé près de la bascule et sont rédigées comme l'indique la formule I (p. 597).

Le poids des différents matériaux, que l'on se propose d'user journellement dans chaque charge du cubilot, est inscrit sur la formule par le contremaître ou le chargeur et lorsque chaque charge passe du monte-charge sur la plate-forme de chargement, on la marque d'un trait sur la formule, la quatrième charge étant marquée par une ligne transversale coupant les trois autres, cela indique que les 4 charges nécessaires pour faire une charge du convertisseur, ont été montées sur la plate-forme de chargement. A la fin de la journée, le marqueur remet la

formule au contremaître ou au surveillant qui inscrit les détails sur la feuille de chargement du convertisseur. On remet pour la nuit une nouvelle formule au marqueur du pont-bascule si on travaille à deux équipes.

A. B. C. Co Ltd.		
ACIÉRIE BESSEMER		
FORMULE I		
FEUILLE DE CHARGEMENT DU CUBILOT		
Équipe.	Date.	
Les poids suivants de matériaux sont ceux des charges du cubilot de ce jour.		
Signé :		
MATÉRIAUX	POIDS	INSCRIRE LE NOMBRE des charges dans cette colonne.
Fonte n° 1.	305 kg.	
— — — — —	kg.	
Scraps d'acier forgé lourds.	kg.	///
— — — — — légers.	kg.	///
Scraps, bouts de rails	200 kg.	///
Scraps, acier coulé, lourds.	kg.	///
— — — — — légers.	400 kg.	///
Calcaire	13,6 kg.	
Spath-fluor	305 kg.	
Coke	50,8 kg.	
— — — — —		
Lit de coke	500 kg.	
pour les 4 premières charges et 38 kg. pour les autres.		
A remettre au contremaître à la fin de la journée.		

La formule II (p. 598) est employée pour donner les instructions à l'ouvrier chargé du cubilot, du four de chauffage ou des creusets des additions, selon la méthode employée pour la fusion ou le chauffage des additions que l'on fait à la charge. Dans les grandes aciéries Bessemer, où l'on ne produit des lingots que de deux ou trois qualités différentes, il n'y a que quelques variations dans le poids et le caractère des additions. Mais dans le cas de fabrication de l'acier pour moulages dans les diverses fonderies d'acier, il faut faire de nombreux changements dans une journée pour satisfaire aux conditions des commandes reçues. C'est du reste l'art du fondeur de produire de l'acier, en faisant dans les mélanges le moins de changements possible.

Le détail complet des charges de chaque jour est habituellement préparé la veille dans l'après-midi.

Voici ce que signifie la formule II : dans les colonnes donnant le nombre des différentes charges, toutes les charges d'une même colonne reçoivent la même quantité d'additions physiques selon les poids indiqués. Comme l'indication des poids de combustible et de fondants employés avec les matériaux de chaque charge demanderait trop de travail sans qu'il en résulte un avantage marqué, on se contente d'indiquer les quantités

totales de combustible et de fondants employées par l'équipe, et l'on calcule le poids moyen correspondant à chaque charge.

A. B. C. Co Ltd.				
ACIÉRIE BESSEMER				
FORMULE II				
ADDITIONS PHYSIQUES POUR LES CHARGES DU CONVERTISSEUR				
Equipe			Date.	
La fonte et les scraps d'acier seront fondus au cubilot des additions physiques.				
Les ferro-alliages de Mn et de Si seront chauffés au rouge.				
Les autres ferro-alliages seront fondus dans des creusets.				
MATÉRIAUX	ADDITIONS AUX CHARGES			
	Nos 1, 2, 3 et 6.	Nos 4, 5 et 9.	Nos 7, 8 et 10.	Nos 11, 12 et 13.
Fonte N° 1.	150 kg.	100 kg.	150 kg.	125 kg.
— N° 2.	150 —	25 —	150 —	125 —
Scraps, acier fondu, léger	50 —	75 —	—	—
Ferro-manganèse (80 p. 100)	22,600 —	18,000 —	20,400 —	13,600 —
Spiegeleisen.	—	22,600 —	—	—
Ferro-silicium (50 p. 100).	11,300 —	9,00 —	9,00 —	11,300 —
Ferro-chrome	—	—	—	—
Aluminium	0,450 —	0,680 —	0,450 —	0,680 —
Nickel.	—	—	—	—
Coke usé par l'équipe.			kilogrammes.	
Calcaire usé par l'équipe			—	
Spath-fluor.			—	
A remettre au contremaître à la fin de la journée.				
Signature :				

Ayant préparé les feuilles des matières premières et des additions physiques des charges, il est maintenant nécessaire d'avoir un contrôle exact du poids de métal fondu dans le cubilot, et de celui soufflé dans le convertisseur. L'ouvrier chargé du soufflage et connu sous le nom d'« opérateur » peut être responsable du travail de toute l'aciérie ou simplement responsable du « soufflage ». Il est toutefois d'usage de lui donner la responsabilité du cubilot, afin que la température du métal, etc., soit conforme à ses désirs. Il inscrit sur un carnet de poche, pour les reporter ensuite sur la feuille des charges, les poids du métal du cubilot et du métal soufflé. Pour inscrire tous ces renseignements, il est prudent de disposer d'une formule spéciale, formant un petit carnet de poche. Nous donnons, ci-contre, un modèle de cette formule III (p. 599).

Les renseignements mentionnés sur les formules I, II et III sont transcrits sur la « Feuille de Fabrication » à la fin de chaque journée d'équipe.

A. B. C. Co Ltd. ACIÉRIE BESSEMER FORMULE III NOMBRE DE FUSIONS ET POIDS DES CHARGES			
Equipe.		Date.	
N ^{OS} DE LA FUSION	POIDS du métal du cubilot pour le convertisseur.	POIDS des additions physiques du cubilot.	POIDS de l'acier fini coulé dans la poche.
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

2. Autres matériaux employés en aide à la fabrication. — L'agent-comptable tiendra une liste des autres matériaux, ainsi désignés, pour les distinguer des matières premières. Ces matériaux sont les suivants :

(a) Tous les matériaux réfractaires employés pour le revêtement et la réparation des convertisseurs, cubilots, fours à creusets, poches, etc.

(b) Tous les matériaux employés dans les réparations.

(c) Tous les approvisionnements (magasin).

Sous (a) nous comprenons :

Les blocs de silice, de sections différentes, ayant chacun un prix différent ;

Les briques en silice de forme spéciale ;

Les briques en silice de forme ordinaire ;

Le ciment siliceux ;

Les blocs réfractaires de sections différentes ;

Les blocs réfractaires de forme spéciale ;

Les blocs réfractaires de forme ordinaire ;

Le ciment réfractaire ;

L'argile réfractaire ;

Le ganister fin ;

Le ganister brut ;

Les argiles spécialement broyées.

Sous (b) nous comprenons :

Toutes les sortes de métaux, forgés ou fondus, employés pour remplacer les pièces brisées ou usées de toute l'installation. Nous com-

prenons également tous les outils employés aux cubilots et aux convertisseurs.

Sous (c) nous comprenons :

Toutes les sortes d'huiles, de graisses, de suifs, de savons, le déchet, l'amiante, les emballages, les chiffons de nettoyage, les creusets, les gants de cuir, les jambières, les brosses, les limes, la mine de plomb, etc.

Sortie des matériaux du magasin. — Aucune substance ne peut sortir du magasin sans un bon de commande, signé par une personne responsable. Les matériaux désignés dans le paragraphe ci-dessus pouvant être employés par un autre service que celui de l'aciérie, le bon devra être muni d'un numéro d'ordre, spécial à chaque service, afin d'éviter toute confusion. Ces bons, de forme allongée, seront reliés en un petit volume facile à mettre en poche que l'on confiera au contremaître ou au surveillant.

Nous donnons, ci-dessous, un modèle de bon.

A. B. C. C° Ltd.			
APPROVISIONNEMENTS			
Service.	Ordre n°.		
Equipe.	Date.		
Prière de livrer au porteur ce qui suit :			
MATÉRIAUX	N°s	DIMENSIONS	POIDS
Signature :			

Ces bons sont retournés directement par le magasinier à l'agent-comptable, qui en fait le relevé, pour le faire figurer au prix de revient sous la rubrique « Approvisionnements et Entretien ». Les matériaux comme le ganister, le ciment et les briques, qui sont en dépôt à proximité de l'aciérie, doivent être pesés et comptés avant l'emploi. Ce travail est quelquefois considéré comme inutile et fastidieux, mais il est nécessaire, si l'on veut obtenir des prix exacts. Un contremaître ou un surveillant avisé se munira, en une seule fois, d'une quantité suffisante de matériaux pour ne pas retourner si souvent au dépôt. On trouve toujours un petit endroit de l'aciérie pour y déposer les différents matériaux que l'on emploie constamment. Lorsque l'espace disponible est limité, on peut déposer les matériaux dont on a eu soin de prendre le poids et le nombre, à proximité des convertisseurs et des cubilots. Quand on opère de cette façon, on envoie tous les jours ou toutes les semaines à l'agent-comptable, le relevé des matériaux employés.

Quel que soit le système adopté, le relevé exact de tous les matériaux employés du lundi matin au samedi soir, devra être envoyé à l'agent-comptable, pas plus tard que le lundi suivant, dans la matinée.

3. Combustible. — Dans ce chapitre nous comprenons ce qui suit :

Le coke et le bois employés pour allumer les feux des cubilots, des convertisseurs, des fours à creusets ; pour le chauffage des poches et des ferro-alliages (si, à cet effet, on n'utilise ni huile ni gaz) ; le coke et la houille employés par les grues à vapeur.

Le coke employé pour former le lit des cubilots et fondre les charges ; pour le chauffage des convertisseurs, le chauffage des fours à creusets, etc.

La majorité du combustible employé est le coke, qui est livré par wagon ou par voiture, selon la situation de l'usine.

A son arrivée on en prend le poids sur le pont-bascule et on l'inscrit sur le registre des matières premières ; puis il est mis en dépôt à proximité des monte-charges des cubilots et des convertisseurs. Le coke est repris de ces tas soit avec des brouettes, soit avec des petits wagonnets, lesquels sont à nouveau pesés sur le pont-bascule du monte-charge et on inscrit leur chargement sur les formules I et II avant de les envoyer sur la plate-forme de chargement.

En plus de ces renseignements, il est indispensable de disposer d'une formule spéciale pour inscrire les combustibles divers employés pour les autres usages précédemment indiqués, sans quoi on trouverait une énorme différence entre le poids du combustible inscrit sur le livre d'entrée et ceux de sortie relevés sur les formules I et II. Nous donnons ci-dessous un modèle de formule très convenable.

A. B. C. Co Ltd.			
ACIÉRIE BESSEMER			
FORMULE IV			
COMBUSTIBLES DIVERS			
Equipe.			
	Date.		
COMBUSTIBLE EMPLOYÉ	POIDS EN KILOGRAMMES		
	Convertisseur.	Cubilot.	Creusets, poches et chauffage des fours.
Houille menue.			
— morceaux			
Coke dur			
— tendre.			
Bois			
Huile			
A remettre au surveillant à la fin de la journée.			

Le chef de service inscrit les renseignements de cette formule IV sur la

Feuille journalière de Fabrication et l'agent-comptable en calcule les prix.

4. Force motrice. — Ce chapitre est non seulement le plus facile, mais le plus exactement renseigné de tous les autres. Les instruments de mesure sont maintenant si nombreux et si exacts qu'en ce qui concerne la consommation de l'énergie électrique tout au moins, elle peut être déterminée avec la plus grande exactitude. Dans les aciéries modernes, du genre de celle que nous étudions maintenant, presque toute la partie mécanique est actionnée électriquement. Si l'énergie employée pour actionner les ventilateurs, les monte-charges, les grues, etc., de l'aciérie provient de la station centrale de l'usine ou d'une compagnie étrangère, la quantité totale du courant consommée par l'aciérie sera enregistrée par un compteur placé sur la ligne d'arrivée. Il est très facile de lire les indications de ce compteur. Si l'on ne travaille que de jour, les lectures se font à la fin de la journée, aussitôt après l'arrêt. Si l'on travaille également de nuit, les lectures se font à la fin de la journée et à la fin de la nuit.

Voici une formule (V) qui convient parfaitement pour l'inscription de ces renseignements et qui indique en outre le nombre total de kilowatts consommés en une semaine par chaque équipe.

A. B. C. Co Ltd.					
ACIÉRIE BESSEMER					
FORMULE V					
ÉLECTRICITÉ — FORCE MOTRICE ET ÉCLAIRAGE					
Semaine du au					
JOURS	ÉQUIPE	LECTURES DU COMPTEUR		UNITÉS de force motrice employées.	UNITÉS d'éclairage employées.
		Au commen- cement du travail.	A la fin du travail.		
Lundi	Jour.				
	Nuit.				
Mardi	Jour.				
	Nuit.				
Mercredi	Jour.				
	Nuit.				
Jeudi	Jour.				
	Nuit.				
Vendredi	Jour.				
	Nuit.				
Samedi	Jour.				
	Nuit.				
Unités totales employées par semaine					

On emploie quelquefois des enregistreurs automatiques, mais si la feuille

d'inscription des lectures est bien établie, on peut se dispenser de ces appareils coûteux.

Le prix définitif par kilowatt-heure de l'électricité fournie au service de l'aciérie est fixé par le directeur de l'usine. Si, cependant, la force électrique provient d'une source extérieure, le prix du kilowatt-heure est fixé par contrat. Quel que soit le cas, le travail de l'agent-comptable pour déterminer le prix de la force se résume à une simple multiplication.

Occasionnellement, il y a lieu d'établir certains règlements en ce qui concerne la force motrice employée, car les appareils auxiliaires d'une certaine partie de l'aciérie peuvent être employés par d'autres services. La force consommée par les appareils en question doit donc être déterminée et déduite. Ce calcul n'a besoin d'être fait qu'une seule fois, car l'utilisation proportionnée des grues, par exemple, de la halle de coulée, reste fonction de la quantité d'acier fabriquée.

Le courant employé pour l'éclairage doit être noté séparément, car son prix à l'unité est plus élevé que celui de la force motrice. Pour cela, on emploie des compteurs indépendants n'enregistrant que la consommation d'électricité pour l'éclairage. Sur la formule V, il y a une colonne spéciale réservée à l'inscription des unités employées pour l'éclairage. Quoique la formule V n'a pas besoin d'être envoyée au surveillant ou au contremaître, il est préférable de le faire, pour qu'il puisse voir la consommation d'électricité d'une semaine à l'autre, par son équipe et pour éviter de donner à l'agent-comptable des chiffres erronés. En résumé, le surveillant a connaissance de toutes les formules, excepté les bons du magasin qui sont retournés directement à l'agent-comptable, mais qu'il connaît néanmoins puisque c'est lui qui les a établis ou fait établir par une personne accréditée.

Feuille journalière de fabrication. — La formule VI (voir planche X) donne un aperçu de la feuille journalière de fabrication dont nous avons déjà parlé.

