

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1. Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par [Eclydre](#).
2. Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :
 - la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - <https://cnum.cnam.fr>)
 - la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.
3. Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :
 - les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
4. Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)
5. L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.
6. Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique : Cnam, 1920-1926
Collation	23 vol.
Nombre de volumes	23
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	0
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48_2CC20
LISTE DES VOLUMES	
	Conférence faite le 11 janvier 1920 sur les métallurgies
	Conférence sur l'aviation faite le 18 janvier 1920
	Conférence sur les recherches et les inventions faite le 25 janvier 1920
	Conférence faite le 1er février 1920 sur l'évolution du matériel d'artillerie
	Conférence faite le 15 février 1920 sur les chars d'assaut : historique technique, historique tactique, vues d'avenir
	Conférence faite le 22 février 1920 sur le service géographique de l'armée pendant la guerre
	Conférence faite le 29 février 1920 sur la fabrication des poudres et explosifs
	Conférence faite le 7 mars 1920 sur les radio-éléments et leurs applications
	Conférence faite le 14 mars 1920 sur la chimie de guerre : les gaz de combat
	Conférence faite le 21 mars 1920 sur le rôle du laboratoire d'usine
	Conférence sur les industries chimiques faite le 28 mars 1920
	Conférence faite le 16 janvier 1921 sur l'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les moteurs à combustion
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les chemins de fer pendant et après la guerre
	Conférence faite le 30 janvier 1921 sur les richesses de l'Alsace et de la Lorraine
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Conférence faite le 13 février 1921 sur l'utilisation du combustible dans la métallurgie
	Conférence faite le 20 février 1921 sur la Roumanie nouvelle
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur les banques d'émission et la guerre
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur l'aluminium : emplois industriels du métal et de ses principaux alliages
	Conférence faite le 20 mars 1921 sur la valorisation du travail humain
	Conférence faite le 19 mars 1922 sur une mission au Canada
	Conférence faite le 2 avril 1922 sur l'état actuel de la télégraphie et de la téléphonie sans fil
	La structure de la matière et l'électricité [14 février 1926]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Volume	Conférence faite le 13 février 1921 sur l'utilisation du combustible dans la métallurgie
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique Léon Eyrolles, éditeur, 1921
Collection	Conférences faites au Conservatoire national des arts et métiers , Deuxième série, 6 [5]
Collation	1 vol. (56 p.-[2] f. de pl. depl.) : ill., cartes ; 18 cm
Nombre de vues	67
Cote	CNAM-BIB 12 Ky 48 (16)
Sujet(s)	Fours métallurgiques -- Combustibles -- Consommation -- 1900-1945 Industries métallurgiques -- Combustibles -- Consommation -- 1900-1945 Usines métallurgiques -- Combustibles -- Consommation -- 1900-1945
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/126013985
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48.16

5
mlc Hy 48 II

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

6

Conférence faite le 13 Février 1921

SUR

L'Utilisation du Combustible dans la Métallurgie

PAR M. DE LOISY

Ingenieur Civil des Mines



PARIS

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur

3, rue Thénard (V^e)

—
1921

TOUS DROITS RÉSERVÉS

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

292, rue Saint-Martin, Paris (3^e)

Le Conservatoire National des Arts et Métiers comprend :

1° Un musée industriel contenant des collections uniques d'appareils et de modèles dont le nombre s'élève à plus de 15.000 et parmi lesquels se trouvent des objets historiques de la plus haute importance.

2° Un enseignement public et gratuit pour l'application des sciences aux arts industriels et ne comprenant pas moins de 23 cours :

Géométrie appliquée aux arts. — Mécanique. — Machines. — Physique appliquée aux arts. — Electricité industrielle. — Métallurgie et travail des métaux. — Chimie générale dans ses rapports avec l'industrie. — Chimie agricole et analyse chimique. — Chimie industrielle. — Chimie appliquée aux industries des matières colorantes. — Chimie appliquée aux industries des chaux et ciments. — Filature et tissage. — Constructions civiles. — Art appliqué aux métiers. — Agriculture. — Économie industrielle et statistique. — Assurance et Prévoyance sociales. — Associations ouvrières. — Hygiène industrielle. — Économie sociale. — Droit commercial. — Géographie commerciale et industrielle. — Économie politique.

En outre, des conférences sur des sujets d'actualité sont faites dans le courant de l'année.

3° Un enseignement pratique donné dans la journée et qui constitue une préparation directe à l'industrie.

Cet enseignement porte actuellement sur les machines, la métallurgie, la mécanique, la physique, l'électricité industrielle, la filature et le tissage.

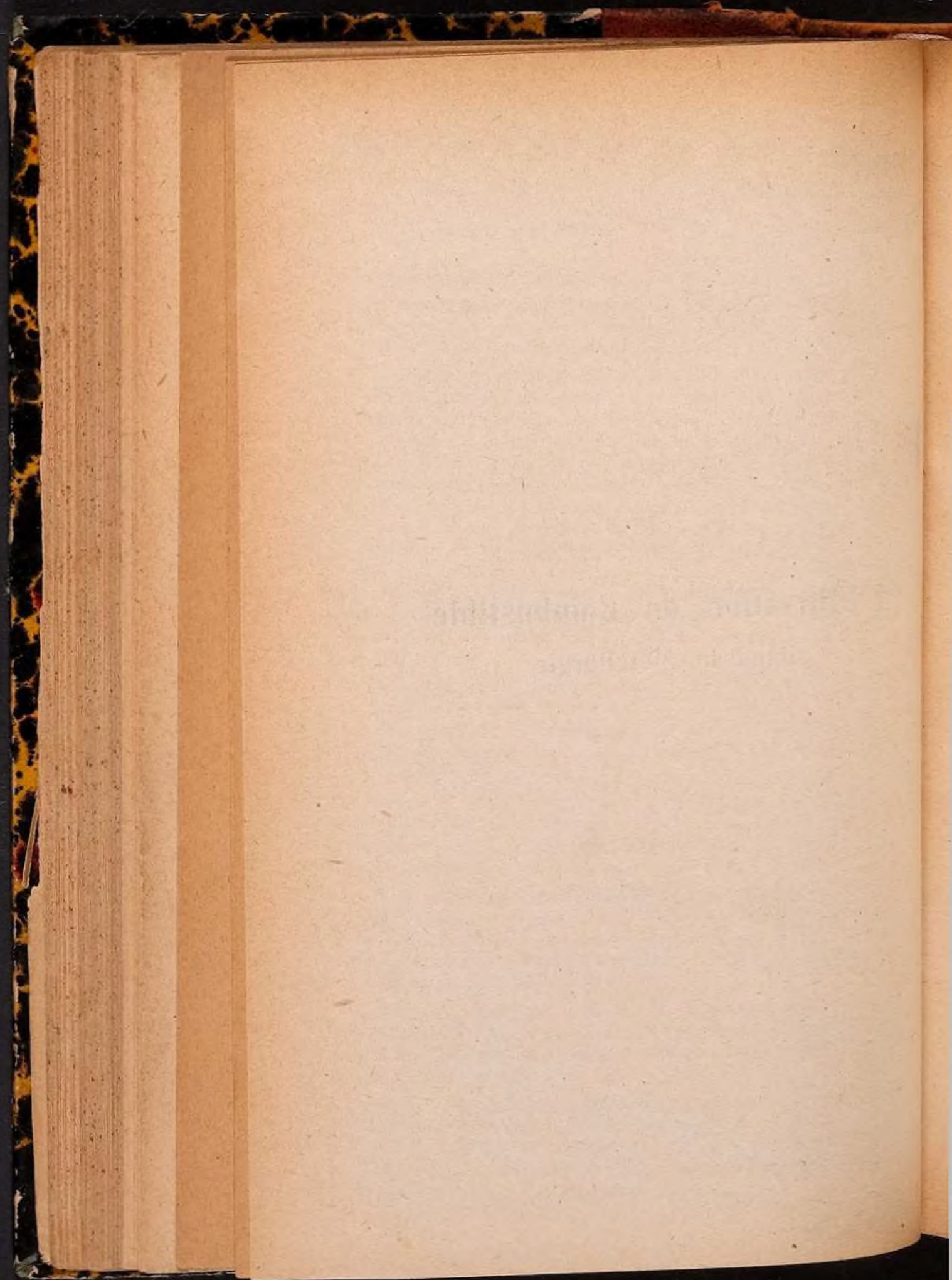
4° Une bibliothèque contenant une riche collection d'ouvrages relatifs aux sciences, aux arts, à l'agriculture et à l'industrie et renfermant environ 53.000 volumes ou cartes. C'est un centre de documentation pour les industriels, les commerçants, les ouvriers ; les étudiants, les élèves des grandes Écoles y trouveront aussi les ouvrages utiles à leurs études.

5° Un laboratoire d'essais industriels dont le but est de permettre aux Services de l'État, aux industriels, commerçants et particuliers, de soumettre les produits bruts ou manufacturés de toute nature, les machines et les appareils, aux essais mécaniques, physiques, chimiques ou aux essais de machines susceptibles de les qualifier.

6° Un musée de prévention des accidents du travail et d'hygiène industrielle qui constitue une exposition permanente des appareils protecteurs et des dispositifs de sécurité et d'hygiène industrielle les plus pratiques et les plus perfectionnés.

7° Enfin un laboratoire de recherches sur le travail professionnel qui poursuit l'application, au monde économique, des méthodes de discipline et d'ordre de l'activité humaine. Le but à atteindre est le rendement social maximum ; les moyens sont dans l'organisation de l'outillage et de la main-d'œuvre, et, avant tout, de l'apprentissage.

L'Utilisation du Combustible
dans la Métallurgie



12° Ky. 48^r (16)

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Conférence faite le 13 Février 1921

SUR

L'Utilisation du Combustible dans la Métallurgie

PAR M. DE LOISY

Ingénieur Civil des Mines



PARIS

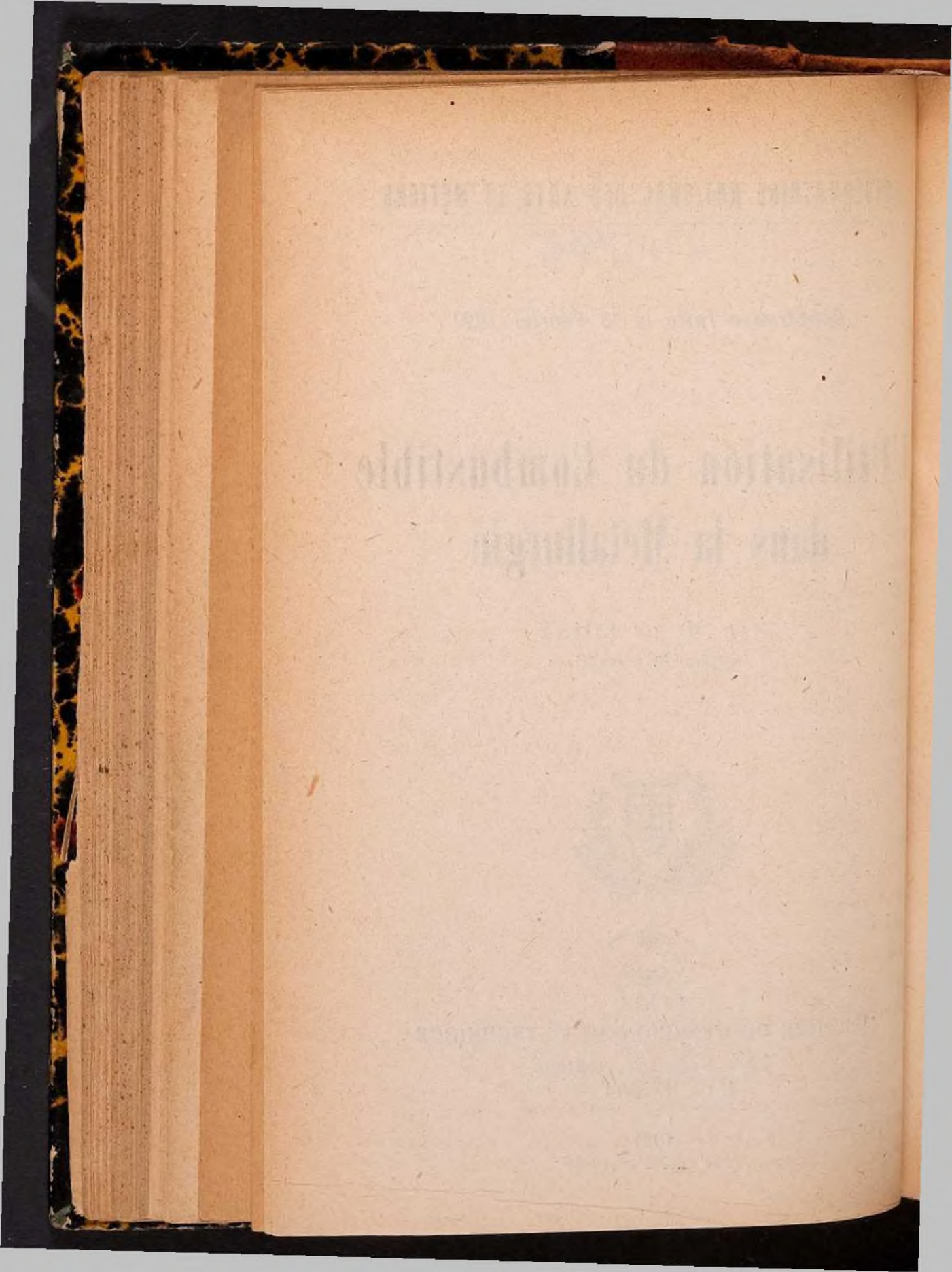
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur

3, rue Thénard (V^e)

—
1921

TOUS DROITS RÉSERVÉS



MESDAMES, MESSIEURS,

Vous connaissez tous l'importance primordiale que présente pour la métallurgie la question du combustible. Je voudrais l'examiner brièvement avec vous, sous les deux aspects suivants :

Comment l'approvisionnement de combustible a de plus en plus impérieusement dominé la métallurgie à mesure que, d'un métier isolé, elle a évolué à une industrie considérable.

Comment en même temps, par une utilisation de plus en plus parfaite de ce combustible, elle a cherché, au cours des temps, à se dégager de cette étreinte, et à quel point elle est parvenue actuellement à cet égard.

Pour ramener à la durée d'un bref exposé un sujet qui se prêterait volontiers à de vastes développements, nous le restreindrons, si vous le voulez bien, à la métallurgie du fer, métal qui, l'aluminium excepté, est le seul malheureusement que renferme en grandes quantités le sol de notre pays et qui par cela même a le plus d'intérêt pour nous.

Notre plan sera donc le suivant :

1^o Influence des sources de combustibles sur le développement et la position géographique de l'industrie métallurgique ;

- 2° Emploi du combustible dans l'Usine même;
- 3° Economie générale d'une Aciérie moderne.

PREMIERE PARTIE

LE COMBUSTIBLE ET LA SITUATION GÉOGRAPHIQUE DES USINES A FER

MÉTALLURGIE AU BOIS

Nul exemple de cette influence du combustible n'est plus frappant que celui du développement de la métallurgie au bois, métallurgie qui est loin d'avoir perdu toute actualité puisque la Suède, l'Oural (c'est-à-dire un quart du fer de Russie) puisque le Chili, une des régions les plus riches en minerai du fer du monde ne connaissent pas d'autre combustible.

Comme combustible, le bois a sur le charbon de nombreuses infériorités, mais du moins un sérieux avantage : alors que les mines s'épuisent sans rémission, les forêts repoussent naturellement.

La Sidérurgie primitive, on peut l'affirmer sans crainte, est née dans les forêts, sur les gisements de minerai où le bois était à portée. Tant qu'elle s'est bornée à la faible production que comportait ses engins primitifs même multipliés, le problème de l'alimentation en combustible ne s'est pas posé ; le bois repoussait plus vite qu'on ne le coupait.

Mais dès le xvm^e siècle, et surtout à partir du xix^e, âge des chemins de fer, le problème s'est posé avec une acuité singulière : voyons, en effet, les données

numériques de la production métallique dans les pays du Nord :

La coupe d'un hectare de pins donne environ 300 stères de bois. Le stère pèse à l'abattage 450 k, et après une année de séchage 375 k, et le rendement en charbon de bois en est de 60 à 70 k. environ. La coupe intégrale d'un hectare fournit donc soit 120 t. de bois destiné au chauffage des fours, soit 20 t. de charbon de bois, employé à la fabrication de la fonte.

Quant à la durée du renouvellement de cet hectare, intégralement coupé, renouvellement qui s'opère par reprise naturelle, on la fixe à 100 ans dans les évaluations prudentes, à 60 dans les autres.

Si l'on applique ces données à la fabrication d'un produit métallurgique courant, dont on connaît la consommation de combustible, on arrive à des chiffres frappants : c'est ainsi que pour produire par an un mètre carré de tôle mince comme celle employée à la couverture des maisons, un usinier doit posséder 500 m² de forêt.

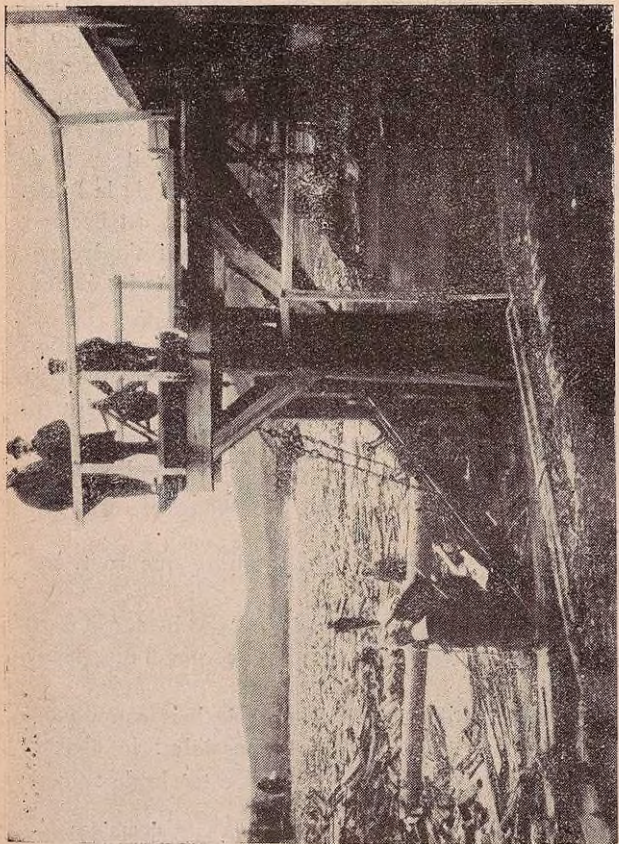
Un hectare ne permet d'en produire que 10 t. par siècle.