Comme le nombre des colonnes nécessaires pour l'inscription des renseignements est assez grand, il est nécessaire d'employer des feuillets de 0,45 m. \times 0,17 m. pour laisser suffisamment de place pour l'inscription des divers chapitres. Ces formules sont reliées en un registre tenu par le chef de service. On a l'habitude de faire ces registres avec feuilles duplicatives, portant le même numéro que la feuille d'origine, et chaque paire numérotée à la suite. Le but de cette duplication est de permettre à ce chef de service de conserver, pour lui, le duplicata pour tous renseignements utiles, tout en remettant journellement l'original à l'agent-comptable. Les chapitres inscrits sur la formule VI sont suffisamment explicites pour ne nécessiter aucune autre explication. Tous les renseignements demandés par l'agent-comptable sont donnés par le surveillant, avant d'envoyer la feuille au service de la comptabilité. La colonne réservée pour l'analyse des matériaux n'est pas remplie, tant que la feuille n'est pas passée du bureau de l'agent-comptable au laboratoire, où le chimiste inscrit les résultats des analyses.

5. Main-d'œuvre. — Pour enregistrer la totalité de la main-d'œuvre utilisée pour la fabrication de l'acier, on emploie plusieurs méthodes qui

visent toutes à l'exactitude et à la simplicité. Si les ouvriers sont payés d'après le « tonnage », le prix par tonne et la production en tonnes déterminent la somme totale à répartir. Cette répartition se fait selon les catégories de main-d'œuvre employées, la prime de chaque ouvrier étant déterminée par le chef de service. Le comptable qui a une liste des primes divisée, en conséquence, la somme totale en préparant la feuille de paie. La vieille méthode qui consistait à donner au surveillant la somme totale gagnée par son équipe, et qui la répartissait ensuite à ses hommes dans une proportion qu'il avait déterminée laissait à désirer, car c'était généralement le surveillant qui bénéficiait de cet arrangement.

Outre la liste des primes, le comptable possède une autre liste qui indique le nombre d'heures faites par chaque ouvrier. Dans la plupart des usines, on a adopté le système des cartes dites « d'horloge ». Ce système est simple et parfait, car il convient aussi bien aux ouvriers travaillant aux pièces qu'à ceux travaillant à la journée. Une autre méthode employée également dans beaucoup d'usines, consiste à remettre à chaque ouvrier un jeton métallique portant son numéro qu'il dépose à son entrée à l'usine et qu'il reprend à la sortie, mais ce système est sujet à plus d'erreurs que les horloges enregistreuses automatiques.

Il n'y a pas lieu de décrire ici, en détail, ces différents systèmes, mais simplement de les signaler pour montrer les moyens dont on dispose pour obtenir des données exactes relatives à la main-d'œuvre. Les moyens indiqués, ci-dessus, peuvent être appliqués à toutes les équipes travaillant à l'aciérie. Cependant, pour les ouvriers qui font les réparations occasionnellement, on remet au surveillant des divers services auxquels ces ouvriers appartiennent, une formule spéciale donnant des instructions bien définies. De cette façon, le chef de service connaît exactement toute la main-d'œuvre supplémentaire employée par l'aciérie en une semaine, et s'il ne l'avait pas autorisée, il peut en refuser le paiement. La formule VII, donne un aperçu de cet ordre de service à un autre service.

La formule VII peut être fixée à un volume à souche afin d'être facilement détachée, suivant le pointillé, quand elle est remplie. Ces feuilles mesurent 6 centimètres \times 5 centimètres. Si un plombier, un électricien, ou tout autre ouvrier, est demandé pour une réparation, le contremaître du service auquel la demande a été faite, remet la note à l'ouvrier qu'il envoie et celui-ci y inscrit les heures passées au travail commandé et la remet au contremaître à son retour. Chaque semaine, avant l'établissement de la feuille de paie, le temps total passé par chaque service à l'aciérie est envoyé au chef de service de l'aciérie qui en prend connaissance et approuve. La feuille de salaire est alors envoyée à l'agent-comptable qui répartit la somme totale en deux parties : l'une qui concerne la fabrication proprement dite, l'autre qui concerne les réparations. Dans le cas où les chefs de service auraient à faire une observation lors de l'examen du relevé des prix sur les dépenses de main-d'œuvre, les détails du temps employé, sur chaque chapitre des réparations, sont données par les formules VII provenant de la semaine en question et du chiffre de celle-ci, on déduit d'après le chiffre total, les dépenses imputables au service des réparations de l'aciérie.

A. B. C. Co., Ltd.
 ACIÉRIE BESSEMER
 FORMULE VI
 FEUILLE JOURNALIÈRE DE FABRICATION

NOMBRE de fusions.	CHARGES DU CUBILOT						POIDS de métal coulé du cubilot. Tonnes.	TEMPÉRA- TURE du métal de la poche °C.	TEMPS		ADDITIONS PHYSIQUES						CHARGE totale. Tonnes.	POIDS de l'acier dans la poche. Tonnes.	EMPLOIS	ANALYSES							REMARQUES	
	Fonte.		Scraps d'acier.		Coke.	Calcaire.			Commence- ment de l'opération.	Fin de l'opération.	FeMn	FeSi	Fonte	Spiegel.	Al	FeCr				Ni	C	Si	Mn	P	S	Ni		Cr
	Marque.	Tonnes.	Nature.	Tonnes.	Tonnes.	Kg.					kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.				kg.								

A. B. C. Co., Ltd.
 ACIÉRIE BESSEMER
 FORMULE VIII
 RELEVÉ HEBDOMADAIRE DES DÉPENSES

SEMAINE du au	MATÉRIAUX EMPLOYÉS			ACIER DANS LA POCHE		SALAIRES excepté ceux de réparation.		HOUILLE ET COKE			FORCE MOTRICE			RÉPARATIONS et approvisionnements.		SALAIRES TOTAUX par tonne d'acier dans la poche.	COKE employé par tonne d'acier fabriqué.	COMBUSTIBLE pour autres usages par tonne d'acier.	PERTE p. 100 à la fusion.	VALEUR TOTALE de l'acier dans la poche.		FRAIS d'amortissement et d'intérêts.		FRAIS généraux et de direction.		PRIX TOTAL par tonne d'acier dans la poche.		PRIX MOYEN par tonne d'acier dans la poche.		REMARQUES	VISA des directeurs et chefs de service.								
	Poids chargés.	Valeur.		Ordinaire.	Spécial.	Fr.	C.	Poids.	Valeur.		Unités.	Valeur.		Matériaux.						Salaires.		Fr.	C.	Tonnes.	Tonnes.	Fr.	C.	Fr.	C.		Fr.	C.	Fr.	C.	Fr.	C.	A.	B.	C.
		Tonnes.	Fr.						C.	Tonnes.		Tonnes.	Tonnes.	Fr.	C.					Fr.	C.																		

<p>A. B. C. Co Ltd. ACIÉRIE BESSEMER FORMULE VII DEMANDE DE RÉPARATION</p>	
Equipe A	Date Service
<hr/>	
Prière envoyer et porter les heures à N°	pour voir à Temps employé : heures. N° de l'ouvrier : Signature
Signature	Signature

Lorsque les ouvriers travaillent à l'heure et non à la pièce, la liste du taux de leur salaire est tenue par le pointeur, pour la préparation des feuilles de paye et aussi par le comptable, pour la vérification et le contrôle. Parmi les autres chapitres de main-d'œuvre affectés aux dépenses de l'aciérie il y a la participation dans les frais généraux, frais de direction, salaires des comptables, des pointeurs, des gardes, des basculeurs, des ouvriers des parcs, etc. Ces dépenses sont ajoutées comme dépenses fixes, en même temps que les autres dépenses fixes, qui ne peuvent être portées séparément.

Récapitulation des dépenses. — L'agent-comptable est en mesure de préparer, sans grand travail, le relevé hebdomadaire des dépenses dès qu'il est en possession de la liste complète des matériaux employés, de l'énergie consommée, de la main-d'œuvre employée et de l'acier fabriqué pendant la semaine, ainsi que des charges fixes d'amortissements et d'intérêts de l'installation et du capital et des frais de direction supportés par le service de l'aciérie. La formule VIII (voir planche X) donne un exemple de la feuille de récapitulation. Comme les chapitres sont seulement portés chaque semaine sur cette feuille, elle doit être placée dans une enveloppe convenable pour pouvoir être examinée par ceux qu'elle intéresse. Un bon format pour cette feuille est de 0,50 cm. sur $37 \frac{1}{2}$ cm. car avec ces dimensions on dispose de suffisamment de place pour les diverses colonnes.

Comme l'exactitude est la condition absolument essentielle d'un prix de revient, il est important que les chiffres donnés à l'agent-comptable pour son établissement soient incontestables. Le devoir de l'agent-comptable est de réunir ensemble tous les renseignements qu'il a reçus. Insister sur l'exactitude de toutes les parties intéressées est donc impératif, autrement le travail serait vain et les résultats indiqués, trompeurs.

La valeur des détails exacts des dépenses, réunie dans les colonnes de la feuille de récapitulation, est appréciée de semaine en semaine en montrant les variations du tonnage produit et en observant les différences comparatives des chapitres des dépenses chaque semaine. Les pertes dues aux mauvaises fusions, le remplacement fréquent des tuyères ou

des revêtements et toutes les autres causes, sont vues au premier coup d'œil et tout ce qui tend à élever les dépenses hebdomadaires d'un chapitre quelconque est mentionné dans la colonne des remarques — les remarques, qui sont portées, pour la fusion en question, en premier lieu par le chef de service sur les feuilles journalières, sont transcrites par l'agent-comptable sur la feuille de récapitulation.

Toute remarque paraissant irrégulière ou insuffisante pour expliquer l'élévation des dépenses nécessitera des explications ultérieures de la part des ingénieurs. Un examen méthodique des faits contenus dans la feuille de récapitulation, tiendra les directeurs et les chefs, au courant du prix hebdomadaire de fabrication de l'acier, sans perte de temps appréciable. C'est aussi une grande satisfaction pour l'ingénieur ou le contremaître de savoir que ses chefs suivent de près les productions et les prix de revient, ce qui l'encourage à faire mieux encore. L'examen hebdomadaire a donc une action salutaire et stimulante.

La méthode que nous venons de décrire pour l'établissement des prix de revient de l'acier fabriqué dans les ateliers de convertisseurs Bessemer, soufflés à la surface, est également applicable à tous les autres procédés de fabrication de l'acier, en modifiant les formules selon les différents chapitres des dépenses.

CHAPITRE XLVIII

PRIX DE LA MAIN-D'ŒUVRE DANS LA FABRICATION DE L'ACIER

Prix comparatifs de la main-d'œuvre et du prix de revient. — Le tableau CVI donne le prix de la main-d'œuvre par tonne d'acier fabriquée par les divers procédés et la production hebdomadaire en tonnes. On trouvera également le pourcentage de la main-d'œuvre, par rapport aux prix de revient de chaque production, celle-ci varie de 16 p. 100 pour l'affinage de l'acier au four électrique jusqu'à 50 p. 100, pour la fabrication de petites quantités d'acier dans le four Martin-Siemens. Les autres prix de main-d'œuvre du tableau CVI varient de 23 p. 100 à 39 p. 100 du prix de fabrication.

Les plus bas prix de fabrication sont ceux des grands ateliers Bessemer, et ceux qui viennent tout de suite après, sont ceux du procédé Talbot. Ce prix de fabrication ou de revient comprend tous les chapitres, à l'exclusion du métal et des fondants employés dans la charge.

TABLEAU CVI

Main-d'œuvre (salaires et frais de direction) par tonne, comparée à la production et son pourcentage par rapport au prix de fabrication.

PROCÉDÉ	MAIN-D'ŒUVRE par tonne d'acier.	PRODUCTION	DÉPENSES	POURCENTAGE
		par semaine.	de fabrication à l'exception des matériaux.	de la main-d'œuvre par rapport aux dépenses de fabrication.
		tonnes.	francs.	p. 100.
Creuset, chauffage au coke.	46,34	25	130,60	35
— — au gaz .	46,34	25	98,67	47
Petit convertisseur Bessemer.	6,56	320	20,39	32
— — — .	8,29	160	23,96	35
— — — .	9,45	84	26,00	36
— — — .	11,36	30	36,29	34
— — — .	15,14	18	39,94	38
Grand — — .	3,15	3 780	11,18	28
Petit four Martin-Siemens. .	22,70	25	45,82	50
Moyen four —	9,03	255	27,84	32
Grand — —	6,61	5 000	17,55	38
Four Talbot	5,67	1 200	14,40	39
Four électrique Héroult, af- finage	1,41	1 000	8,66	16
Four électrique Héroult, charge froide.	11,36	50	49,70	23

Pendant ces dernières années, l'importance de la main-d'œuvre nécessaire pour le service des aciéries de grande importance a été considérablement réduite, par suite de l'emploi des machines à charger, et des autres procédés de manutention mécanique des matières premières et du combustible, employés dans les fours. Ainsi, par exemple, pour charger à la main un four Martin-Siemens de 25 tonnes employant de 70 à 80 p. 100 de scraps, il faut de sept à huit heures, tandis qu'un four de 100 tonnes, employant une quantité égale de fonte liquide et de scraps d'acier solides, peut être chargé mécaniquement en une ou deux heures.

Salaires des ouvriers d'aciéries. — En comparant les salaires des ouvriers d'aciéries des divers pays, on constate que l'Allemagne les paye 20 p. 100 meilleur marché que l'Angleterre et de 40 à 50 p. 100 de moins que l'Amérique. Le tableau suivant, donne une comparaison approximative des salaires payés aux ouvriers travaillant aux fours Martin-Siemens dans les pays ci-dessus.

TABLEAU CVII

Salaires payés aux ouvriers des fours Martin-Siemens, en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne ¹.

GENRE DE TRAVAIL	ANGLETERRE Par journée de 12 heures.	ÉTATS-UNIS Par journée de 12 heures.	ALLEMAGNE ¹ Par journée de 12 heures.
Chef fondeur	12/- à 14/-	20/- à 24/-	10/- à 14/-
Premier aide	9/- à 11/-	11/- à 12/6	9/- à 11/-
Second aide	5/6 à 6/6	7/- à 8/-	5/- à 6/-
Conducteur de grue	5/6 à 7/-	12/- à 13/-	4/6 à 5/-
— de la machine à charger	5/- à 6/6	9/- à 10/-	4/- à 5/-
Ouvriers des fosses de coulée	5/- à 6/-	7/- à 8/-	4/8 à 5/8
Couleurs d'acier	6/- à 8/-	12/- à 13/-	—
Manœuvres manutentionnant scories et scraps.	4/6 à 5/6	6/- à 7/-	4/3 à 5/-
Manœuvres ordinaires	4/- à 5/-	5/- à 6/-	4/- à 4/6

¹ *Bulletin of the American Association of Commerce and Trade, Berlin, 1912.*

La description dans le tableau ci-dessus du genre de travail varie dans les trois pays. Ainsi en Angleterre, les ouvriers travaillant sur les plates-formes de chargement s'appellent 1^{er}, 2^e et 3^e fondeurs, le 1^{er} étant responsable. En Amérique, les mêmes ouvriers sont appelés 1^{er} et 2^e fondeurs, tandis qu'en Allemagne, le premier fondeur s'appelle chef fondeur, le 2^e fondeur, aide-fondeur et les autres 1^{er}, 2^e et 3^e fondeurs.

Fluctuations des salaires. — Jusqu'à présent, on n'a pas adopté un standard fixe universel de salaires. Ceux-ci varient, non seulement dans les différents pays, mais encore dans les différentes régions d'un même pays. Les lois qui les régissent sont très complexes, car elles sont influencées par certaines conditions telles que « la vie plus ou moins chère », « l'offre et la demande », les « marchés », etc. On a employé différents sys-

¹ En shillings valant 1 fr. 25 et pence, valant à peu près 10 centimes.

tèmes de paiement, mais le travailleur est généralement engagé à « temps » ou à tant de l'heure ; ou aux « pièces » ou tant par production.

M. Sanders, Président de l'Ingersoll-Rand C^o New-York, fit des recherches dans les différents pays, sur la fin de 1911, sur les salaires payés pour la main-d'œuvre. Il a établi¹ que tandis que le prix de la main-d'œuvre mécanique aux États-Unis est devenu à peu près constant ou a été peu augmenté pendant ces vingt dernières années, les prix de main-d'œuvre similaire ont été augmentés d'au moins de 100 p. 100 en Angleterre et en Allemagne. La main-d'œuvre mécanique en Allemagne, qui est aujourd'hui de moitié de celle des États-Unis, ne l'était que d'un quart il y a vingt ans. Le prix allemand de la main-d'œuvre a rapidement augmenté et à un degré beaucoup plus rapide que celui de l'Angleterre et de l'Amérique.

En ce qui concerne les fluctuations des salaires en Angleterre, M. George H. Wood² a montré de combien les salaires ont varié à Sheffield et son district de 1840 à 1906 dans les industries du fer, de la houille, de la construction et du génie civil.

En prenant la valeur des salaires de 1883 comme étant égale à 100 pour ces quatre catégories d'industries, on verra sur le tableau CVIII les variations des salaires en plus ou en moins de ce chiffre, pendant la période écoulée entre les années précitées.

TABLEAU CVIII

Fluctuation des salaires à Sheffield et son district de 1840 à 1906.

ANNÉE	PUDDLEURS	HOUILLEURS	BATIMENT	GÉNIE CIVIL
1840	87	67	—	—
1855	125	86	86	73
1860	100	82	83	73
1874	145	134	101	94
1877	103	96	108	97
1883	100	100	100	100
1886	96	91	101	100
1891	100	127	105	101
1900	128	133	116	107
1906	113	118	116	108

En 1855, le salaire des puddleurs était plus élevé qu'en 1906, tandis que dans le génie civil les salaires ont rapidement monté de 73 en 1855, à 108 en 1906.

Salaires et cherté de la vie. — Des recherches³ faites en Allemagne sur le prix de la main-d'œuvre et la cherté de la vie, et des recherches analogues faites en Angleterre par l'Office du Travail, on relève les chiffres intéressants suivants.

¹ *Iron Age*, 1912, 29 février, p. 522.

² *Rapport de la British Association*, 1810, pp. 690 et 691.

³ *Iron and Coal Trades Review*, 1908, p. 381.

TABLEAU CIX

Salaires payés en Angleterre, dans le pays de Galles et en Allemagne.

MÉTIER	ORDRE PRÉDOMINANT DES SALAIRES HEBDOMADAIRES D'OCTOBRE 1905 EN				RAPPORT du salaire moyen prédominant en Allemagne au salaire moyen prédominant en Angleterre pris comme égal à 100.
	Angleterre et Pays de Galles.	Allemagne.			
<i>Génie civil</i>	Moyenne.	Moyenne.	Les plus élevés à Essen.	Les plus bas à Chemnitz.	
Ajusteurs.	32/- à 36/-	26/- à 32/-	30/- à 39/-	21/- à 24/-	85
Tourneurs	32/- à 36/-	27/- à 33/-	32/6 à 39/-	24/- à 26/-	88
Forgerons	32/- à 36/-	28/6 à 33/-	30/- à 36/-	25/- à 27/-	90
Modeleurs	34/- à 38/-	25/6 à 30/-	27/	25/- à 27/-	77
Manœuvres.	18/- à 22/-	18/- à 22/-	20/- à 23/-	14/- à 17/-	100

Durant une même période, le nombre moyen des heures par semaine en Angleterre était de 53 contre $59 \frac{1}{2}$ en Allemagne, soit 12 p. 100 de plus pour ce dernier pays. En comparant les denrées consommées par la même catégorie d'individus dans les deux pays, le tableau CX montre que les prix payés en Allemagne sont, dans la plupart des cas, de 20 à 40 p. 100 plus élevés que ceux payés en Angleterre, à l'exception du lait et des pommes de terre, qui coûtent meilleur marché en Allemagne.

TABLEAU CX

Prix des denrées en Angleterre et en Allemagne.

DENRÉES	PRIX PRÉDOMINANTS EN OCTOBRE 1905 EN		RAPPORT du prix prédominant moyen en Allemagne et le prix prédominant moyen en Angleterre, pris comme égal à 100.
	Angleterre et Pays de Galles.	Allemagne.	
	francs.	francs.	
Sucre blanc, cristallisé par 0,453 kg.	0,20	0,22 à 0,23	119
Beurre, par 0,453 kg.	1,25 à 1,55 ¹	1,25 à 1,65	105
Pommes de terre, par kilogramme . . .	0,25 à 0,35	0,22 à 0,30	88
Farine de blé, par kilogramme. . . .	0,80 à 1,00	1,15 à 1,35	140
Lait, par litre.	0,30 à 0,40	0,25 à 0,28	75
Bœuf, par 0,453 kg.	0,75 à 0,85 ² 0,50 à 0,60 ³	0,78 à 0,88	122
Mouton, par 0,453 kg.	0,75 à 0,90 ² 0,40 à 0,50 ³	0,78 à 0,98	137
Porc, par 0,453 kg.	0,75 à 0,85	0,88 à 1,10	123
Lard, par 0,453 kg.	0,70 à 0,90	0,88 à 1,10	123
Houille, par 50 kg.	0,95 à 1,25	1,18 à 1,25	124
Huile de paraffine, par 4,54 l.	0,70 à 0,80	0,92 à 1,10	135

¹ Colonial, danois et étranger.² Anglais ou tué à la maison.³ Etranger ou colonial.

Les loyers des logements des ouvriers en Allemagne sont à peu près les mêmes qu'en Angleterre, ainsi pour deux pièces ils sont de 3,75 fr. à 4,37 fr. par semaine, de 4,37 fr. à 5,90 fr. pour trois pièces et de 5,30 fr. à 7,50 fr. pour quatre pièces. En prenant toutes ces choses en considération, on estime qu'en Allemagne les salaires payés par heure s'élèvent à 75 p. 100 du taux anglais et le prix des loyers, de l'alimentation et du combustible est presque de 20 p. 100 plus élevé.

États-Unis et Canada. — De nos recherches personnelles, en 1912, dans plusieurs centres de fabrication de l'acier des États-Unis et du Canada, nous trouvons les taux suivants de main-d'œuvre et de cherté de la vie.

TABLEAU CXI
Salaires aux États-Unis et au Canada.

NATURE DU TRAVAIL	ÉTATS-UNIS	CANADA
	Par jour.	Par jour.
<i>Génie civil.</i>		
Ajusteurs	12/- à 13/-	12/- à 13/-
Tourneurs	12/- à 13/-	12/- à 13/-
Machinistes	7/- à 18/-	12/6 à 14/-
— sur machines automatiques (jeunes gens)	6/- à 8/-	—
Ouvriers sur machine	13/- à 20/-	—
Manœuvres ordinaires	4/3 à 8/-	4/3 à 8/-
<i>Travail de fer et de l'acier.</i>		
Premier fondeur de haut fourneau	11/6 à 12/6	—
Deuxième fondeur de haut fourneau	10/- à 11/-	—
Manœuvres	6/- à 7/6	—
<i>Four Martin-Siemens</i>		
Fondeur	20/- à 24/-	20/- à 24/-
1 ^{er} aide	11/6 à 12/6	11/6 à 12/6
2 ^e aide	7/- à 8/-	8/- à 9/-
Manœuvres	5/- à 6/-	5/- à 6/-
Ouvriers des grues	12/6	12/6
— du chargement	10/-	10/-
<i>Convertisseur Bessemer</i>		
Contremaitre	14/- à 16/-	—
Opérateur	10/- à 12/-	—
Manœuvres	6/- à 7/6	—
<i>Four électrique fabricant de l'acier</i>		
1 ^{er} aide	22/-	—
2 ^e aide	14/-	—
3 ^e aide	8/6	—
Dessinateurs	50/- à 100/- (par semaine.)	50/- à 100/- (par semaine.)
Modeleurs	12/- à 15/-	12/- à 15/-
Mouleurs	10/6 à 14/-	10/6 à 14/6
Noyauteurs	10/6 à 14/-	8/6 à 11/6
Ouvriers des broyeurs	8/6 à 10/6	8/6 à 10/6
Finisseurs	10/6 à 12/6	10/6 à 12/6
Brunisseurs et polisseurs	—	10/- à 11/-
Machinistes	9/- à 12/6	10/6 à 12/6
Outilsseurs	12/- à 15/-	10/6 à 12/6
Forgeron, pièces légères	11/6 à 12/6	11/6 à 12/6
— — lourdes	14/- à 19/-	14/- à 18/-

Dans les manufactures canadiennes les heures habituelles de travail sont de 7 h. du matin à 6 h. du soir.

Le tableau CXI donne les taux journaliers payés aux États-Unis et au

Canada où la plupart des ouvriers travaillent dix heures par jour, à l'exception des ouvriers d'aciéries qui travaillent douze heures.

En ce qui concerne la cherté de la vie, les prix des denrées suivantes sont presque les mêmes aux États-Unis et au Canada qu'en Angleterre — thé, œufs, beurre, lait, farine, pommes de terre, bœuf, mouton, lard, chaussures et houille, — l'habillement est approximativement $1\frac{1}{2}$ fois plus cher. Le loyer est de $1\frac{1}{2}$ fois à deux fois celui payé en Angleterre pour un confort correspondant. Un ouvrier, non marié, peut prendre pension et loger confortablement aux États-Unis et au Canada pour 18,75 fr. à 25 francs par semaine. Généralement, le prix de la vie aux États-Unis et au Canada des travailleurs vivant la même chose qu'en Angleterre, est environ de 50 p. 100 plus élevé.

Angleterre, États-Unis et Allemagne. — De ce qui précède il est évident que l'ouvrier allemand est moins payé pour sa main-d'œuvre et plus payé pour la cherté de la vie que les ouvriers anglais. Il y a des exceptions. Le manœuvre ordinaire, par exemple, dans les aciéries, est presque payé la même chose en Allemagne qu'en Angleterre et seulement un peu moins qu'aux États-Unis. La dépense de force pour le salaire des ouvriers anglais et allemands est égale, sinon légèrement meilleure, que celle de l'ouvrier américain. D'un autre côté, les ouvriers d'aciéries très bien payés, comme par exemple les chefs fondeurs des fours Martin-Siemens, s'ils vivent de la même façon, sont plus favorablement placés que leurs camarades allemands et anglais.

Les efforts qui ont été constamment faits pour accommoder les salaires des ouvriers avec cherté de la vie et l'effort accompli seront plus facilement réalisés par une classification d'une estimation systématique de la main-d'œuvre.

Classification de la main-d'œuvre. — Dans toutes les branches de la main-d'œuvre, la nécessité d'évaluer justement et de standardiser chaque sorte de main-d'œuvre a été reconnue et pratiquée depuis plusieurs années. Indépendamment des deux divisions principales « habileté » et « sans habileté » la plupart des subdivisions de la main-d'œuvre s'inspirent naturellement d'elles-mêmes selon l'emploi considéré. Pour certains emplois, la classification du travail est plus difficile que pour d'autres, mais dans chaque cas, elle procure des avantages à l'employeur et à l'employé. Les syndicats ouvriers ont dressé leur propre classification et dans certains cas ont indiqué la valeur du salaire de chaque catégorie de main-d'œuvre.

Dans les manufactures du gouvernement de l'Angleterre et de l'Amérique, aux usines Krupp, en Allemagne, et dans les grandes usines anglaises telles que l'Hadfield Steel Foundry Co Ltd., Sheffield, la standardisation de la main-d'œuvre a été effectuée avec des résultats avantageux. Ainsi, durant ces récentes années, la classification et l'évolution de la main-d'œuvre dans les manufactures du gouvernement anglais a été standardisée sous la direction d'un inspecteur en chef, Sir H.-F. Donaldson K. C. B. et le résultat a été que si on paye de meilleurs salaires, on fait

plus d'ouvrage dans de bien meilleures conditions et avec une dépense moindre.

Ce qui a été accompli en déterminant la valeur réelle de chaque sorte de main-d'œuvre dans les différentes branches des Manufactures de l'Artillerie, est maintenant mis en pratique, par le gouvernement des États-Unis, dans les recherches faites sur les conditions de la main-d'œuvre dans l'industrie de l'acier. M. Sidney G. Koon¹ donne un intéressant compte rendu d'une série de recherches faites dans les grandes aciéries de Pittsburg, et y relate les particularités de la main-d'œuvre des fours Martin-Siemens.

Main-d'œuvre des fours Martin-Siemens. — Celle-ci est classée en « pénible » — « moyenne » — « facile » — et « observation » et sous ces rubriques on donne le nombre d'heures que chaque ouvrier a été employé durant la période considérée. Les mouvements des neuf ouvriers du four Martin-Siemens ont été étudiés et le temps chronométré donne exactement le temps que chaque ouvrier a travaillé et s'est reposé.

TABLEAU CXII

Durée du travail et du repos au four Martin-Siemens.

OUVRIERS	TEMPS OBSERVÉ				POURCENTAGES	
	Travail.		Repos.		Travail.	Repos.
	heures.	minutes.	heures.	minutes.		
Conducteur de la machine à charger.	20	24	27	36	42,5	57,5
1 ^{er} fondeur	8	58	24	02	27,2	72,8
2 ^e —	22	04	25	56	46	54
3 ^e —	17	46	30	14	37	63
Conducteur du pont de la poche . .	24	46	23	14	51,6	48,4
Ouvrier faisant la coulée de l'acier .	14	24	33	36	30	70
Garde-frein et machiniste ²	15	54	16	06	49,6	50,4
Conducteur de la grue de coulée. . .	11	03	48	37	36,7	63,3
Moyenne des heures.	16	48	23	59	41,2	58,8

M. Koon, à propos du pourcentage élevé du temps de repos de l'ouvrier d'aciérie comparé avec celui de ceux des autres catégories de travaux, mentionne la longue journée de l'ouvrier du four Martin-Siemens et la chaleur intense à laquelle il est exposé.

Dans presque toutes les aciéries, les équipes travaillent douze heures, et quand les ouvriers des fours Martin-Siemens préparent le fond du four, entre les charges, ils sont exposés à une chaleur presque insupportable. Les observations portées sur les tableaux CXII et CXIII ont été faites pendant les dix premiers jours du mois d'août 1911, et pendant les qua-

¹ *Iron Age*, 1^{er} février 1912, p. 312.