Aussi un domaine forestier de 500.000 hectares, dans ces régions, n'assure-t-il la marche que d'une usine fort ordinaire (1).

Pour amener du lieu d'abattage le bois coupé pendant l'été, un seul moteur est possible : le cheval, et un seul véhicule, de par l'absence totale de routes,

(1) Ajoutons que la possession d'immenses domaines forestiers dans ces régions n'est qu'une richesse stérile si on n'en peut transformer le bois en produits métallurgiques, de valeur relativement élevée sous un poids faible ; car le bois ne vaut par lui-même ni la coupe, ni le transport et il n'est bon qu'à pourrir indéfiniment sur place.

le traineau, dès que la neige a fait son apparition. Or, le rayon d'action d'un pareil équipage, fort pé-

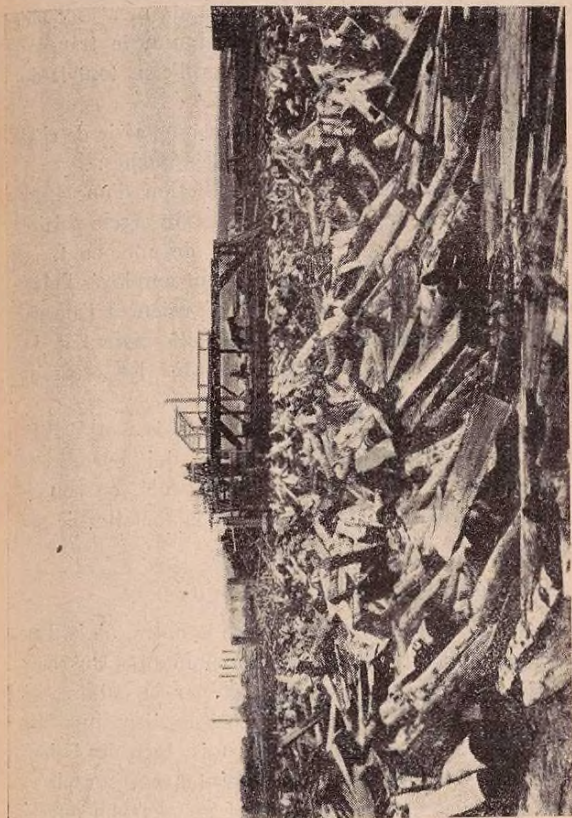


Arrimage du bois dans l'Oural.

nible à tirer, n'est guère que d'une vingtaine de kilomètres.

Ces chiffres caractérisent d'une façon frappante la

loi naturelle qui domine la métallurgie au bois et qui la condamne à la dissémination de ses Usines à



Arrimage du bois dans l'Ouraï.

travers l'espace forestier, si elle ne veut pas, élargissant chaque année le cercle de ses déboisements, périr bientôt d'inanition.

Des Usines importantes n'ont pu vivre qu'en s'établissant aux bords de rivières flottables, ou mieux aux confluent de celles-ci, de façon à drainer économiquement et en réduisant au minimum le transport par chevaux de la forêt aux cours d'eau, tout le domaine forestier arrosé par ceux-ci.

Au point d'arrivée un barrage et une série de chaînes-élevatrices opèrent la récolte des bûches.

La photographie montre l'installation d'une Usine de l'Oural située sur le 60^e non loin du cercle polaire, qui était arrivée à produire plus de 100.000 t. de métal par an. 12.000 chevaux étaient employés l'hiver au convoyage du bois, mais ils n'avaient à l'amener qu'au bord des deux rivières qui sillonnaient le domaine, et on l'y faisait flotter après les crues du dégel.

Si l'on tient compte de ce que le bois, coupé l'été, charrié l'hiver, flotté au printemps, doit encore être séché pendant un an, avant d'être brûlé, on conçoit quelles étroites sujétions entravent la métallurgie qui repose sur ce combustible.

APPARITION DE LA HOUILLE.

Aussi dans tous les pays comme le nôtre, où la douceur du climat avait permis aux habitants, au cours des siècles, de remplacer la forêt par la culture, les îlots boisés restés sur le territoire à la disposition des Forges ont été vite épuisés. Toutefois, bien des Usines alimentées au bois se sont maintenues sur place, leurs bois disparus, en recourant au charbon amené à grands frais (1).

(1) Le charbon minéral fut appliqué pour la première fois au traitement du minerai, en Angleterre, vers 1611.