² Le machiniste de la locomotive et le garde-frein sont groupés en une seule unité avec un total de trente-deux heures.

rante-huit heures notées, le temps employé par le premier, le deuxième et troisième fondeur pour préparer le fond du four fut de neuf heures trente-quatre minutes soit 19,6 p. 100. Le premier fondeur fut chronométré pendant trente-trois heures, le conducteur de la grue de coulée pendant trente, tandis que le conducteur de la machine à charger, le deuxième et troisième fondeur, le conducteur du pont et l'ouvrier faisant les coulées furent chronométrés pendant quarante-huit heures consécutives. Dans le pourcentage des heures de travail on peut encore subdiviser le travail de la façon suivante.

TABLEAU CXIII
Intensité du travail.

	PÉNIBLE	MOYEN	FACILE	OBSERVATION
1 ^{er} fondeur	32,7	27,4	11	28,9
2 ^e —	72,8	19,6	7,6	—
3 ^e —	67,9	13,5	18,6	—
Moyenne pour les 9 ouvriers du tableau CXII.	30,0	6,1	62,2	1,7

Les termes « pénible » — « moyen » — « facile » — « observation » sont donnés ici, sans aucun doute, pour désigner le but que les observateurs avaient en vue, mais ils ont une désignation vague si on les emploie sans aucune qualification pour la classification du travail dans une aciérie. Ainsi, par exemple, on indique sous la rubrique « facile » le travail de conducteur du pont roulant. Cela est juste si on compare son travail avec l'effort physique du fondeur qui prépare le fond du four, mais il faut aussi admettre que son travail est « pénible » s'il a à faire fonctionner un pont difficile, dans une cabine enveloppée de nuages de fumée.

En outre, le travail est « facile » ou « pénible » selon le quantum de production et l'habileté de l'ouvrier. Dans certaines aciéries, nous avons vu exécuter un travail à la main deux fois plus vite que dans d'autres aciéries. L'élément humain compte pour la différence et est toujours un facteur déterminant, quelle que soit la classification ou l'évaluation du travail, car il influe toujours sur les salaires de l'ouvrier qui travaille à la pièce.

Heures de travail des ouvriers d'aciéries. — La plupart des ouvriers d'aciéries travaillant avec des fours à marche continue sont occupés pendant douze heures. C'est d'ailleurs ce qui se pratique habituellement en Angleterre, en Amérique et en Allemagne. En Amérique, les appareils fonctionnent constamment jusqu'au moment où ils ont besoin d'être réparés, les heures de travail étant, pour l'équipe de jour, de 7 heures du matin à 5 heures du soir pendant les six jours de la semaine (soit en tout soixante heures), quant à l'équipe de nuit elle commence le dimanche matin à 7 heures, fait vingt-quatre heures et, pendant les six jours restants,

travaille de 5 heures du soir à 7 heures du matin, soit en tout cent huit heures). Les ouvriers travaillent alternativement de jour et de nuit.

Depuis quelque temps, on a entrepris une vigoureuse campagne contre les sept jours de travail et la journée de douze heures. M. Chas. M. Cabot, de Boston, a appliqué cette réforme. On a montré que l'on pouvait employer avec succès dans les aciéries Martin-Siemens la journée de huit heures.

M. R. A. Bull¹ cite qu'à l'aciérie Martin-Siemens de la Commonwealth Steel Co, on a abandonné la journée de douze heures pour la journée de huit heures.

Sous l'ancien régime, les heures d'une équipe étaient de 6 heures du matin à 6 heures du soir ; et de 6 heures du soir à 6 heures du matin. Sous le nouveau, elles sont de 7 heures du matin à 3 heures du soir, de 3 heures du soir à 11 heures et de 11 heures du soir à 7 heures du matin.

L'ordre des équipes change le premier jour de chaque semaine. D'après les résultats observés, ce changement a permis de réaliser des économies quoique le salaire horaire des ouvriers ait été augmenté de 14 à 22 p. 100. On a noté des cas où les ouvriers, relevés de leur travail le 7^e jour, ont cherché et obtenu à s'employer ailleurs pendant les jours de repos, et figurent sur la feuille de paye d'une autre firme sous un autre nom.

Nous pensons que par l'abandon général de la fabrication de l'acier le dimanche, et par l'emploi strict de la main-d'œuvre nécessaire au service des fours, l'ouvrier rendra un service plus efficace, sans aucune perte pour l'employeur.

¹ *American Foundrymen's Association, Buffalo Convention, sept 1912.*

INDEX

A

- Acheson Graphite Co.** Électrodes, 37.
- Acier à outils** (Analyse de l'), 140-144
- — au carbone, à coupe rapide, 134.
 - — (Comparaison des prix de l', au carbone et à coupe rapide), 138, 584.
 - — (Composition des charges pour), 137, 138, 576.
 - — (Emplois de l'), 139-140.
 - — (Prix de l'), 584.
 - — (Prix de fabrication de l'), 135.
 - (Atelier de convertisseurs pour fonderies d'), 239, 295.
 - au creuset (Charges pour moulages d'), 145.
 - basique (Prix de l'), 593.
 - (Billettes en). Prix de fabrication, 592.
 - (Matériaux employés pour la fabrication de l'), 9.
 - pour lingots (Prix de l'), 589.
 - — moulage (Prix de l'), 583, 585-588.
 - — — tableaux des additions physiques, 310, 314.
 - (Procédés employés pour la fabrication de l'), 5.
 - (Production de l'), Allemagne, 200.
 - — Angleterre, 189.
 - — États-Unis, 196.
 - — mondiale, 15.
 - (Rails en). Prix de fabrication, 591.
- Acier Bessemer basique** (Analyses de l'), 235.
- — (Comparaison des prix de l'), 585, 587, 589.
 - — (Moulages en). Analyses, 299.
 - — — Charges, 302, 303.
 - — — Emplois, 297.
 - — — Spécifications, 300-301.
 - — (Petits convertisseurs). Prix allemands, 284, 285.
 - — (Petits convertisseurs). Prix américains, 291.
 - — pour lingots. (Prix de production de l'), 218.
- Acier Bessemer pour rails.** (Prix de production de l'), 591.
- — (Prix de production en Allemagne de l'), 224.
- Acier électrique** (Analyses de l'), 576-577.
- — (Emplois de l'), 576.
 - — (Prix de l'), 586, 587, 588, 589.
 - — (Usages de l'), 576.
- Acéries Bessemer**, 180.
- — Burbach, Allemagne, 482, 200.
 - — Duplex : Bethlehem Steel Co, E.-U., 502.
 - — North Eastern, Middlesbrough, 191-196.
 - — Youngstown Steel and Tube Co. E.-U., 199.
- Acéries Martin-Siemens.** Bethlen-Falva-hütte, Allemagne, 441.
- — — Gary, États-Unis, 438.
 - — — Georgsmarienhütte, Allemagne, 440.
- Acier Martin-Siemens** (Analyses et essais de l'), 490-491.
- — — acide (Analyses de l'), 471, 490-491.
 - — — basique (Analyses de l'), 490-491.
- Additions physiques pour aciers divers** 310.
- pour les charges du convertisseur, 237, 306, 309, 314.
- Affinage de l'acier dans le four électrique** (Prix de l'), 528, 539.
- Alcalis.** Pourcentage dans les briques réfractaires, 21.
- Allemagne** (Nombre de chauffés des fours M.-S. en), 319.
- (Pratique du Bessemer en), 200.
 - (Pratique des fours M. S. en), 440, 441, 455, 495, 498, 499.
 - (Prix de l'acier en), 593.
 - (Prix de l'acier Bessemer basique en), 224.
 - (Prix de l'acier en). Petits ateliers de convertisseurs, 284, 285.
 - (Prix de la fonte en), 21.

- Allemagne** (Prix des denrées alimentaires en), 610.
 — (Production de combustibles en), 42.
 — (Production de l'acier en), 200.
 — (Production de la houille en), 42, 43.
 — (Production des lingots en), 1.
 — (Production des minerais, fonte et acier en), 44, 45.
 — (Salaires en), 609.
- Alliages** (Analyse des divers), 62.
- Aluminium** (Quantité d'— pour les charges d'acier pour moulages), 310-314.
 — (Ferro-silico), 55.
 — (Prix de l'), 56.
 — (Charges d'— des convertisseurs soufflés à la surface), 267, 309.
- Alundum**, 33.
- Américaine** (Analyses des argiles), 23.
 — (Fonte). Prix de vente, 16.
 — (Pratique —, des fours à creusets chauffés au gaz), 125.
 — (Pratique —, des fours à creusets chauffés à l'huile), 128.
 — (Pratique — des fours M.-S.), 438, 449, 492, 498.
 — (Prix de l'acier américain), 590-593.
 — (Prix de l'acier américain dans les petits ateliers de convertisseurs), 290.
- Amorphe** (Atelier pour la fabrication des électrodes en charbon), 36.
 — (Électrodes en charbon), 36.
 — (Fabrication des électrodes en charbon), 36.
- Analyses. Aciers à outils au carbone**, 144.
 — — à coupe rapide, 142-143.
 — — électrique, 518, 577.
 — — M.-S., 490-491.
 — — pour moulages, 299.
 — — Alliages chrome-molybdène, 62.
 — — divers, 62.
 — — nickel-chrome, 62.
 — — nickel-molybdène, 62.
 — — nickel-tungstène, 62.
 — Argiles, 23.
 — Bauxite, 31.
 — Briques d'argile, 25.
 — — de silice, 25.
 — Calcaire, 34, 38.
 — Charges, Bessemer acide, 230, 295, 304.
 — — — basique, 233.
 — — — pendant le soufflage, 154, 155.
 — — four électrique, 571, 574.
 — — — M.-S., 321, 328, 330-333.
 — Coke, 46.
 — Creusets en plombagine, 92.
 — — de Styrie, 92.
 — Dolomie, 28.
 — Ferro-alliages, 52.
 — — bore, 49.
 — — chrome, 45.
- Analyses Ferro-manganèse**, 54.
 — — nickel, 60.
 — — phosphore, 61.
 — — silicium, 54.
 — — silico-aluminium, 55.
 — — titane, 59.
 — — tungstène, 57.
 — — vanadium, 59.
 — Fer suédois en barres, 141.
 — Fontes, 15-18.
 — — basiques de Cleveland, 164.
 — — des minerais de Styrie, 140.
 — — grises, 164.
 — Ganister, 25.
 — Gaz à l'eau, 431.
 — — de gazogène, 403, 407, 413, 416, 419, 422.
 — — naturel, 48, 429.
 — Houilles, 44, 45.
 — — pour gazogènes, 401, 403, 414, 419, 422.
 — Huile lourde, fours à creusets, 74.
 — Magnésite, 30.
 — Minerai de chrome, 33.
 — — fer, 10, 11.
 — — molybdène, 58.
 — — tungstène, 57.
 — — vanadium, 59.
 — Nickel, 60.
 — Pétales, 47.
 — Siliciure de calcium, 62.
 — Silico-calcium-aluminium, 55.
 — — chrome, 62.
 — — manganèse, 56.
 — — spiegel, 53.
 — Spath-fluor, 40.
 — Spiegeleisen, 53.
- Anderson** (Four électrique), 553.
 — (Four électrique). Charges, 554.
 — (Four électrique). Prix de revient, 554.
- Anglaise** (Analyse des argiles), 23.
 — (Pratique —, et continentale du Bessemer), 157.
 — (Prix de vente des fontes), 21.
- Angleterre** (Cherté de la vie en), 609.
 — (Prix des denrées alimentaires en), 610.
 — (Production de la houille en), 42.
 — (Production des lingots en), 1.
 — (Production de fonte et d'acier en), 15.
 — (Salaires en), 608-609.
- Arc** (Four électrique à), 515.
 — (Four électrique à —, et à résistance), 534.
 — (Fours combinés à résistance et à), 546.
- Argile** (Analyses des briques d'), 25.
 — (Prix des briques d'), 27.
- Argiles** anglaises, américaines et du continent, 23.

- Argiles** (Substances nuisibles dans les), 23.
- Argileux** (Points de fusion des composés), 24.
- Arnold** (Professeur). Sur le soufre dans l'acier, 305, 321.
- Ateliers Bessemer** (Voir *Bessemer*).
- Autriche-Hongrie** (Production de lingots en), 1.
— — (Production de fonte et d'acier en), 15.
- B**
- Baraduc-Muller**. Sur la classification des matériaux réfractaires, 34.
- Batho** (Four), 340.
- Bauxite** (Analyses des), 31.
— (Briques de), 31-32.
- Becker**. Sur la composition de l'acier à self-trempe, 142.
- Belgique**. Prix de l'acier Bessemer basique à Charleroi, 224.
— (Production de lingots en), 1.
— (Production de fonte et d'acier en), 15.
- Bell, sir I. Lowthian**. Sur le prix des minerais de fer, 12.
- Bertrand-Thiel** (Procédé), 328.
- Bessemer acide** (Analyse des fontes pour), 17.
— — (Disposition de l'atelier), 198.
- Bessemer basique** (Analyses de l'acier), 236.
— — (Analyses des fontes pour), 16.
— — (Disposition de l'atelier), 180, 191, 200.
— — (Fonds des convertisseurs), 184, 192.
— — (Procédé) (Voir *Procédé Bessemer basique*).
— — (Revêtements pour les convertisseurs), 151, 186, 195.
- Bessemer (Ateliers)**. Basique de 10 t. 218.
— — — (Détails et prix de revient d'un), 218-224.
— — — (Prix de production en Belgique d'un), 225.
— — — 2½ t., 225.
— — — (Détails et prix de revient d'un), 225-228.
— — — 1/2 tonne. Soufflage à la surface : Description, 285.
— — — Détails et prix de revient, 285-290.
— — — 1 tonne. Soufflage à la surface : Description, 278.
— — — Détails et prix de revient, 278-283.
— — — 2 tonnes. Soufflage à la surface : Carton pour enregistrer le soufflage, 255.
- Bessemer (Ateliers)** 2 tonnes. Chargement des convertisseurs, 252.
— — — Conduite du soufflage, 253.
— — — Disposition, 246.
— — — Durée des revêtements, 253.
— — — — tuyères, 252.
— — — Fonctionnement, 250.
— — — Position du convertisseur quand on le charge, 253.
— — — Vitesse d'oxydation pendant le soufflage, 254.
— — — 2 tonnes. Soufflage à la surface, 1 convertisseur : Détails et prix de revient, 272-277.
— — — 2 tonnes. Soufflage à la surface, 2 convertisseurs : Détails et prix de revient, 268-272.
— — — 2 tonnes. Soufflage à la surface, 4 convertisseurs : Détails et prix de revient, 264-268.
— — — 2 tonnes. Soufflage par le fond : Détails et prix de revient, 239-245.
— — — (Grand), 180.
— — — (Petit). Comparaison des prix de l'acier, 277.
— — — Pour petites fonderies, 278.
— — — Soufflage à la surface : Additions physiques, 258.
- Bessemer (Procédé)**, 6, 149, 158.
— — — Additions à la charge, 157.
— — — Chaleur développée, 165.
— — — Chargement des scraps et de la chaux, 195.
— — — Évolution du convertisseur, 168.
— — — (Historique du), 149.
— — — (Introduction en Amérique du), 150.
— — — (Introduction en Allemagne du), 158.
— — — Perte du convertisseur, 224, 238.
— — — (Pratique allemande du), 200.
— — — (Pratique américaine du), 196.
— — — (Pratique anglaise du), 189.
— — — Prix des matériaux employés, 222.
— — — Réactions thermo-chimiques, 167.
- Bessemer acide (Procédé)**, 149.
— — — Analyses de la charge pendant le soufflage, 154, 155.
— — — Charges pauvres en Si et pauvres en Mn, 153.
— — — Charges riches en Si et pauvres en Mn, 154.
— — — (Description du), 151.
— — — (Historique du), 149.
— — — Pratiques anglaise et du continent, 157.
— — — Pratique suédoise, 157.
— — — Réactions, 152.
- Bessemer basique (Procédé)**, 158.
— — — Analyses de la charge pendant le soufflage, 162.