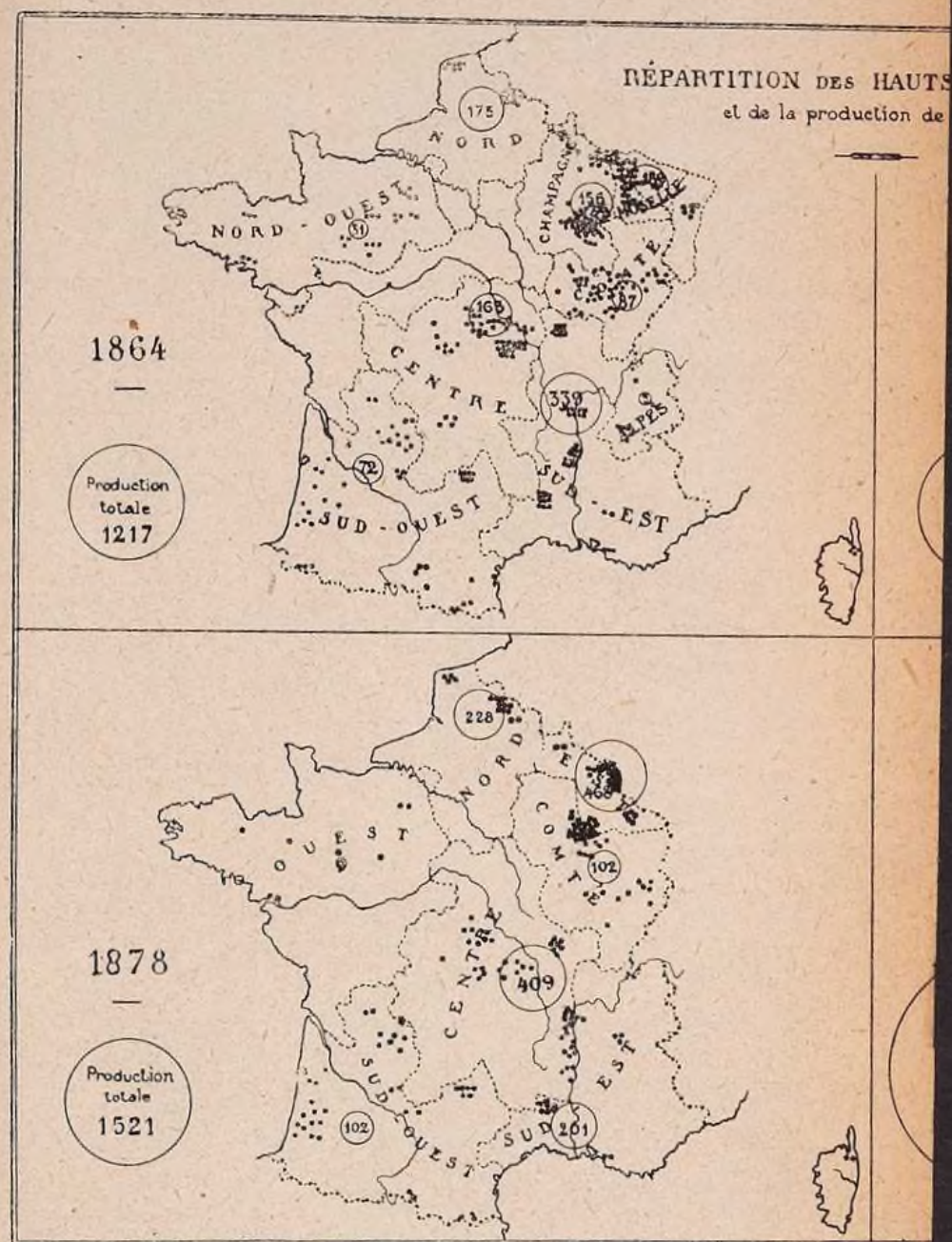
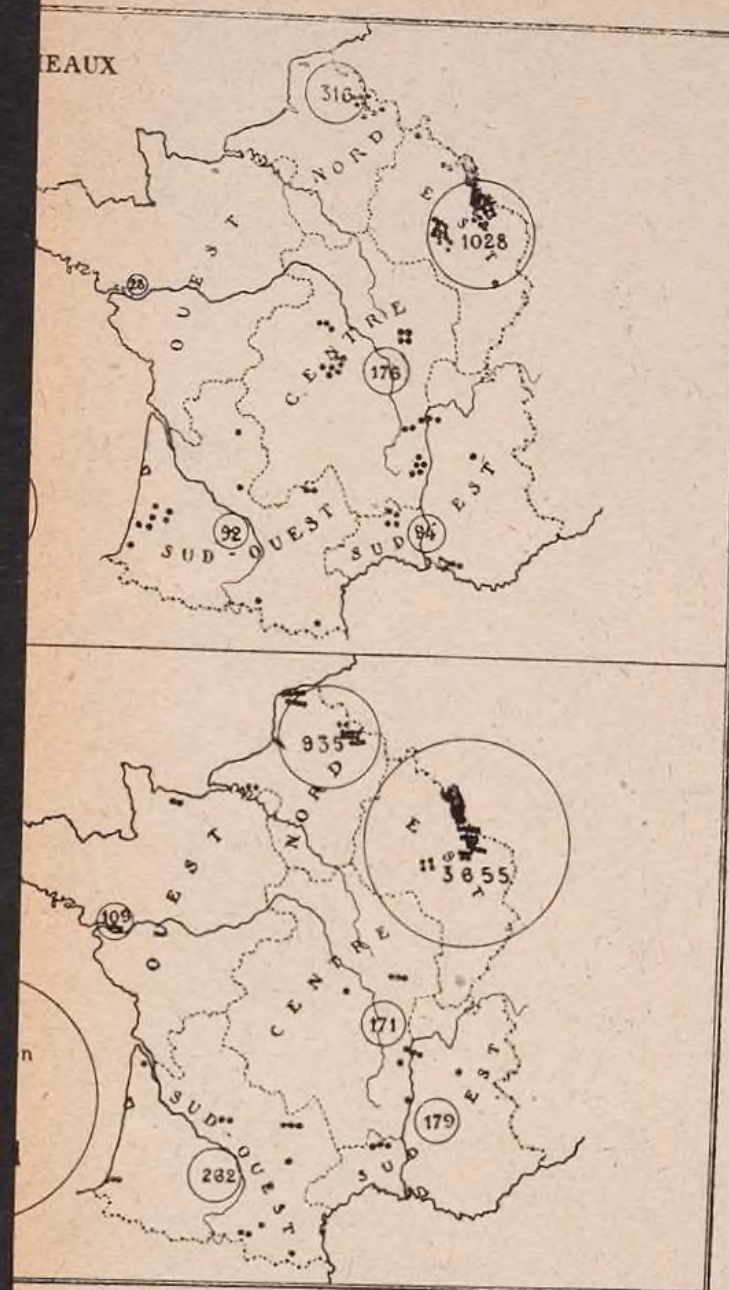
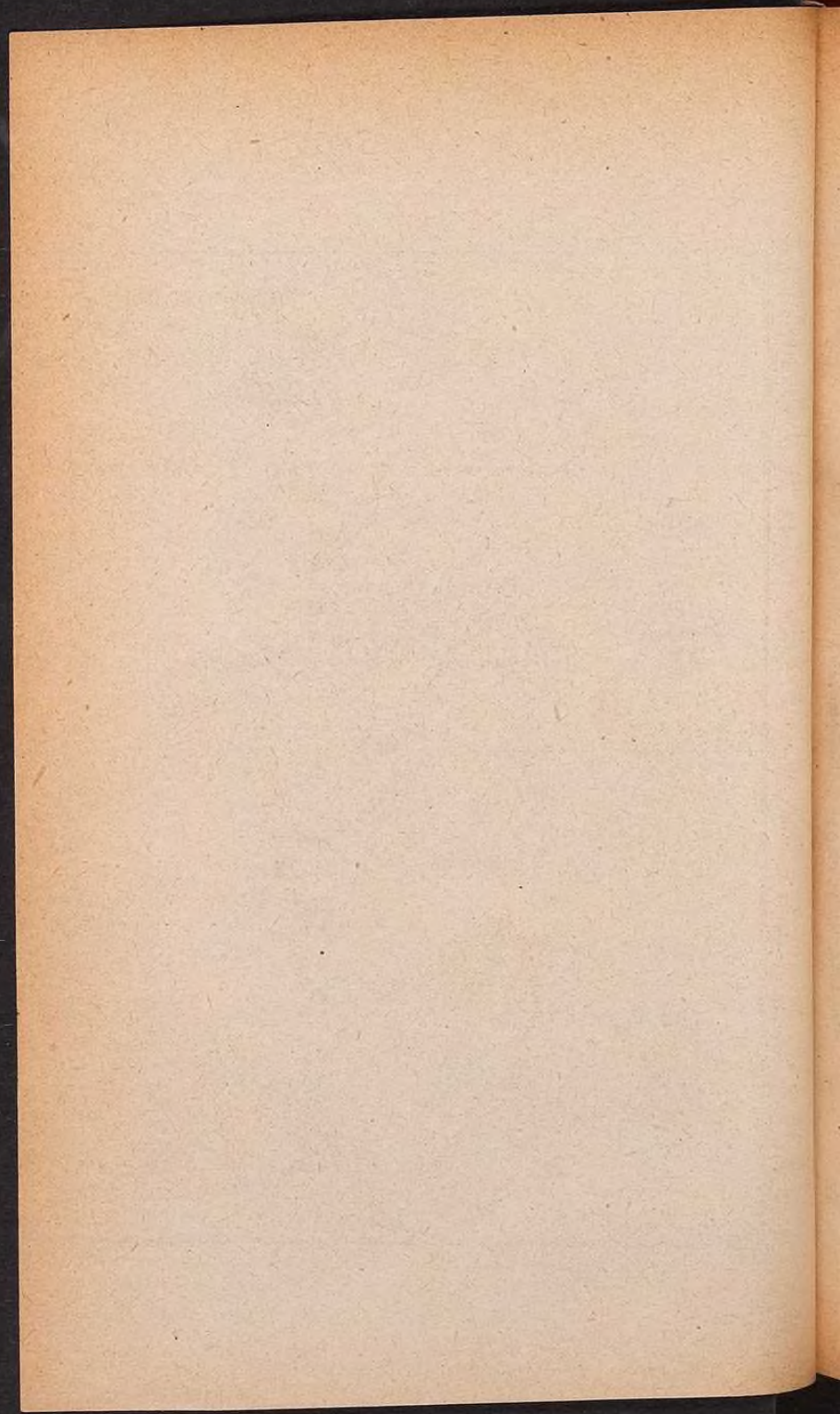
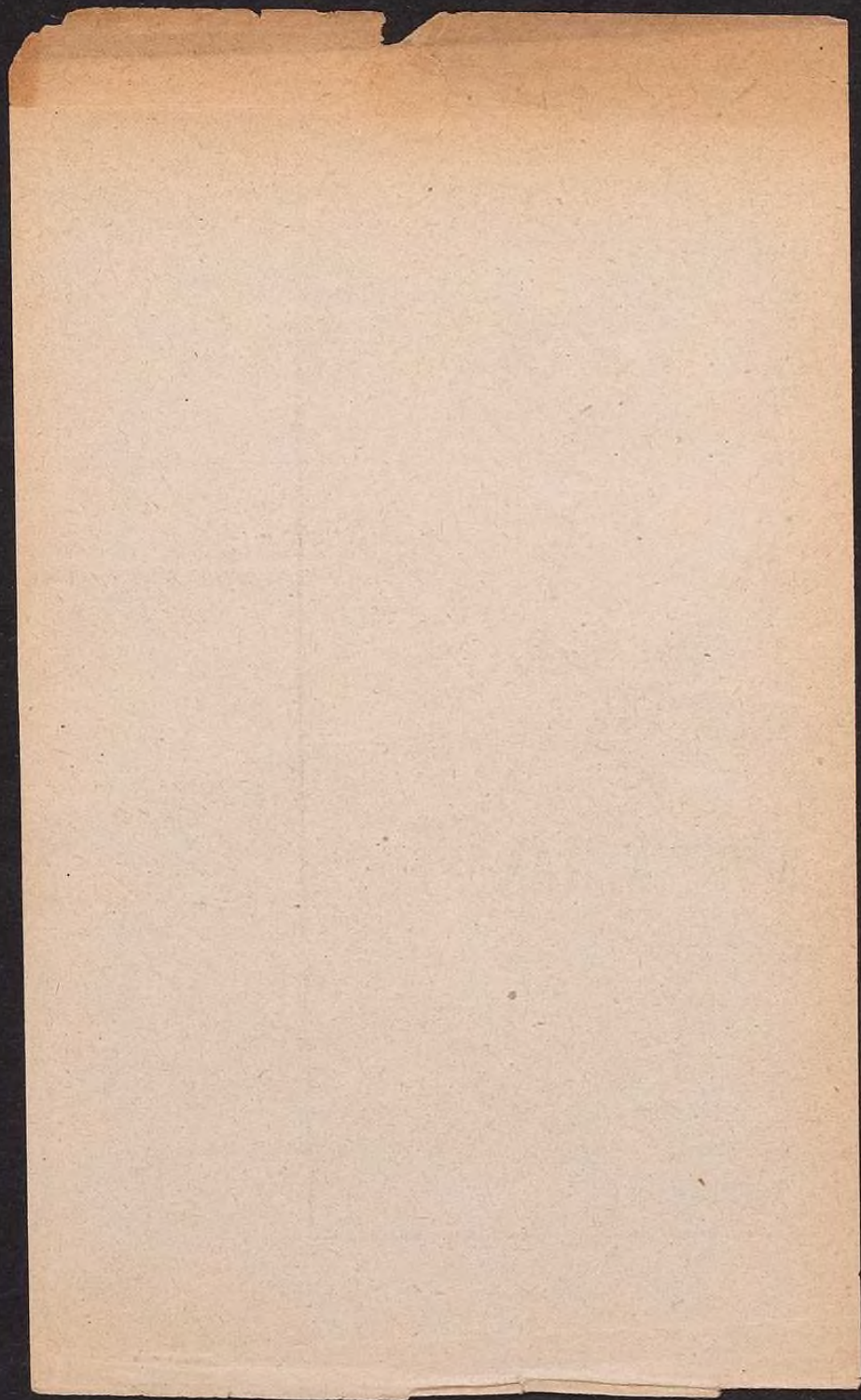


Fig. 3.