Bessemer basique (Procédé). Chargement des scraps, 163.
 — — — Flux, 159.
 — — — (Historique du), 158.
 — — — Modification de Flohr, 163.
 — — — Modification de Richard, 164.
 — — — Modification de Schiebler, 163.
 — — — Réactions, 161-162.
 — — — Revêtements, 159.
 — — — Salaires, 222.
 — — — Soufflages chauds et froids, 162.
Bessemer (Sir Henry). Sur les charges des creusets, 141.
 — — — Sur l'histoire du procédé Bessemer, 149.
Bethlehem Steel Works, 502.
 — — — (Charge pour Bessemer acide à), 230.
Bethlen-Falvahutte (Atelier M.-S. à), 441.
Bildt (Alimenteur mécanique de —, pour les gazogènes), 399.
Billettes en acier Bessemer (Prix de fabrication des), 592.
Bischof (Gazogène), 396.
Blair (Carneau refroidi de), 370.
 — (Culasse de refroidissement de), 371.
 — (Mécanisme de renversement de), 385.
Blocs de fonds des convertisseurs, 184.
 — — — (Machine à faire les), 208.
 — — — (Nombre de chauffés supportées par les), 220.
 — — — (Trucks pour enlever les), 210.
Blue-Billy, 159.
Boîte à vent des convertisseurs, 184, 187, 210.
Bolckow, Vaughan et Co, Ltd. (Procédé Bessemer basique à), 164, 236.
Bondouard. Sur le point de fusion de la silice pure, 24.
Bore (Analyse du ferro-), 62.
Briques (Combustible employé pour la cuisson des), 29.
 — d'argile et de silice (Analyse des), 25.
 — — (Prix des), 27.
 — — (Dilatation et contraction des), 26.
 — de bauxite, 31.
 — de chrome, 34.
 — de cubilots, 203.
 — de dolomie, 29.
 — de magnésite, 30.
 — des régénérateurs (Chicanes en), 357.
 — Dietrich pour régénérateurs, 359.
 — Revêtement des convertisseurs en, 186, 195, 205.
Briquettes. Procédé Bessemer basique, 163, 237.
Brislee. Analyse du gaz naturel, 48.
Burbach (Aciéries de) Allemagne, 182, 200.

C

Calcaire (Analyses du), 34, 38.
 — employé comme fondant, 38.
 — pour convertisseur soufflé à la surface (Charge de), 267.
 — (Prix du), 39.
Campbell (Four M.-S. oscillant type), 348.
 — Sur la pratique américaine du creuset, 441.
 — Sur les charges des fours M.-S., 321.
 — Sur le soufre dans l'acier, 305.
Canada (Production de fonte et d'acier du), 15.
 — (Production de lingots du), 1.
 — (Salaires à), 611.
Carneaux à refroidissement d'eau, 367.
 — Blair, 370.
 — Davison et Mathies, 374.
 — (Dimensions des), 360.
 — (Economie avec les), 369-373.
 — Friedrich, 371.
 — Head, 373.
 — Knox, 367.
 — Parks et Devel, 375.
 — pour fours M.-S., 341-343, 359, 366.
Carneaux à air pour fours M.-S., 360, 361.
Carneaux à gaz pour fours M.-S., 360, 361.
Carneau et cloison. Blair, pour fours M.-S., 370.
 — — Gary, 378.
 — — Knox, 377.
Carney et Mc Entee (Châssis à refroidissement d'eau de), 368.
Carr W. (Four à creusets chauffé à l'huile lourde de), 82.
 — (Fours M.-S. de), 467.
Carr et Speer (Four à creuset avec régénérateurs de), 82.
Carton pour enregistrer les soufflages, 255.
Chaleur (Agents producteurs de), 165.
 — développée. Pratique du Bessemer, 165.
Chambres à scories pour fours M.-S., 338, 358.
Champignon (Valves à) pour fours M.-S., 379.
Chaplet (Description du four électrique), 555.
 — (Prix de revient du four électrique), 556.
Chargement des fours M.-S., 318, 437.
 — des fours M.-S. (Machines de), 437.
 — des grands convertisseurs, 201.
 — des petits convertisseurs, 251, 284, 294.
Charges. Bessemer acide, 230, 302, 303.
 — Bessemer basique, 232-238.
 — Four Talbot. (Changements chimiques des), 483.
 — pour l'acier à outils au creuset, 137, 138, 143, 144.

- Charges pour les fours électriques**, 526, 531, 537, 554, 559, 572, 573, 575, 578-580.
 — pour les fours M.-S., 321, 453, 557, 465, 470, 488, 492-501.
 — pour les fours Talbot, 481, 484, 487.
 — pour les procédés Duplex, 506-508.
 — pour moulages d'acier au creuset, 145.
- Châssis et porte Knox refroidis par l'eau**, 367.
- Chauffes ou soufflages du convertisseur** (Carton pour enregistrer les), 256-258.
 — des convertisseurs Bessemer (Nombre de), 218, 225, 242, 245, 264, 281, 288, 295.
 — des fours à creusets (Nombre de), 97, 101, 104, 107, 114, 118, 122, 126, 130.
 — des fours électriques (Nombre de), 518, 523, 528, 532, 537, 540, 550.
 — des fours M.-S. (Nombre de), 327, 449, 456, 457, 462, 471.
- Chaux**, 39.
 — Charge pour four M.-S. basique (Additions de), 328.
 — Pourcentage employé, procédé Bessemer basique, 223, 225, 234-237.
 — (Prix de la), 39, 235.
 — (Prix de la fabrication de la), 39.
- Cheminées des fours M.-S.**, 363.
- Chenhall** (Fours à creusets de), 81, 105.
- Cherté de la vie**, 609.
 — aux Etats-Unis, 611.
 — en Angleterre et en Allemagne, 610.
- Chicanes des régénérateurs des fours M.-S.**, 359.
- Chrome** (Additions physiques pour les aciers au), 312.
 — (Analyses des minerais de), 33.
 — (Briques de), 34.
 — (Ferro-), 56.
- Chrome-Molybdène** (Analyses des alliages de), 62.
- Chrome-Nickel** (Analyses des alliages de), 62.
- Chrome-Silicium** (Analyses des alliages de), 62.
- Chromite**, 26.
 — (Prix de la), 56.
 — (Production mondiale de la), 33.
- Circuits électriques pour fours électriques**, 522, 558, 561, 564.
- Clapp et Griffiths** (Convertisseur), 174.
- Classification des ferro-alliages**, 52.
 — de la main-d'œuvre, 612.
- Cleveland** (Calcaire de). Prix de vente, 13.
 — (Fontes de). Prix de vente, 19.
 — (Fontes basiques de). Prix de vente, 164.
 — (Fontes grises de). Prix de vente, 164.
- Cleveland** (Fontes de). Usages dans le convertisseur basique, 235.
- Coke**, 44.
 — (Analyses des), 46.
 — Fours à creusets. (Consommation de), 98, 102, 103, 107.
 — nécessaire pour produire la fonte, 19.
 — Prix aux Etats-Unis, 43.
 — Production des Etats-Unis, 43.
- Combustibles employés dans les ateliers de convertisseurs Bessemer**, 221, 243, 266, 269, 274.
 — — dans le four M.-S. basique, 328.
 — — pour la cuisson de la dolomie, 29.
 — — pour la cuisson de la magnésite, 30.
 — — pour la fabrication de l'acier, 41.
 — liquides, 46.
 — pour fours à creusets (Huile), 74.
 — — (Consommation d'huile), 76.
 — pour fours M.-S. (Prix du), 450, 453, 463, 471.
 — — Talbot, 480.
 — pour gazogènes, 402, 403, 413, 419, 422.
 — (Prix de revient des), 600.
- Comparaison de prix**, 583-589, 592.
- Comparaison des prix de main-d'œuvre**, 607.
- Concurrence entre les pays producteurs**, 1.
- Convertisseurs acides** (Charges pour), 230.
 — (Anciens types de), 168-172.
 — à soufflage latéral (Type de), 6, 246, 264, 278.
 — basiques (Charges pour), 232-238.
 — (Blocs à tuyères des), 195.
 — (Botte à vent des), 187, 210.
 — (Capacités des), 180, 196.
 — Dessins des), 184, 185, 186, 202.
 — (Fonds de), 172, 173, 187, 205, 208.
 — Méthode d'arrachage des incrustations des), 208.
 — (Méthode de manœuvre des), 246.
 — (Nombre de chauffes des), 220.
 — (Regarnissage des), 195.
 — soufflés par le côté, 174, 175, 295.
 — — par le fond, 154, 202, 212, 230, 232.
 — — — (type de), 6, 180, 239.
 — Types de :
 Bessemer, 168-172.
 Clapp et Griffiths, 174.
 Hatton, 174.
 Robert, 176.
 Stock, 178, 291.
 Suédois, 173.
 Tropenas, 177.
 Walrand, 175.
 Witherow, 175.
 Withöfft, 174.
- Convertisseurs (Ateliers de)**. Basique de 10 tonnes, 218.
 — — basique de 24 tonnes, 225.

- Convertisseurs (Ateliers de)**. Basique de 2 tonnes, soufflage par le fond, 239.
 — — (Dispositions des ateliers de grands), 180, 189, 191, 196, 198, 200.
 — — (Disposition des ponts roulants et des grues dans les ateliers de grands), 196.
 — — (Prix des), 219, 226.
 — — soufflés à la surface, 246, 264, 278.
- Convertisseur à revêtement acide** (charges pour), 229.
- Convertisseurs à revêtement basique** (Charges pour), 232-238.
- Convertisseurs Bessemer acide** (Charges pour), 230, 302, 303.
 — (Anciens types de), 168-172.
 — basique (Charges pour), 232-238.
 — (Pression de l'air pour les), 174, 176, 205, 211, 231, 294.
- Cooper (Dr A.)**. Sur le procédé basique du convertisseur, 236.
 — Sur un atelier de convertisseur basique, 190.
- Creusets basiques**, 65.
 — (Capacité et dimensions des), 88.
 — en argile, 89.
 — — (Couvercles et supports des), 92.
 — — (Fabrication des), 88.
 — — (Moulage à la machine des), 90.
 — — (Moulage à la main des), 89.
 — — (Nombre de chauffés des), 88.
 — — (Séchage et cuisson des), 90, 91.
 — en graphite de Styrie, 92.
 — en plombagine, 92.
 — — Matériaux employés, 92.
 — (Usage très ancien des), 69.
- Creuset (Acier au)**. Acier au carbone et à coupe rapide (*Voir Acier à outils*).
 — — (Comparaison des prix de l'), 583-584.
 — — (Emplois de l'), 137.
 — — Lingot de 80 tonnes, 5.
 — — Lingots pour projectiles, 5.
- Creusets basiques**, 51.
- Creuset (Fabrication de l'acier au)**.
 — — Dawson, Robinson et Pope, 120.
 Description et opération, 120, 122.
 Détails et prix de revient, 122-124.
 — — Huntsman, 94.
 Description, 94.
 Détails et prix de revient, 98-100.
 Opération, 94.
 — — Huntsman, avec 4 creusets dans chaque laboratoire, 100.
 Description et opération, 100.
 Détails et prix de revient, 101, 102.
 — — Lindemann, 109.
 — — Miller, 103.
 Description et opération, 103, 104.
 Détails et prix de revient, 104, 106.
- Creuset (Fabrication de l'acier au)**. Pratique américaine (chauffage à l'huile), 128.
 Description et opération, 123-130.
 Détails et prix de revient, 131-133.
 — — Pratique américaine (chauffage au gaz), 125.
 Description et opération, 125.
 Détails et prix de revient, 126.
 — — Radio, 106.
 Description et opération, 103, 104.
 Détails et prix de revient, 107, 108.
 — — Siemens, 111.
 Comparaison des prix, 120.
 Description, 111, 114.
 Détails du laboratoire, 113.
 Détails et prix de revient, 114-120.
 Opération, 114, 118.
- Creusets (Fours à) à combustible liquide**, 73, 79.
 — — (Application du gaz à l'eau aux), 76.
 — — à régénération, avec laboratoire double, 73.
 — — à tirage forcé, 80, 103.
 — — chauffé à l'anthracite, 86.
 — — chauffé au coke. Utilisation de la chaleur perdue, 71.
 — — chauffé au gaz naturel, 86.
 — — chauffé à l'huile, 74.
 — — chauffé à l'huile, avec régénérateurs, 82.
 — — chauffé à l'huile et oscillant, 82.
 — — (Consommation d'huile des), 76.
 — — (Dessin d'un), 86.
 — — Dispositif pour retirer les creusets, 78.
 — — (Economie dans les réparations des), 76.
 — — électrique, 264.
 — — (Evolution des), 69.
 — — (Injecteur d'huile de Nordenfelt pour), 74.
 — — multiple, 72.
 — — oscillant, 72, 81.
 — — portatif, 79.
 — — (Revêtement pour), 72.
 — — Types de) :
 Carr, 82.
 Carr et Speer, 82.
 Chenhall, 81, 105.
 Dawson, Robinson et Pope, 77, 120.
 Gledhill, 78.
 Huntsman, 69, 94.
 Johnson, 71.
 Kirkham, 76.
 Lindemann, 109.
 Miller, 81, 103.
 Nobel, 73.
 Peace, 79.
 Radfort, 79.
 Siemens, 72, 82, 111.

Creuset (Procédé au), 5, 65.
 — — (Analyses des fontes pour le), 16.
 — — Emploi des creusets basiques, 65.
 — — (Fabrication de l'acier par le), 66.
 — — Historique du), 65.
 — — Méthode Mitis pour « tuer le métal », 67.
 — — Réaction dans le creuset, 67.
 — — Relation avec les autres procédés, 66.

Crucible Steel Co d'Amérique, 5.

Cubilots (Analyses du métal des), 304.
 — Calcul de la charge du convertisseur, 307.
 — (Charges des). Petits convertisseurs, 302, 303.
 — Feuille de chargement, 397.
 — (Métal des). Quantité pour les charges d'acier pour moulages, 310-314.

Cubilots (Chargement mécanique des), 182.
 — (Grands) pour fondre la fonte, 180, 199.
 — (Petits) pour fondre la fonte, 241, 250, 251.
 — pour fondre le spiegel, 203.
 — pour fondre les additions physiques, 250.