On ne pouvait, en effet, transplanter du jour au lendemain un outillage important, priver de travail ou déplacer une population ouvrière exercée. Aussi la migration consécutive au remplacement d'un combustible par l'autre, comme tous les phénomènes économiques, s'est étendue sur un long espace d'années ; les cartes jointes (1), montrent comment dans le dernier demi-siècle qui a précédé la guerre, elle s'est effectuée dans notre pays.

On en saisit nettement le sens : En 1864, la métallurgie est encore en grande partie forestière ; on voit à quelle dissémination cette phase correspond.

A cette époque pour une production de 1.200.000 tonnes on compte plus de mille établissements répartis dans quatre-vingts départements et comportant, outre les bas foyers, quatre cent trente hauts fourneaux.

En 1913 la concentration est faite : pour une production quadruple de fonte et sextuple d'acier on n'a que deux cent huit Usines, soit le cinquième, plus aucun bas foyer, et cent vingt-cinq hauts fourneaux seulement, soit le quart.

Comment cette concentration s'est-elle opérée ?

Sur quatre zones principales, comme le montre la carte de 1913. La plus importante de ces zones, et de beaucoup (68 %, soit plus des 2/3) est dans l'Est, sur le minerai : nous verrons tout à l'heure pourquoi. Les autres se sont fixées sur le combustible ; bassin houiller du Nord ; région du littoral par où viennent

(1) Ces cartes sont tirées du beau et intéressant volume consacré par le Comité des Forges au cinquantenaire de son activité.

PRODUCTION DE CHARBON EN 1913, EN MILLIONS DE TONNES
ET PRIX DE LA TONNE EN FRANCS, AUX LIEUX D'EXTRACTION.

513	Etats Unis		Prix 6' 60
290	Royaume Uni		10' 75
279	Allemagne	dont 87 de lignite	13' 15
52	Autriche	dont 37 de lignite	10' 80
41	France		15' 60
34	Russie		13' 20
25	Belgique		16' 60
17	Japon		
14	Inde, Chine, Canada, Australasie.	14 chacun	
7	Afrique du Sud		
4	Espagne et Mexique	4 chacun	
5	Autres contrées (Ensemble)		
TOTAL MONDIAL		1.325	

les charbons étrangers nécessaires à notre pays déficitaire ; le reste sur les deux bassins houillers du Centre.

Le minerai a donc exercé sur la position des usines françaises une attraction plus forte que le combustible. C'est un phénomène dont il est intéressant de scruter les raisons.

Tout d'abord, une tonne d'acier nécessite 3 tonnes $1/2$ de minerai contre 2 t. seulement de houille : on économise donc, en se plaçant sur le minerai, le transport de 1 t. $1/2$ de matière première.

CAS DE LA MÉTALLURGIE FRANÇAISE.

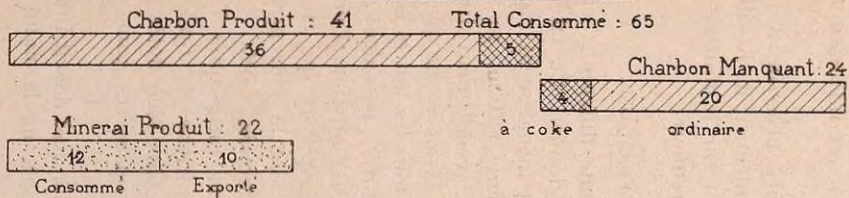
Mais la raison profonde est toute différente, et le diagramme suivant va nous la donner. Ce tableau nous montre que si la fortune est inégalement répartie entre les individus d'une même nation, les richesses minérales sont tout aussi aveuglément distribuées entre les différents peuples. Vous voyez que les Etats-Unis si favorisés déjà pour tous les autres combustibles, bois, pétrole, gaz naturel, possèdent des gisements de houille si riches et d'exploitation si aisée, qu'en pouvant se permettre un gaspillage qui ruinerait tout autre peuple, ils produisent la plus grande quantité et au plus bas prix du monde entier.

Nous n'arrivons qu'au cinquième rang après l'Autriche (il y avait encore une Autriche en 1913) et sommes relativement beaucoup moins bien dotés que l'industrielle Belgique si on compare ses 7.000.000 d'habitants à nos 39.000.000.

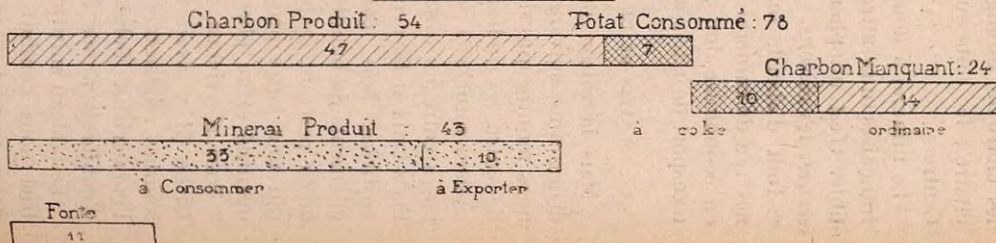
Le tableau suivant vous montre à quel déficit industriel nous conduit cette parcimonie de la nature à notre égard :

CAPACITÉ SIDÉRURGIQUE DE LA FRANCE. (EN MILLIONS DE TONNES)

Avant - Guerre (1913)



Après - Guerre, Sarre comprise
mais une fois les Mines et les Usines reconstituées.



Vous y voyez qu'on devait avant la Guerre, qu'on devra encore, malgré l'adjonction de la Sarre, importer après guerre 24.000.000 de tonnes de charbon annuellement, nos besoins s'étant accrus autant que nos ressources nouvelles.

Ainsi, nous introduisions en France, avant la guerre, par nos frontières septentrionales, 3.000.000 de tonnes de coke, soit autant que nous en produisions nous-mêmes dans le Nord et le Pas-de-Calais : ce coke venait pour un quart de Belgique et pour les trois quarts d'Allemagne, il n'est donc pas étonnant, il est au contraire tout à fait logique que la situation la plus économique pour les hauts fourneaux traitant le minerai de Lorraine ait été sur le minerai lui-même, au confluent des arrivages de France, de Belgique et d'Allemagne.

LE PROBLÈME DU COKE POUR LA FRANCE.

Je vous ai dit que le combustible qu'on importait ainsi était le coke.

Vous savez que les hauts fourneaux ne peuvent employer la houille crue parce qu'elle collerait, en empêchant la descente des charges. Il leur faut du coke, obtenu par la distillation de cette houille, distillation qui fournit en même temps, du gaz d'abord, le plus avantageux des combustibles, puis un ensemble de sous-produits extrêmement précieux ; l'ammoniaque en premier lieu, base des engrais azotés ; puis le benzol, combustible pour nos moteurs d'automobiles et d'aviation ou point de départ des couleurs d'aniline ou d'explosifs comme la mélinite ; enfin le goudron qui, redistillé à son tour, donne le brai, matière liante des briquettes, et une série de

matières premières qui transformées dans les Usines Chimiques fournissent toute la gamme des colorants, des parfums et des médicaments de la chimie organique.

Or, c'est évidemment celui qui distille la houille, c'est le fabricant de coke, qui recueille ces sous-produits, dont le prix de vente est avantageux.

Vous concevez donc combien jalousement les charbonniers d'outre-Rhin, auxquels nous devons recourir pour partie de notre coke, gardaient le monopole de la distillation de la houille, base de leur puissante industrie chimique.

Ils consentaient à vendre leur coke, mais refusaient impitoyablement de livrer à nos métallurgistes la houille que ces derniers auraient pu distiller eux-mêmes. Pour conquérir leur indépendance les Usiniers Lorrains ont fait d'énormes efforts : acquisition de concessions jusqu'à Aix-la-Chapelle, jusque dans la Ruhr et dans ce nouveau bassin de la Campine belge dont l'exploitation va commencer.