Cuisson de la dolomie (Combustible employé pour la), 29.
 — de la magnésite (Combustible employé pour la), 30.

Cutts (Four Bessemer électrique), 541.

D

Darby et Hatton. Sur le procédé Bertrand-Thiel, 328.

Davies (G.). Cubilot et procédé au creuset combinés, 72.

Davison et Mathies (Carneau à refroidissement d'eau de), 374.

Dawson (Gazogène de), 402.

Dawson Robinson et Pope (Four à creuset chauffé au gaz de), 77, 120.

Denrées. Prix en Angleterre et en Allemagne, 610.

Dépôts de minerais de fer, 40.

Dessins de convertisseurs Bessemer, 179, 185, 186, 202.

Détroit Steel Casting Co (Atelier des convertisseurs de la), 263.

Dewhurst (Poche à métal chaud de), 192.

Dick (F.-W.). Emploi des combustibles liquides dans les fours à régénérations, 46.

Dick et Riley (Voûtes mobiles pour four M.-S. de), 343.

Dietrich (Briques) pour chicanes de régénérateurs, 342.
 — Carneau de four M.-S., 342.

Dilatation des briques d'argile et de silice, 26.

Dinas (Argile), 25.

Dolomie, 22.
 — (Analyses de la), 22.
 — (Atelier de), 189, 199, 209.
 — (Briques de), 23.
 — (Briques en) pour convertisseurs, 186, 195.
 — (Cuisson de la). Combustible consommé, 29.
 — (Malaxeur de goudron et de), 207.
 — (Pourcentage de goudron employé avec la), 28, 195.
 — (Préparation de la), 28.

Donaldson (Sir H.-F.) Sur la classification de la main-d'œuvre, 612.

Drop Bottom (Convertisseur), 178.

Dudelange (Pratique du Bessemer basique aux aciéries de), 237.

Duff (Four M.-S., système), 346.
 — (Gazogène), 404.

Duplex (Procédés), 502.
 — — Bessemer et électrique, 507.
 — — (Charges pour), 506, 507, 508.
 — — (Matériaux employés dans le), 506.
 — — M.-S. et Bessemer, 502.
 — — M.-S. et électrique, 504.

Dyblie (Valve à renversement de —) pour four M.-S.), 383.

E

Ebelmann (Gazogène), 396.

Electrodes en graphite et non en graphite, (Comparaison des), 37.
 — (Fabrication des), 36.
 — pour fours électriques, 35, 519, 539, 551.
 — (Prix des), 37.
 — (Prix d'un atelier de fabrication des), 36.

Electro-métaux. Four électrique, 556.

Espagne (Production de fonte et d'acier en), 15.
 — (Production de lingots d'acier en), 1.

Essais de l'acier M.-S., 490-491.
 — des charges de four M.-S., 320.
 — des moulages en acier, 304.
 — — — (Pièces d'), 301, 305.

Etablissement des prix de revient de l'acier, 594.

Etats-Unis (Importation du spath-fluor aux), 40.
 — (Pratique du Bessemer aux), 196.
 — (Prix de production de la fonte Bessemer aux), 20.
 — (Production d'acier aux), 196.
 — (Production de fonte et d'acier aux), 15.
 — (Production de la houille aux), 43.
 — (Production de lingots aux), 1.
 — (Production de minerai, de fonte et d'acier aux), 14.

États-Unis (Salaires aux), 608, 611.
 Etuve pour la cuisson des creusets, 91.

F

Fabrication de l'acier au creuset, 66.
 — des ferro-alliages, 52.
 — des creusets, 88.

Felten et Guillaume (Machine soufflante), 216.

Fer (Oxydes de) dans les argiles réfractaires, 24.

Ferranti (Four électrique), 512.

Ferro-alliages, 52.
 — (Classification des), 52.
 — (Fabrication des), 53.
 — (Particularités et analyses des), 53.
 — (Prix de vente des), 62.

Ferro-bore (Analyse du), 62.

Ferro-chrome, 54.
 — (Analyse du), 57.
 — (Prix de vente du), 62.
 — Quantité pour les charges d'acier pour moulages, 312.

Ferro-manganèse, 54.
 — (Analyse du), 54.
 — (Calcul de la quantité de), 308.
 — pour convertisseurs soufflés à la surface. (Charge de), 267.
 — (Prix de vente du), 54.
 — Quantité pour les charges d'acier pour moulages, 310-314.

Ferro-molybdène, 58.
 — (Analyses et emplois du), 58, 59.
 — (Prix de vente du), 59.

Ferro-nickel (Analyse du), 60.

Ferro-phosphore, 61.
 — (Analyse du), 61.
 — (Usages du), 61.

Ferro-silicium, 54.
 — (Analyses du), 54, 55.
 — (Calcul de la quantité de), 309.
 — (Charge de) pour convertisseur soufflé à la surface, 267, 268.
 — (Prix de vente du), 55.
 — (Quantité pour les charges d'acier pour moulages, 310, 314.

Ferro-silico-aluminium, 55.

Ferro-sodium, 62.

Ferro-titane, 59.
 — (Analyse du), 60.
 — (Prix de vente du), 58.

Ferro-tungstène, 57.
 — (Analyse du), 57.
 — (Prix de vente du), 58.

Ferro-vanadium, 59.
 — (Analyse du), 57.
 — (Prix de vente du), 59.

Fischer (valve à renversement de) pour four M.-S., 382.

Flohr (Briquettes). Procédé Bessemer basique, 237.

Flohr (Modification de). Procédé Bessemer basique, 163.

Fluctuation des prix de la fonte, 21.

Flux ou fondants, 38.

— Bessemer basique, 159.

— nécessaires pour la production de la fonte, 49.

Fonderies (Ateliers de convertisseurs pour), 239, 246, 264, 278.

Fonds des convertisseurs Bessemer, 172.

Fontes acides et basiques. (Prix de vente des), 21.

— (Analyses des), 15, 16, 17, 18.

— — Bessemer acide, 17.

— — Bessemer basique, 16.

— — de Cleveland, basique, 164.

— — grises de Cleveland, 164.

— — pour le procédé au creuset, 16.

— — pour le procédé Bessemer acide, 17,

— — pour le procédé Bessemer basique, 16.

— — pour le procédé M.-S. acide, 18, 488.

— — pour le procédé M.-S. basique, 17, 488.

— — pour le procédé utilisant le métal fondu, 18.

— — pour le procédé électrique, 18.

— Bessemer. Prix de production aux États-Unis, 20.

— de Styrie, 141.

— (Fluctuation du prix de vente des), 21.

— (Pourcentage de la production de) en 1910, 14.

— pour charges des convertisseurs soufflés à la surface, 267, 295.

— (Prix comparatifs des), 19.

— (Prix de la), 19.

— (Prix de vente des —), anglaises, américaines et allemandes, 21.

— Production des États-Unis, de l'Allemagne et de l'Angleterre, 14.

— Production mondiale des), 15.

— (Quantité de coke nécessaire pour produire la), 49.

— (Quantité de fondants nécessaires pour produire la), 49.

Force électrique employée dans la fabrication de l'acier, 41, 49.

— (Prix de la), 49.

— (Prix par K.-W. et H.-P. de la —), année et heure), 51.

Force motrice.

— (Consommation de). Fours électriques, 531, 538, 549, 550.

— Ensemble des prix, 602.

— Facteur, fours électriques, 531.

— (Prix de la). Convertisseurs Bessemer, 222, 244, 267, 271, 275.

— utilisée par les gazogènes, 416, 419.

Fours. Charges, 492-501.

- Fours de chauffage du ferro-manganèse**, 203.
- Four à induction**, 520.
- Four Bessemer à creusets multiples**, 71.
- Fours électriques**. (Charges pour), 526, 531, 537, 554.
- (Evolution du), 511.
 - (Réactions dans les), 569.
 - (Types de) :
 - Anderson, 452.
 - Chaplet, 555.
 - Cutts, 541.
 - Electro-métaux, 556.
 - Ferranti, 512.
 - Frick, 528.
 - Gin, 544.
 - Girod, 546.
 - Helberger, 564.
 - Hering, 566.
 - Hérault, 513, 534.
 - Hiorth, 530.
 - Igewsky, 567.
 - Keller, 558.
 - Kjellin, 513, 520.
 - Levoz, 560.
 - Nathusius, 561.
 - Paragon, 523.
 - Röchling-Rodenhauser, 523.
 - Ruthenburg, 542.
 - Siemens, 511.
 - Stassano, 513, 515.
- Fours Martin-Siemens (acide)** (Charges pour les), 492-495.
- — (Analyses des fontes pour les), 18.
 - — (Prix des), 458, 466.
 - — (**basique**) (Analyses des fontes pour les), 17.
 - — (Ateliers de), 449-458, 465.
 - — (Charges pour les), 495-501.
 - — (Procédé), 323.
- Fours rotatifs avec soufflage d'air**, 339.
- de Pernot, 337.
 - de Siemens, 337.
- Fox (S.)**. (Revêtements pour fours à creusets), 71.
- Usage du gaz à l'eau dans les fours à creusets, 76.
- France** (Production de lingots en), 1.
- (Production de fonte et d'acier en), 15.
- Frick** (Four électrique), 528.
- (Fonctionnement du four électrique), 529.
- Friedrich** (Carneau détachable de), 371.
- — Prix, 373.
- G**
- Galloways Ltd.** Machine soufflante pour convertisseur, 213.
- Ganister**, 20.
- (Analyses du), 26.
- Ganister** (Prix du), 27.
- Gary.** Acieries M.-S., 438.
- Gaz de haut fourneau et de fours à coke**, 427.
- (Théorie de la fabrication du), 425.
- Gaz à l'eau** (Analyse du), 431.
- Application aux fours à creusets, 76.
- Gaz de fours à coke**, 429.
- Gaz de gazogènes** (Analyses du), 403, 407, 413, 416, 419, 422.
- (Valeur calorimétrique du), 403, 427.
- Gaz de haut-fourneau pour four M.-S.**, 429.
- pour machines soufflantes, 216.
- Gaz naturel**, 429.
- (Analyse du), 48, 430.
 - Comparaison avec le gaz de gazogène, 430.
 - (Emploi dans le four M.-S. du), 49.
 - (Prix du), 48, 430.
 - Production des Etats-Unis et du Canada, 48.
- Gazogènes à fonds pleins**, 398.
- à fonds hydrauliques, 398.
 - (Alimenteur mécanique pour), 399, 410, 412.
 - (Alimenteur mécanique Bildt pour), 399.
 - (Analyses du gaz de), 403, 407, 413, 416, 419, 422.
 - (Capacité des), 401, 411, 412.
 - (Combustible employé par les), 402, 403, 413, 419, 422.
 - (Décrasseur mécanique pour), 400, 412, 414.
 - (Développement des), 396.
 - (Distribution du combustible dans les), 398.
 - (Efficacité des), 411, 424, 426.
 - (Force utilisée par les), 416, 419, 420.
 - Main-d'œuvre, 413, 420.
 - (Manutention de la houille pour les), 399.
 - pour fours M.-S. (Dimensions des), 364.
 - (Prix des), 410, 419, 423, 447.
 - (Prix du gaz de), 423.
 - (Quantité de vapeur employée dans les), 407, 428.
 - (Types de) :
 - Bischof, 396.
 - Dawson, 402.
 - Duff, 404.
 - Ebelmann, 396.
 - Forter-Trump, 410.
 - Goliath, 415.
 - Hilger, 418.
 - Hughes, 411.
 - Kerpely, 420.
 - Mond, 405.
 - Mond-Trump, 407.
 - Morgan, 412.
 - Rehmann, 421.

- Gazogènes** (Types de) :
 S. F. H., 422.
 Siemens, 397, 407.
 Talbot, 339.
 Taylor, 414.
 Thwaite, 408.
 Wilson, 409.
- Gebauer**. Convertisseur soufflé à la surface, 284.
- George** (Alimenteur mécanique pour gazogènes), 412.
- Georgsmarienhütte** (Aciérie M.-S. de), Allemagne, 440.
- Gin** (Four électrique), 544.
- Girod** (Four électrique), 547.
 — — Charges pour, 579.
 — — Description et fonctionnement, 546-549.
 — — Prix de revient, 549.
- Gledhill (J.-M.)**. Dispositif pour retirer les creusets de dedans les fours, 78.
 — Sur l'acier à outils au creuset, 140.
- Goerens (D^r)**. Sur l'emploi des briquettes dans les convertisseurs basiques, 217.
- Goliath** (Gazogène), 415.
- Goransson (F.)**. Sur le procédé Bessemer en Suède, 150.
- Goudron** (Pourcentage de) avec la dolomie, 29.
- Grande-Bretagne ou Angleterre** (Pratique du Bessemer en), 189.
 — — (Production de l'acier en), 489.
 — — — minerai, fonte en acier en), 44.
- Graphite** (Électrodes en), 37.
- Grues** pour les ateliers de convertisseurs, 260.
- Guillet (Léon)**. Sur l'acier au titane, 60.
- H**
- Haanel (Eugène)**. Sur les électrodes, 28.
- Hackney et Waiels**. Carneaux pour fours M.-S., 321.
- Hadfield Steel Foundry Co Ltd**. Classification de la main-d'œuvre, 612.
- Harrison et Wheeler**. Sur les essais des fours M.-S., 321.
- Harvey** (Fours à creusets portatifs), 79.
- Hatton** (Convertisseur), 174.
- Head (Jeremiah et A.-P.)**. Sur le prix de la fonte aux États-Unis, 223.
- Head** (Carneau détachable), 373.
- Helberger** (Four électrique), 564.
 — — Fonctionnement, 566.
- Hering** (Four électrique), 566.
- Heroult** (Four électrique), 513, 534.
 — — (Charges pour), 537, 580.
 — — de 15 tonnes, 534.
 — — de 2 tonnes 1/2, 540.
 — — Fonctionnement, 537.
 — — Prix de revient, 539.
- Hilgenstock**. Introduction du mélangeur à fonte, 387.
- Hilger** (Gazogène), 418.
- Hiorth** (Four électrique), 530.
 — — (Charges pour), 531.
- Hoersch** (Procédé basique), 328, 498.
 — — Changements chimiques, 329.
- Holley** (Fonds de convertisseurs de), 173.
- Houille** (Analyses des), 44, 45.
 — (Consommation de). Fours à creusets, 115, 119, 123, 127.
 — (Manutention de la). Gazogènes, 399.
 — pour gazogènes (Analyses des), 401, 403, 414, 419, 422.
 — pour gazogènes (Valeur calorimétrique des), 403, 427.
 — Prix aux États-Unis, 43.
 — Production aux États-Unis, 42.
 — Production mondiale, 41.
 — (Propriétés des —, anglaises et étrangères), 45.
- Howe**. Sur le procédé Bessemer en Amérique, 153.
 — Sur les fours à creusets américains, 126, 132.
- Hughes** (Gazogène), 411.
- Huile lourde** (Analyse de l'). Fours à creusets, 74.
 — (Consommation d'). Convertisseur Stock, 294.
 — (Consommation d'). Fours à creusets, 74, 131, 132.
 — (Four à creusets avec régénérateurs chauffé à l'), 82.
 — (Four M.-S. chauffé à l'), 467, 468.
 — — Charges pour, 468, 470.
 — — Main d'œuvre pour, 472.
 — (Prix de l'), 47, 472.
- Huntsman** (Four à creusets de), 69.
 — — Description et dimensions, 94.
 — — Fonctionnement, 95.
 — — Prix, 98.
 — — Prix de revient, 98, 99.
- I**
- Igewsky** (Four électrique), 567.
- Illinois Steel Co**. Charges pour Bessemer acide, 231.
- Induction** (Fours à), 520.
- Intensité du travail**, 614.
- Italie** (Production de fonte et d'acier en), 15.
 — (Production de lingots en), 4.
- J**
- Johnson** (Four à creusets), 71.
- Jones (Capitaine)**. Introduction du mélangeur à fonte, 151, 387.

K

- Kapfenberg** (Fabrication de l'acier au creuset à), 441.
Keller (Four électrique), 538.
Kelly (Procédé pneumatique), 450.
Kerpely (Gazogène), 420.
King G.-F., Sur les analyses du métal Bessemer, 454.
Kirkham (W.). Revêtements pour four à creusets, 76.
 — (Valve à renversement de) pour fours M.-S., 381.
Kjellin (Four électrique), 513, 520.
 — — Charges pour, 578.
 — — Circuits électriques pour, 522.
 — — Fonctionnement, 522.
 — — Prix de revient, 523.
Kladno (Analyses de l'acier Bessemer basique de), 235.
 — Charges des convertisseurs, 235.
 — (Pratique du Bessemer basique à), 461.
Knoth (Procédé basique), 333.
Knox (Carneau refroidi par l'eau), 367.
 — (Cloison refroidie par l'eau), 377.
 — (Portes et châssis refroidis par l'eau), 376.
Knox (M. le Commissaire). Sur les prix de l'acier, 20, 590.
Koon. Sur les ouvriers d'aciéries aux États-Unis, 613.
Krupp, Essen. Fabrication de l'acier au creuset, 5, 439.

L

- Lancashire et Yorkshire Rly.** (Ateliers de convertisseurs aux aciéries de), 263.
Le Chatelier H. Sur les aciers à outils, 442.
Ledebur A. Sur les charges des creusets, 441.
Leflaive et Co. (Machine soufflante pour convertisseur), 213.
Levoz (Four électrique), 566.
Levy D.-M. Sur le soufre dans l'acier, 321.
Lindemann (Four à creusets), 409.
Lingots d'acier au creuset de 80 tonnes, 5.
 — — pour projectiles, 5.
 — — (Prix de l'acier pour), 589.
 — — (Prix de production de Bessemer), 218.
 — — (Prix des), 593.
 — — Production de l'Allemagne, 200.
 — — Production de l'Angleterre, 490.
 — — Production des États-Unis, 496.
 — — Production mondiale, 1.
 — — riches en soufre, 306.
Liquides (Combustibles), 46.
 — — (Brûleurs pour). Fours M.-S., 350.
 — — (Consommation de). Fours à creusets, 76, 431, 432.

- Liquides (Combustibles)** Employé pour la fusion de la fonte. Pratique Bessemer, 72, 294.
 — — (Prix des), 47, 472.
 — — par tonne d'acier fondu dans les fours M.-S., 47.
Longmuir, P., Sur la charge des convertisseurs, 304.
Lubrification du tourillon des convertisseurs, 188, 202.

M

- Machine** pour faire les creusets, 91.
 — pour faire les fonds des convertisseurs, 208.
Machines soufflantes. Actionnée par la vapeur, 212.
 — — actionnée par le gaz, 213.
 — — actionnée par un moteur, 216.
 — — Consommation du four électrique par tonne de lingot, 217.
 — — Consommation du gaz de haut fourneau par tonne de lingot, 217.
 — — Gaz consommé, 212, 216.
 — — pour convertisseurs, 188, 211, 239.
 — — Vapeur consommée par tonne de lingot, 212.
Machines soufflantes actionnées électriquement, 216.
Magnésite 23.
 — (Analyse de la), 24.
 — (Briques de), 24.
 — (Consommation de), aux États-Unis, 30.
 — (Cuisson de la). Combustible employé, 31.
 — (Emplois de la), 39.
 — (Essais des briques de), 32.
 — (Gisements de), 29.
 — (Prix de la), 29.
Magnétique (Acier). (Additions physiques pour), 313.
Main-d'œuvre, 8, 607.
 — — Atelier Bessemer, soufflage par le fond, 244.
 — — Atelier Bessemer, soufflage à la surface, 266, 270, 274, 282, 289.
 — — Atelier Bessemer, Allemagne, 284.
 — — Ateliers de fours M.-S., 450, 453, 456, 464, 472.
 — — (Classification de la), 612.
 — — des ateliers de gazogènes, 413, 421.
 — — des ateliers de four Talbot, 485.
 — — du four à creusets, 98.
 — — du four électrique, 539.
 — — Ensemble des prix, 603.
 — — (Heures de — des ouvriers d'aciéries), 614.
 — — (Prix de la — dans la fabrication de l'acier), 607.
 — — Procédé Bessemer basique, 221.

- M. A. N. C^o** (Machine soufflante pour convertisseurs), 213.
- Manganèse (Ferro-)**, 54.
— (Acier au). Additions physiques pour, 312.
- Martin-Siemens (Acier)** (Analyse des), 490-491.
— — (Emplois de), 492.
— — (Prix de l'), 587-589.
— — (Prix de fabrication des billettes en), 592.
- Martin-Siemens (Ateliers de fours)** Bethlen-Falvahütte, 441.
— — — (Charges pour), 453, 457, 470, 488, 501.
— — — (Disposition des), 433, 438, 440, 441.
— — — Emplacement des hauts fourneaux, 435.
— — — Emplacement des mélangeurs, 437.
— — — Emploi des charges froides fondues, 435.
— — — Gary, 438.
— — — Georgsmarienhütte, 440.
— — — (Main-d'œuvre des), 450, 453, 456, 464, 472.
— — — (Manutention dans les), 435, 437.
— — — Presses à emballer les scraps, 443.
— — — Prix de revient d'un four de 450 kg. chauffé à l'huile, lourde, 468.
— — — (Prix des), 445, 447-448.
— — — Union Steel Co, 440.
— — — 2 à 3 tonnes « Nouveau type », 459.
— — — Détails et prix de revient, 460, 465.
— — — 15 tonnes chauffé à l'huile, 468.
— — — Détails et prix de revient, 478, 473.
— — — 35 tonnes, 455.
— — — Détails et prix de revient, 455, 458.
— — — 40 tonnes, 448.
— — — Détails et prix de revient, 452, 455.
— — — 75 tonnes, 449.
— — — Détails et prix de revient, 449, 451.
- Martin-Siemens (Fonte)** acide et basique, (Analyse des), 17, 18.
— — — (Analyse des) pour le procédé utilisant les charges liquides, 18.
- Martin-Siemens (Fours)**.
— — Analyses des charges acides et des scories, 322.
— — avec 2 trous de coulée, 347.
— — avec sole double, 346.
- Martin-Siemens (Fours)**.
— — Brûleur à combustible liquide, 351.
— — Carneaux, 341, 342.
— — Carneaux à gaz et à air, 360.
— — Chargement à la main et à la machine 318, 324.
— — Charges de métal fondu, 325.
— — Charges partiellement liquides, 319.
— — (Charges pour), 488, 492, 501.
— — Charges solides, 310, 434.
— — (Cheminées des), 363.
— — (Chicanes en briques des), 359.
— — Conduite, 362.
— — (Construction des), 353.
— — Développement, 335.
— — Durée de chargement, 318, 319.
— — Essais des charges, 320, 325.
— — Fixes, 324.
— — Main-d'œuvre, 613.
— — (Mélangeurs pour), 326.
— — Nombre des chauffes en Allemagne, 319.
— — Oscillant, 325.
— — (Plans des), 363.
— — (Prix des), 445, 449, 468.
— — (Procédé de refroidissement des), 366.
— — Rapidité de fusion, 320.
— — Réactions chimiques du four acide, 321.
— — Régénérateurs, 357.
— — Réparation des fonds, 325.
— — Revêtements basiques, 325, 341.
— — Rotatif avec soufflage, 339.
— — Séchage, 317.
— — Soles, 355, 356.
— — Types de :
— — Batho, 340.
— — Campbell, 348.
— — Duff, 346, 347.
— — Pernot, 337.
— — Radcliffe, 344.
- Siemens**, avec chambres à scories, 338.
— — avec 2 gazogènes, 350.
— — « Nouveau type », 344, 345, 459.
— — original, 334-336.
— — rotatif, 337.
— — Talbot, carneau de connection, 349.
— — Thwaite, 345, 346.
— — Wellmann, 349.
— — Valves, 361, 379.
— — Voûte mobile, 343.
— — Voûte refroidie par l'eau, 339.
- Martin-Siemens (Procédés)**, 6.
— — Acide, 317.
— — basique, 323.
— — Prix de fabrication de l'acier, 444, 459, 587, 588-589.
- Martin-Siemens (Procédé basique)**. Bertrand-Thiel, 328.
— — Hoesch, 328, 498.

Martin-Siemens (Procédé basique).
 — — Knott, 333.
 — — Monell et Rees-James, 332.
 — — Pszczolka-Daelen, 327.
 — — Surzycki, 331.
 — — Talbot, 331.
 — — Witkowitz, 327.

Massenez (Dr. O.) Sur l'emploi des fontes de Cleveland dans les convertisseurs basiques, 236.

Matériaux basiques, 22.
 — bruts, 8-9, 62.
 — bruts. Charges des convertisseurs soufflés à la surface, 267, 268.
 — employés dans la fabrication de l'acier, 9.
 — Ensemble des prix, 599.
 — réfractaires, 21.
 — siliceux, 22.

Mauritz. Sur les machines soufflantes des convertisseurs, 212.

Mélangeur de dolomie et de goudron, 205.

Mélangeurs à fonte 387.
 — — (Capacités des), 391.
 — — chauffés, 393.
 — — Elimination du silicium dans, 394.
 — — Elimination du soufre dans, 393.
 — — Introduction des, 451.
 — — Marche des, 395.
 — — non chauffés, 393.
 — — Revêtements des, 388.
 — — Type convertisseur, 388.
 — — Type four M.-S., 389.
 — — Type four M.-S., avec régénérateurs, 391.
 — — (Types de), 387, 389.
 — — (Usages des), 161, 192, 223, 226, 437, 441.

Miller (Four à creusets), 81, 103.
 — — (Fours à creusets). Fonctionnement, 104.
 — — (Fours à creusets). Prix de revient 106.

Milwaukee (Fours à creusets à), 131.

Minerais de chrome (Prix des), 57.

Minerais de fer, 9.
 — — (Analyse des), 40, 41.
 — — (Dépôts des), 10.
 — — (Prix des), 12, 13.
 — — Prix des Etats-Unis, 13.
 — — Prix de l'Allemagne, 13.
 — — Prix de l'Espagne, 13.
 — — Prix de la Suède, 13.
 — — (Prix de vente des), 13.
 — — Rendement en fer, 10.
 — — Réserves mondiales, 10.
 — — (Usages des), 13.

Minerais de Molybdène (Analyses des), 58.

Minerais de Titane, 60.

Minerais de Tungstène (Analyses des), 57.

Minerais de Vanadium (Analyses et dépôts des), 59.

Molybdène (Chrome) Analyses des alliages, 62.
 — (Ferro-) Analyse du, 58.
 — (Nickel-) Analyse du, 62.

Mond (Gazogène), 405.

Mondiale (Production) de la houille, 41.
 — (Production) de fonte et d'acier, 41.
 — (Production) de la chromite, 33.
 — (Production) de lingots d'acier, 1.
 — (Production) de pétrole, 48.
 — (Réserves) en minerais de fer, 40.

Mond-Trump (Gazogène), 407.

Monell et Rees-James (Procédé basique), 332.

Morgan (Gazogène), 412.

Moulages (Charges d'acier au creuset pour), 145.
 — (Prix de l'acier pour), 383, 585, 588.

Moulages en acier Bessemer (Analyses des divers), 299.
 — — — (Additions physiques pour), 310, 314.
 — — — (Charges pour), 302, 303.
 — — — (Pièces d'essais pour), 300.
 — — — (Spécifications pour), 300, 301
 — — — (Usages des), 297.

Mushet, Robert. Acier, 142.
 — — Emploi du tungstène, 57, 142.
 — — Introduction du spiegeleisen, 53, 151.

N

Nouveau type (Four M.-S.), 344, 345, 459.

Nathusius (Four électrique), 561.
 — Fonctionnement, 562.

Naturel (Gaz) (*Voir gaz naturel*).

Nickel (Analyse du), 60.
 — (Prix de vente du), 60.

Nickel-Chrome (Analyse du), 62.

Nickel (Ferro-). Analyse, 60.

Nickel-Molybdène (Analyse du), 62.

Nickel-Tungstène (Analyse du), 62.

Nobel (Four à creusets à combustible liquide de), 73.

Nordenfelt (Injecteur d'huile pour fours à creusets de), 74.

North Eastern Steel Works à Middlesbrough, 191, 197.
 — — — Nombre de chauffés ou soufflages au convertisseur par équipe, 225.

O

Osborn (S.) et C^o, Ltd. Fours à creusets, 95, 115.

Oscillants (Fours M.-S.), 265.

Oscillation ou manœuvre des convertis-

- seurs. Méthodes employées, 187, 202, 248.
- Outils** employés dans les fours à creusets, 96, 97.
- Oxydation** (Chaleur d'), 167.
— Four électrique, 569.
— (Vitesse d'), 254, 305.
— — Convertisseur Bessemer, 155, 156.
— — Four M.-S., 320, 324.
— — Four Talbot, 482.
- P**
- Paragon** (Four électrique), 533.
- Parks et Devel** (Carneau à refroidissement d'eau de), 375.
- Peace** (N.-K.). (Four à creusets à combustible liquide de), 79.
- Peiner** (Machine soufflante pour convertisseur aux aciéries de), 216.
- Pernot** (Four rotatif de), 337.
- Pertes de métal** pendant la transformation, procédé Bessemer, 224, 225, 238, 268, 305.
- Pesée** de l'acier des convertisseurs, 259.
— des matières premières des cubilots, 254.
— du métal des cubilots pour le convertisseur, 261.
- Petersen** (Dr O.). Sur le procédé de Hoesch, 329.
- Pétrole** (Analyse des), 47.
— (Production mondiale du), 48.
— (Valeur calorimétrique des), 47.
- Phœnix** (Analyses des scories du Bessemer basique des aciéries du), 235.
- Phosphore** (Elimination du), dans les charges de four M.-S.), 325.
— (Emploi du, pour améliorer la qualité de l'acier), 61.
— (Ferro-), 61.
— dans l'acier, 300, 305.
— dans l'acier à outils, 142.
— dans les minerais de fer, 10.
- Physiques** (Additions). Charges des convertisseurs, 258, 267, 306.
— (Méthode de calcul des), 307.
— (Table des, pour les divers moulages d'acier), 310-314.
- Plombagine** (Creusets de), 92.
- Poches** pour le métal chaud, 192, 202.
— pour peser le métal des cubilots, 250.
- Points de fusion** de l'argile réfractaire et des composés réfractaires argileux, 24.
— de la silice pure, 24.
- Porte Knox** refroidie par l'eau pour four M.-S., 376.
- Pouvoir réfractaire** des briques réfractaires (Limite du), 24.
- Presses** à emballer les scraps, 443.
- Prix** de fabrication de la chaux, 39.
— de fabrication de l'acier, 4.
— de la chaux, 39.
— de la fonte, 19, 20.
— de la fonte (Fluctuation des), 21.
— de la force électrique, 49-52.
— de la houille aux Etats-Unis, 43.
— de la magnésite, 29.
— de production de l'acier Bessemer basique, 218-228.
— de production de la fonte Bessemer, 20.
— des creusets, 93, 135.
— des électrodes, 37.
— des ferro-alliages, 62.
— des matériaux réfractaires, 27.
— des matériaux réfractaires siliceux, 22.
— des minerais de fer, 12, 13.
— du calcaire, 39.
— du coke aux Etats-Unis, 43.
— du combustible liquide, 46, 471.
— du gaz naturel, 48.
— d'une fabrique d'électrodes, 36.
— du spath-fluor, 40.
- Prix de revient** (Comparaison des), 583-589, 592.
— Comparaison du prix de l'acier, convertisseur de 2 tonnes, 276-277.
— (Etablissement des), 594.
— (Formule d'établissement du). Feuille du cubilot, 597.
— Formule de sortie du magasin, 600.
— — d'ordre de réparations, 605.
— — pour la force employée, 602.
— — pour les additions physiques, 598.
— — pour les combustibles, 601.
— (Formules employées pour l'établissement du), 595-606.
— (Système d'établissement du), 594.
- Procédés** au creuset, 5, 65.
— Bessemer, 6, 149.
— de fabrication de l'acier, 5.
— électrique, 7, 511.
— Martin-Siemens, 6, 317.
- Procédé Bessemer** (Voir : *Bessemer, Procédé*).
- Procédé électrique**, 7, 511.
— (Fontes pour le), 48.
- Procédés M.-S.** (Voir : *Martin-Siemens, Procédés*).
- Production** de coke aux États-Unis, 42.
— de gaz naturel, 48.
— de houille aux Etats-Unis, 42.
— de l'acier en Allemagne, 200.
— de l'acier en Angleterre, 190.
— de l'acier aux États-Unis, 196.
— de minéral, de fonte et d'acier, 14.
— de spath-fluor, 40.
— mondiale de chromite, 33.
— mondiale de fonte et d'acier, 15.
— mondiale de lingots d'acier, 1.
- Pszczolka-Daelen**. Procédé basique, 327.

R

- Radcliffe** (Four M.-S., type), 344.
Radford (R.-H.) (Four à creusets à régénération de), 79.
Radio (Four à creusets), 406.
Rails en acier Bessemer. (Prix de fabrication des), 591.
Réactions dans les convertisseurs Bessemer, 151.
 — dans les fours électriques, 569.
 — dans les fours M.-S., 321.
 — dans les fours Talbot, 482.
Réactions chimiques dans le four électrique, 569.
 — dans le four procédé M.-S., 321, 330.
 — dans les creusets, 67.
Récupération des sous-produits. Gazogènes, 400, 406.
Réfractaires (Matériaux), 21.
 — — (Classification des), 34.
 — — (Substances nuisibles dans les), 23.
Refroidissement des fours M.-S. (Procédés de), 366.
Refroidissement par l'eau des. — Carreaux de fours M.-S., 366.
 — Châssis de fours M.-S., 376.
 — Electrodes de fours électriques, 551.
 — Portes de fours M.-S., 376.
Régénérateurs (Chicanes en briques dans les), 359.
 — des fours M.-S. (Capacité des), 358.
 — des fours Talbot, 477.
 — (Plan des), 357.
 — (Surfaces relatives des), 358.
Rehmann (Gazogène), 421.
Rendement des minerais de fer, 10.
Résistance (Fours électriques à), 564.
Revêtements des convertisseurs, acide et basique, 180, 184, 186, 195.
 — des convertisseurs Bessemer basiques, 159.
 — des cubilots, 203.
 — des fours électriques, 520, 526, 534.
 — des fours M.-S., basiques, 325, 331.
 — des fours M.-S. (Durée des), 331, 333.
 — des fours Talbot, 480.
 — des mélangeurs, 388.
 — en minerai de chrome, 34.
 — (Méthodes pour démolir les incrustations des), 210.
 — mobiles, 76.
 — perfectionnés des fours à creusets, 71.
 — (Séchage des), 195.
 — (Usure des), 276.
Richards (A.-W.) (Modification de). Procédé Bessemer basique, 164.
 — Sur la pratique du Bessemer basique, 236.
Richards (Prof. J.-W.). Sur la chaleur développée dans le procédé Bessemer, 166.

- Riley (J.)**. Emploi des combustibles liquides dans les fours à régénération, 46.
Robert (Convertisseur), 176.
Robinson et Pope (Carneau pour four M.-S. de), 343.
Rochling-Rodenhauser (Four électrique), 523.
 — (Four électrique). Charges pour, 526.
 — — Fonctionnement, 526.
 — — Prix, 526, 528.
 — — Prix de revient, 526, 528.
Röchussen (T.). (Four à creusets oscillant), 72.
Rodger (Sole double pour four M.-S. de), 346.
Roots (Ventilateurs), 239, 248.
Russie (Production de fonte et d'acier en), 15.
 — (Production de lingots en), 1.
Ruthenburg (Four électrique), 542.
 — — Fonctionnement, 544.
 — — Prix de revient, 544.

S

- Salaires aux Etats-Unis et au Canada**, 614.
 — dans les ateliers de fours à creusets, 99.
 — dans les ateliers de fours électriques, 539.
 — dans les ateliers de fours M.-S., 453, 472.
 — dans les ateliers de fours Talbot, 485.
 — des ouvriers d'aciéries, 607.
 — en Allemagne, 608.
 — en Angleterre, 608.
 — (Fluctuation des), 608.
 — Procédé Bessemer basique, 222.
Salaires et cherté de la vie, 609.
Scheibler (Prof. G.). Emploi de la chaux dans les convertisseurs basiques, 234.
 — (Modification de). Procédé Bessemer basique, 163.
Schild (Valve à renversement de) pour four M.-S., 381.
Schmidt et Desgraz (Fours M.-S. de), 319.
Scories basiques (Analyse des), 235, 330.
 — (Valeur des), 224, 225, 235.
 — (Chambres à). Fours M.-S., 338, 358.
 — (Réduction des). Procédé Talbot, 483.
Scraps d'acier. Charges pour convertisseur soufflé à la surface, 267.
 — d'acier. Charges pour four M.-S.
 — (Emballage des), 443.
Scullin-Gallagher, Iron et Steel Co (Ateliers des convertisseurs à la), 263.
Seebohm. Sur les usages de l'acier à outils, 140.
Self-Trempe (Voir : *Acier à outils*).
Senelle-Maubeuze (Machine soufflante aux aciéries de), 213.

- S. F. H.** (Gazogène), 422.
- Sheffield** (Fluctuations des salaires à), 609.
- Siemens (C.-W.)**. (Four à creusets chauffé au gaz), 72.
— (Four électrique), 511.
- Siemens (F.)**. (Fours à creusets à régénération), 71.
— (Four à creusets chauffé au gaz), 82, 111, 116.
— (Four) « Nouveau Type », 460.
— Fours M.-S., 334-337, 343, 350.
— (Gazogène), 397, 407.
— (Valves à renversement), 379.
- Silice** (Analyses des briques de), 25.
— (Dilatation et contraction des briques de), 26.
— (Point de fusion de la — pure), 24.
— (Prix des blocs et des briques de), 27.
— (Prix du ciment de), 27.
- Siliceux (Matériaux)**, 22.
- Silicium** (Élimination du —, dans le procédé Bessemer basique), 164.
— (Élimination du —, dans les mélanges), 394.
— (Ferro-), 54-55.
- Silicium-chrome** (Analyse du), 62.
- Siliciure de calcium** (Analyse du), 62.
— (Emplois du), 309.
— (Quantité de —, dans les charges d'acier pour moulages), 310-314.
- Silico-aluminium** (Ferro-), 55.
— calcium-aluminium (Analyse du), 55.
— manganèse (Analyse du), 56.
— spiegel (Analyse du), 53.
- Smerling (Carl)**. Sur les fours à creusets chauffés à l'huile lourde, 75, 132.
- Sodium** (Ferro-), 62.
- Soie** (Fours à, M.-S.). Pratique américaine, 356.
— (Fours à, M.-S.). Pratique anglaise, 356.
— (Matériaux pour la), 355.
— Relation par rapport à la capacité, 355.
- Soufflage**. Convertisseurs soufflés par le côté, 174, 175, 294.
— Convertisseurs soufflés par le fond, 154, 203, 212, 231.
- Soufflage**. Bessemer acide (Analyses des charges pendant le), 154, 155.
— Bessemer basique (Analyses des charges pendant le), 162.
— des convertisseurs soufflés par le fond, 239, 242.
— des convertisseurs soufflés par la surface, 253, 258, 285, 294, 305.
— (Durée du), 155, 156, 231.
— Nombre de —, des convertisseurs, 218, 225.
— (Prix du), 212, 213, 216, 217.
— (Prix du —, par tonne de lingot), 212, 213, 216, 217.
- Soufre** dans l'acier, 301, 306, 307, 320.
— dans l'acier à outils, 142.
— dans le coke, 46.
— dans les minerais de fer, 40.
— (Élimination du) dans les charges de fours M.-S., 325.
— (Élimination du) dans les mélangeurs, 393.
— (Emploi du) pour améliorer la qualité de l'acier, 61.
- Spath-Fluor**, 9.
— (Analyse du), 40.
— Importation des États-Unis, 40.
— pour charge de convertisseur soufflé à la surface, 267.
— (Prix de vente du), 40-41.
— (Production de), 40.
- Spécifications** pour les aciers M.-S., 490-491.
— pour les moulages en acier, 300-301.
- Speer**. Brûleur à combustible liquide pour four M.-S., 351.
- Spieleisen**, 53.
— (Analyse du), 53.
— (Cubilot à), 203.
— (Prix de vente du), 53.
- Springorum** Sur le procédé de Hoesch, 329.
- Stanton (W.-A.)** Sur la limite réfractaire des briques d'argile, 24.
- Stassano** (Four électrique), 513, 515.
— — — Analyse des charges, 517.
— — — Charge pour, 519, 530.
— — — Description, 516.
— — — Fabrication de l'acier avec des scraps, 517.
— — — Fabrication de l'acier en partant du minerai, 516.
— — — Prix de revient, 518.
- Stead (Dr.)** Sur le soufre dans l'acier, 306, 320.
- Stock** (Convertisseur), 178, 291.
— — Consommation d'huile, 294.
— — Description, 291.
— — Fonctionnement, 293.
— — Nombre de soufflages, 295.
— — Prix de revient, 295.
- Stöckl**. Sur l'emploi de la chaux dans le procédé Bessemer basique, 235.
- Styrie** (Creusets en graphite de), 92.
- Suède** (Production de fonte et d'acier en), 15.
— (Production de lingots en), 1.
- Suédois** (Analyse des barres de fer), 141.
— (Convertisseur Bessemer), 173.
— (Convertisseur Bessemer). Pratique, 157.
- Sulfate d'ammoniaque**. Son extraction du gaz de gazogène. Prix, 400.
- Surzycki** (Four M.-S. type) à double trou de coulée, 347.
— (Procédé basique), 331.

Système de collationnement des dépenses,
394.

T

- Talbot** (Carneau mobile), 349.
— (Fours). Combustibles employés, 480.
— — Dimensions, 477, 581.
— — Liste, 476.
— — Régénérateurs, 477.
— — Revêtements, 480.
— — (Gazogène), 414.
— — (Procédé continu), 331, 474.
— — Charges, 481, 484, 487, 500, 501.
— — Marche, 480.
— — Prix de revient, 485.
— — Réactions, 482.
Taylor (Gazogène), 414.
Température du Bessemer pendant le soufflage, 166.
Teplitz (Garages Bessemer basique à), 234.
Théorie de la fabrication du gaz, 425.
Thomas et Gilchrist Revêtements basiques, 451, 458, 341.
Thwaite (Four M.-S.), 345.
— (Gazogène), 408.
Thyssen et Co Ltd (Machine soufflante pour convertisseurs de), 216.
Titane (Ferro-), 59-60.
— (Minerais de), 59.
Tourillons supports des convertisseurs, 188.
Triplex (Procédés), 504.
Tropenas (Convertisseur), 177.
— — Angle d'inclinaison pour le soufflage, 177.
— — « Bébé », 290.
— — « Drop-Bottom », 178.
Truck pour enlever les fonds de convertisseurs, 210.
Tungstène (Analyse des minerais de), 57.
— (Nickel-) Analyse, 62.
Tuyères (Blocs à — pour convertisseurs), 195.
— pour convertisseurs, 187.

U

- Union Steel Co's (E.-U.)** (Atelier de l'), 440.
Usages ou emplois de l'acier à outils, 139.
— — de l'acier au creuset, 139.
— — de l'acier électrique, 576.
— — de l'acier M.-S., 492.
— — de la houille, 44.
— — de la magnésite, 31.
— — des minerais de fer, 43.
— — des moulages en acier Bessemer, 297.

V

- Valeur calorimétrique** des houilles, 44.
— — des pétroles, 47.
Valves de manœuvre du convertisseur, 188, 246.
— de secours et de retenue du convertisseur, 188, 239, 246.
— des fours M.-S. (Dimensions des), 362.
— — (Disposition des), 379.
— — Types de :
 à champignon, 379.
 à papillon, 379.
 Blair, 384.
 Dyblie, 383.
 Fischer, 382.
 Kirkham, 381.
 Schild, 381.
 Siemens, 379.
Vanadium (Analyse des minerais de), 59.
— (Dépôts des minerais de), 59.
— (Ferro-), 59.
Vapeur employée dans les gazogènes, 407, 428.
Ventilateurs pour cubilots, 203.
— Roots, 239, 248.
Voûtes de fours M.-S. 360.
— — mobile, 343.
— — à refroidissement d'eau, 339.

W

- Walrand** (Convertisseurs), 175.
Wedding, Sur la durée du soufflage du convertisseur, 218.
— Nombre de soufflages supportés par les fonds des convertisseurs, 220.
— Chaux employée dans le procédé Bessemer basique, 235.
Wellman (Four M. S. oscillant de), 349.
Whiting (Machine à charger les cubilots de), 182, 183.
Wilson (Gazogène), 409.
Witherow (Convertisseur), 175.
Witkowitz (Charges du Bessemer basique a), 233.
— (Procédé duplex de), 327.
Witthöfft (Convertisseur), 174.
Wootz (Acier), 69.
Wüst et Laval. Mesures de la chaleur dégagée pendant le procédé Bessemer, 165. — Sur les charges du procédé Bessemer, 237.

YZ

- Youngstown Steel and Tube Co (E.-U.)**, 198-199.
Zenzes (Convertisseur). Soufflage à la surface, 285.



ÉVREUX. — IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY