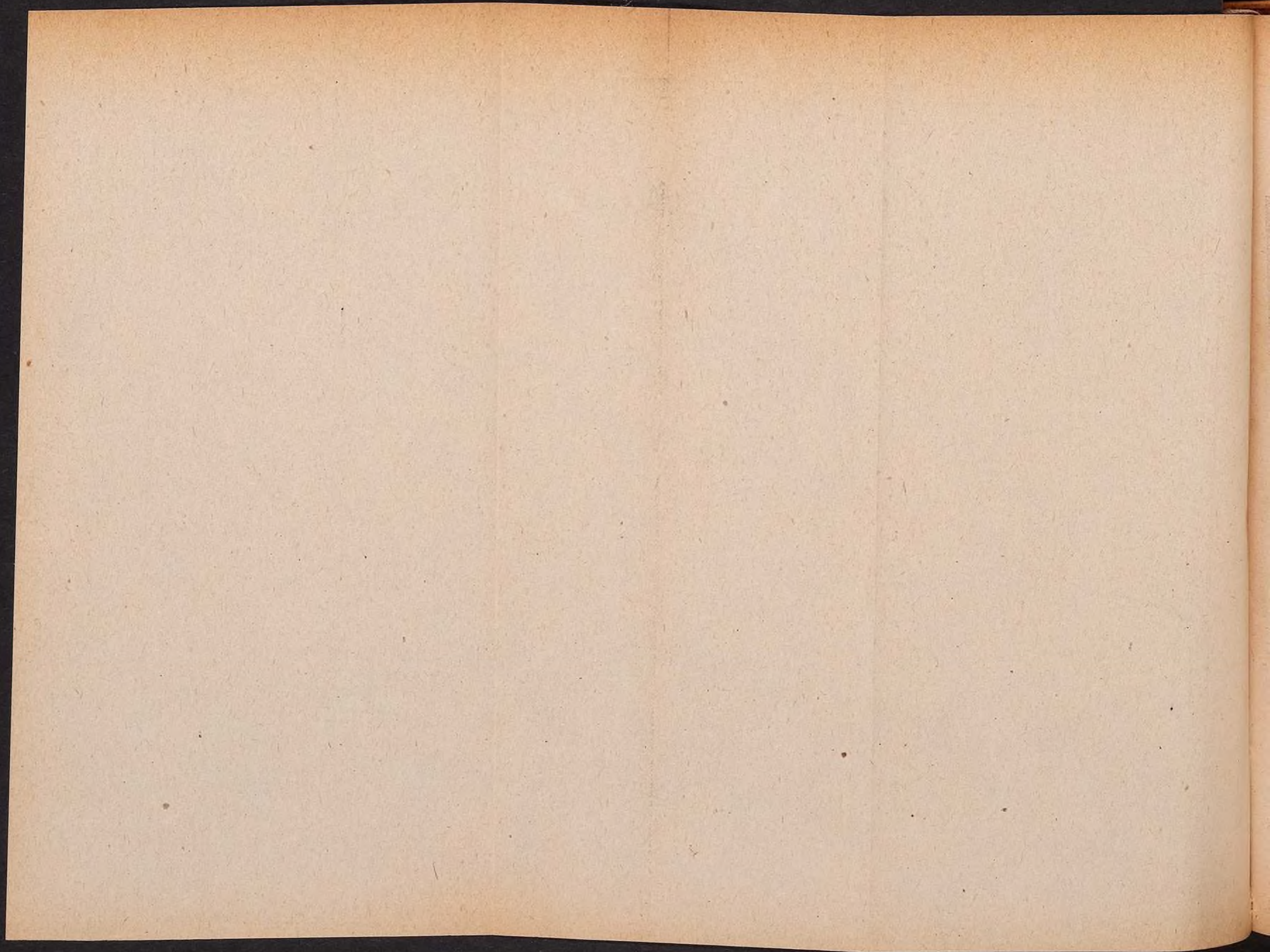
Vous voyez donc quelles dures conditions impose à notre industrie la disette de combustible et comment elle a déterminé la répartition géographique de notre métallurgie.

Vous allez voir la solution toute différente que l'extrême abondance de ce même combustible a fourni à la métallurgie allemande.

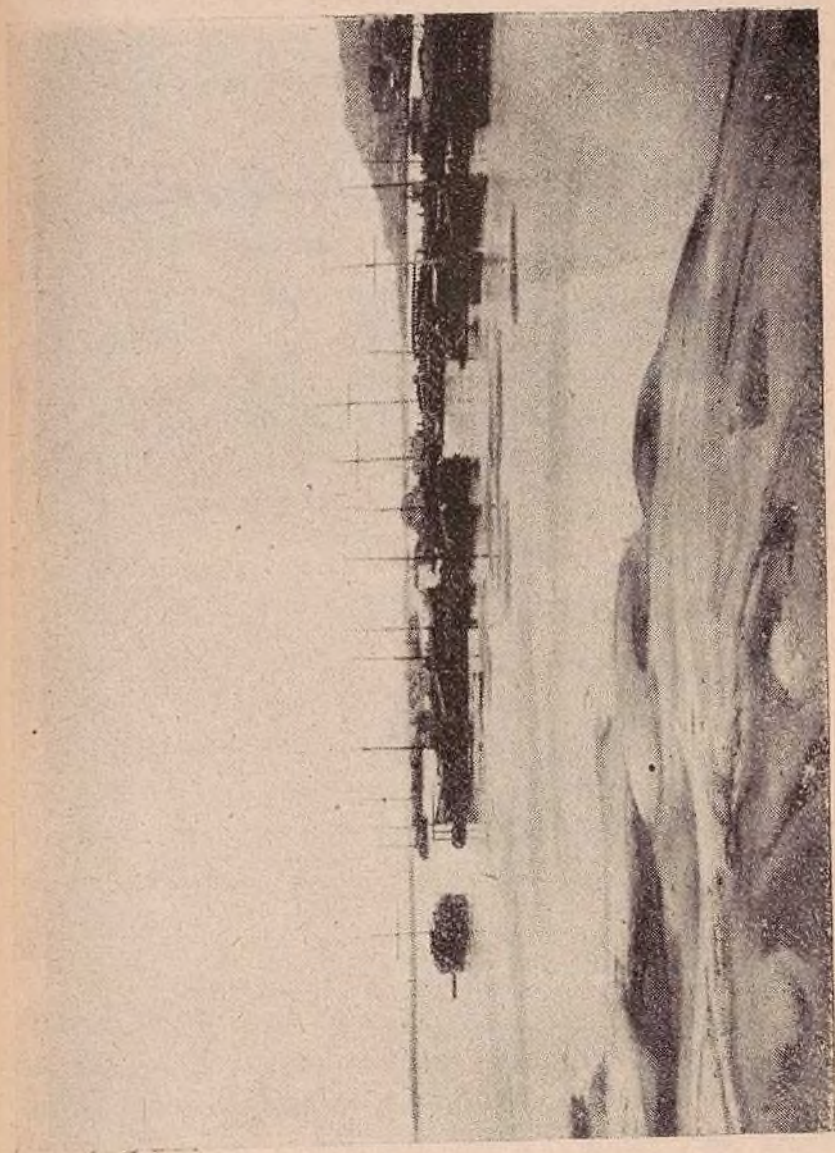
CAS DU BASSIN WESTPHALIEN.

Les Allemands, comme vous le savez, possèdent dans la Ruhr des gisements très riches de charbon à coke, gisements situés presque au bord d'un fleuve, port continu et magnifique ; c'est sur ces gisements et





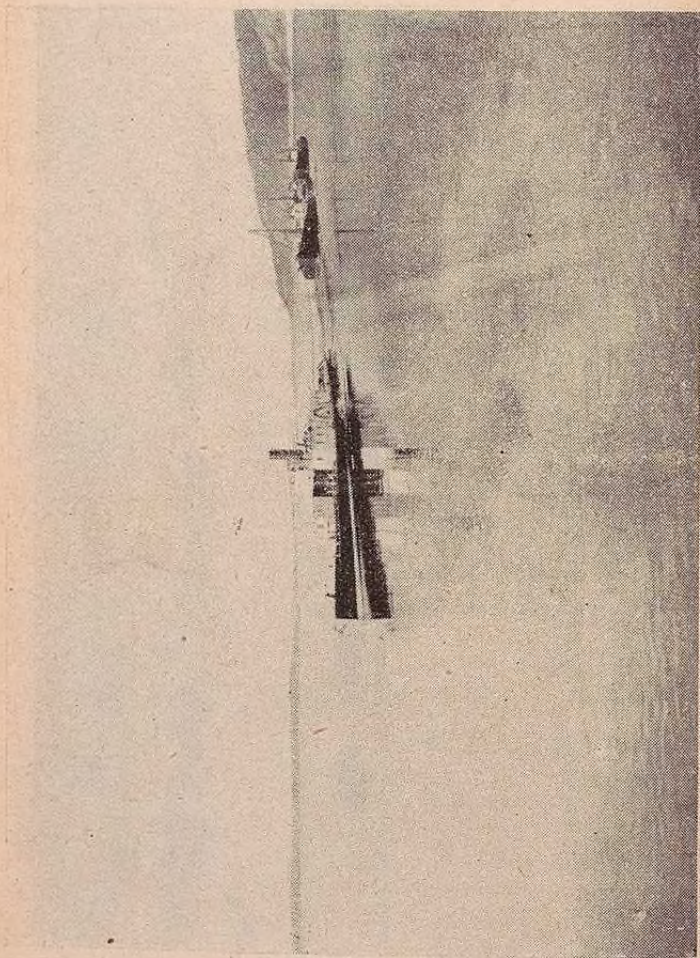
sur ce fleuve que s'élevèrent peu à peu de formidables Usines métallurgiques.



Bateaux citernes en bois chargés de naphte sur le Volga.

Le charbon est, en effet, avec les produits de sa distillation, une si large source de profit qu'il a appelé

à lui les minerais riches et pauvres non seulement du pays lui-même, mais du monde entier : manga-



Comot de naphte sur le Volga.

nèse du Caucase, hématites de Krivoï-Rog embarqués sur la Mer Noire, minerais d'Algérie, de Bilbao, des

Asturies, de Normandie, minerais de Suède, minerais du Canada, de Cuba même, s'acheminent vers le Rhin : déchargés à Rotterdam, avec ces installations mécaniques puissantes, ils remontent le fleuve dans des chalands qui redescendent ensuite avec du charbon vendu à l'exportation : le transport de la tonne ne coûtait avant la guerre que soixante-dix centimes de Rotterdam jusqu'aux usines de Westphalie où se traitaient ces minerais.

Distillant sa houille pour elle et pour ses voisins, auxquels elle ne consent à vendre que du coke, l'Allemagne accumule en même temps les matières premières d'une industrie chimique formidable, qui avant la guerre avait réussi à s'emparer peu à peu de tous les marchés du monde.

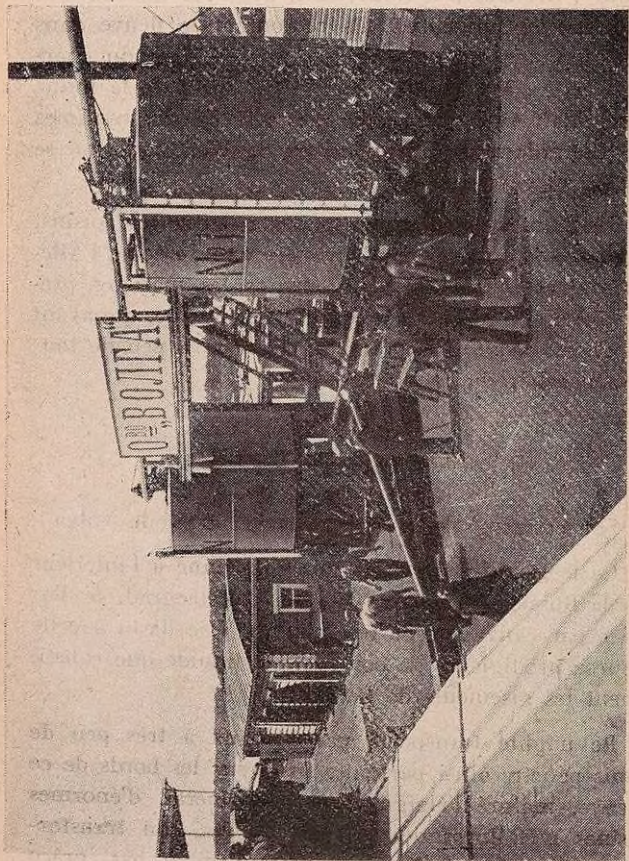
EXEMPLE DE LA RUSSIE.

Sur cette même carte vous voyez tracé le Volga :

Ce fleuve immense joint La Caspienné à l'intérieur de la Russie, si bien que Moscou et Petrograd, ce dernier par canaux, sont rejoints par voie d'eau à cette source prodigieuse de combustible liquide que constituent les gisements de Bakou.

Le naphte transporté par bateaux à très peu de frais pénètre ainsi partout ; aussi, sur les bords de ce fleuve, malgré l'éloignement du minerai, d'énormes usines métallurgiques se sont érigées, qui transforment en acier, à des prix excessivement bas, grâce au naphte, des fontes produites à des milliers de kilomètres de là.

Ainsi voici deux fleuves, alimentés l'un en charbon
par un bassin qui se développe sur un de ses affluents,



Travail d'entretien approvisionnant un bateau.

l'autre en naphte par la mer où il se jette, qui ont
attiré à eux, grâce à ces combustibles, les matières

premières, minerais ou fonte, de régions lointaines, et donné naissance, sur leurs rives, à une puissante industrie sidérurgique (1).

Ces trois exemples distincts vous montrent l'action économique du combustible sur la distribution géographique de l'industrie du fer.

Nous allons maintenant aborder son rôle plus immédiat à l'usine même.

II^e PARTIE

UTILISATION DU COMBUSTIBLE A L'USINE

On peut demander au combustible trois effets, qui se superposent souvent dans la même opération :

1^o Tout d'abord le chauffage, allant souvent jusqu'à la fusion ;

2^o La réduction du minerai, c'est-à-dire la décomposition, grâce au carbone, de l'oxyde de fer qui constitue le minerai et la mise en liberté consécutive du fer ;

3^o Enfin la création de puissance motrice.

1^o. — Le Chauffage.

L'emploi au chauffage du combustible sous forme solide est trop présent à toutes les mémoires pour que nous nous y arrêtions.

(1) Les deux autres centres métallurgiques de Russie sont l'Oural, situé à la fois sur le minerai et le bois, qui fabrique 20 % du fer total du pays et le bassin du Donetz, le plus important (60 %) placé sur le charbon et à 400 km des riches et purs minerais de Krivoï-Rog.

Mêlé à la matière à chauffer et brûlé à son contact, ce sera le cubilot, employé dans toutes les fonderies de fonte. Nous ne ferons que mentionner les fours où on le brûle dans un foyer indépendant sur une grille, à main, ou plus généralement mécanique. Mais je dirai quelques mots d'un procédé d'utilisation du combustible solide qui a pris aux Etats-Unis ces dernières années un développement considérable, et qui commence à se répandre en France.

Je veux parler du charbon pulvérisé.

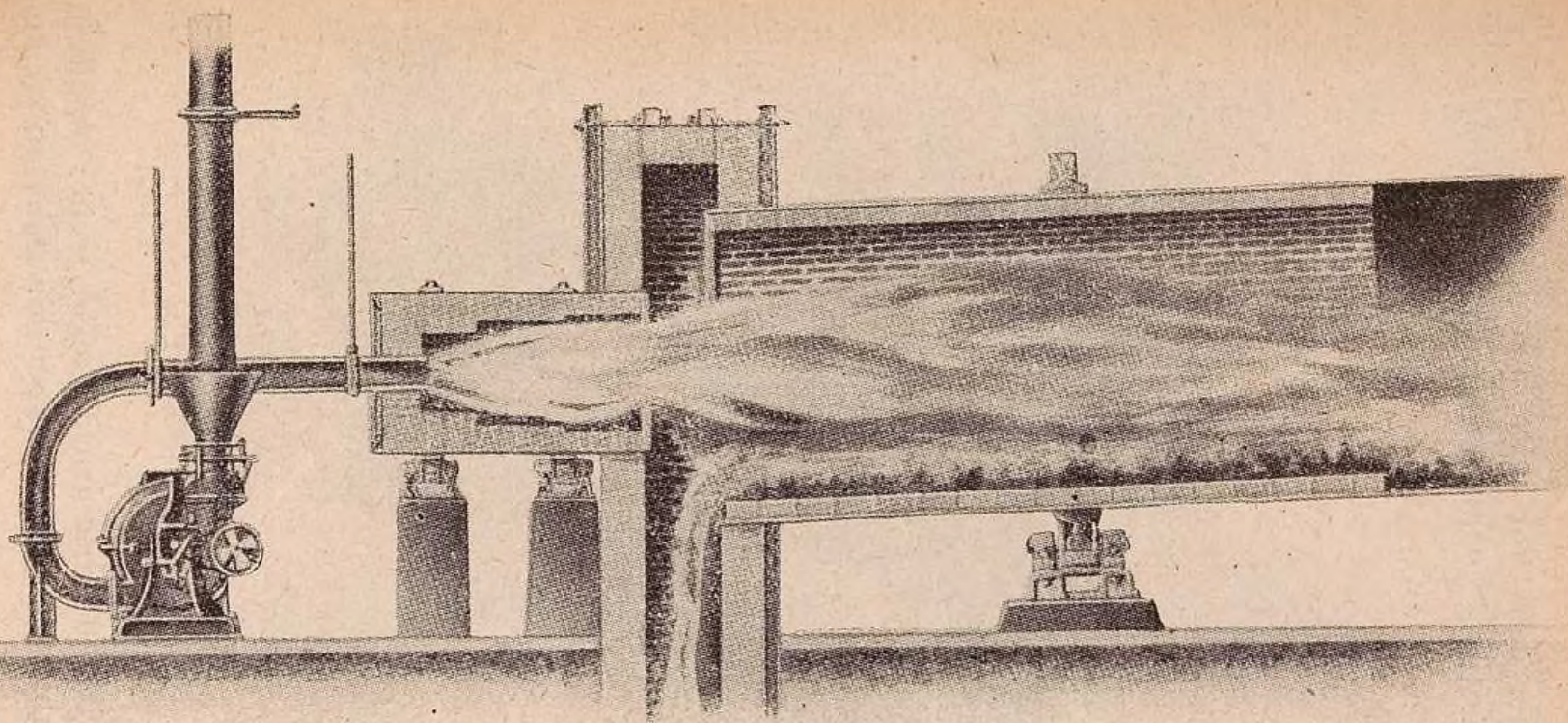
COMBUSTIBLE PULVÉRISÉ.

L'idée d'injecter le combustible en poudre avec l'air nécessaire à sa combustion remonte à Niepce, né à Chalon-sur-Saône, l'un des inventeurs de la photographie. Les avantages en sont évidents : qu'il suffise de dire que ce sont ceux du gaz ou des combustibles liquides, mazout, pétrole, etc..., combustion intégrale, flamme aisément réglable, allumage et extinction immédiats.

La figure ci-jointe prise dans une usine de La Courneuve, vous représente un appareil fort ingénieux et très répandu où le charbon est chargé dans un entonnoir puis distribué par un doseur à une petite boîte cylindrique, où des palettes le pulvérisent.

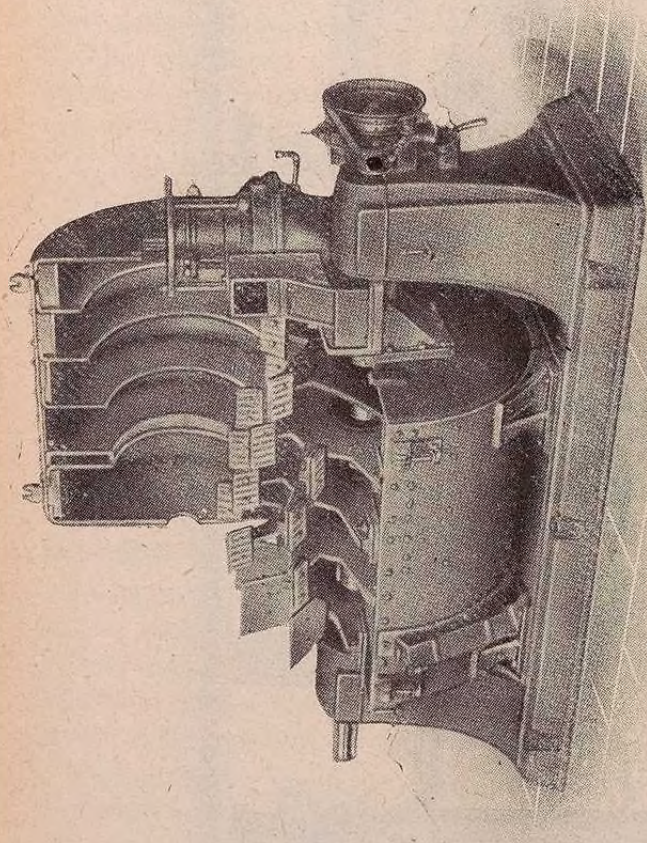
Un ventilateur monté sur le même arbre que les palettes et enfermé comme elles dans le cylindre aspire un courant d'air qui soulève les poussières formées et les injecte dans le four.

Mais les Américains ont poussé plus loin l'assimilation avec les combustibles fluides, en réussissant à



Chauffage à charbon pulvérisé.

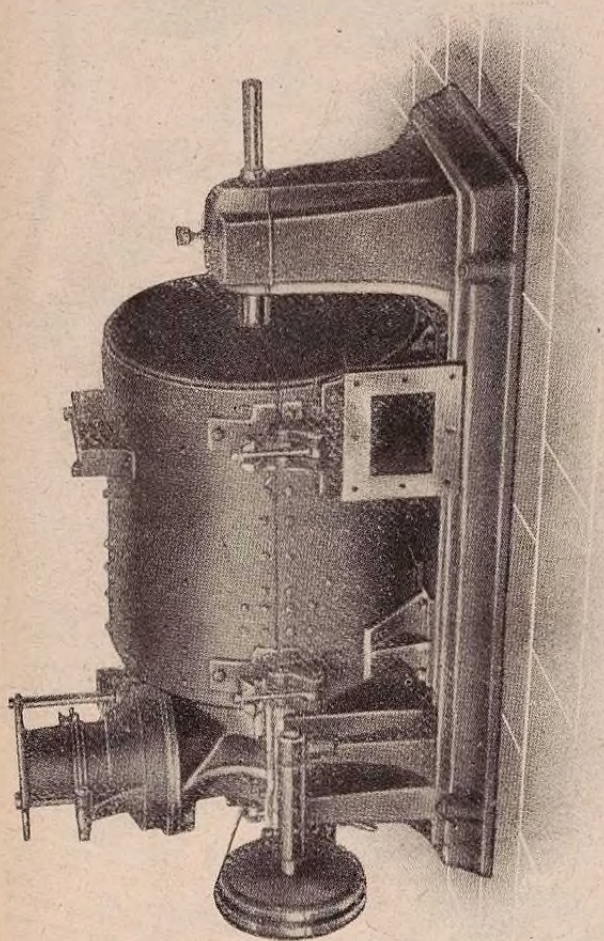
le distribuer dans une usine aux différents fours par des canalisations comme le gaz ou le mazout.



Aéro-pulvérisateur ouvert.

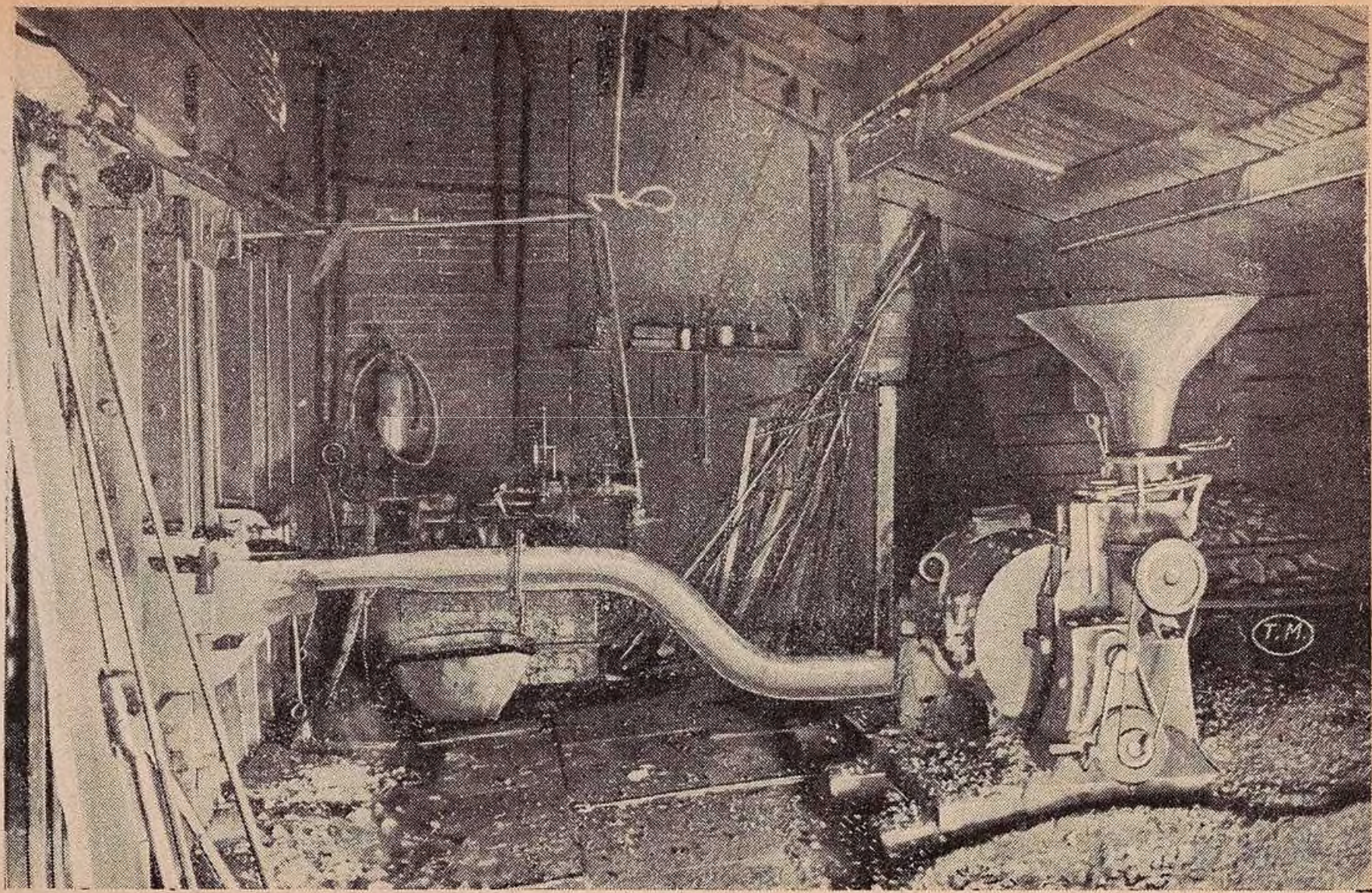
Le charbon d'abord parfaitement séché, ce qui est indispensable, est mis en suspension dans un courant

d'air qui ne doit jamais arrêter, sans quoi la poussière s'accumulerait dans les coudes et formerait



Aéro-pulvérisateur fermé.

bouchon. On a donc un circuit fermé, une boucle où le combustible est toujours en mouvement, et sur



Aéro-pulvérisateur chauffant un four métallurgique.

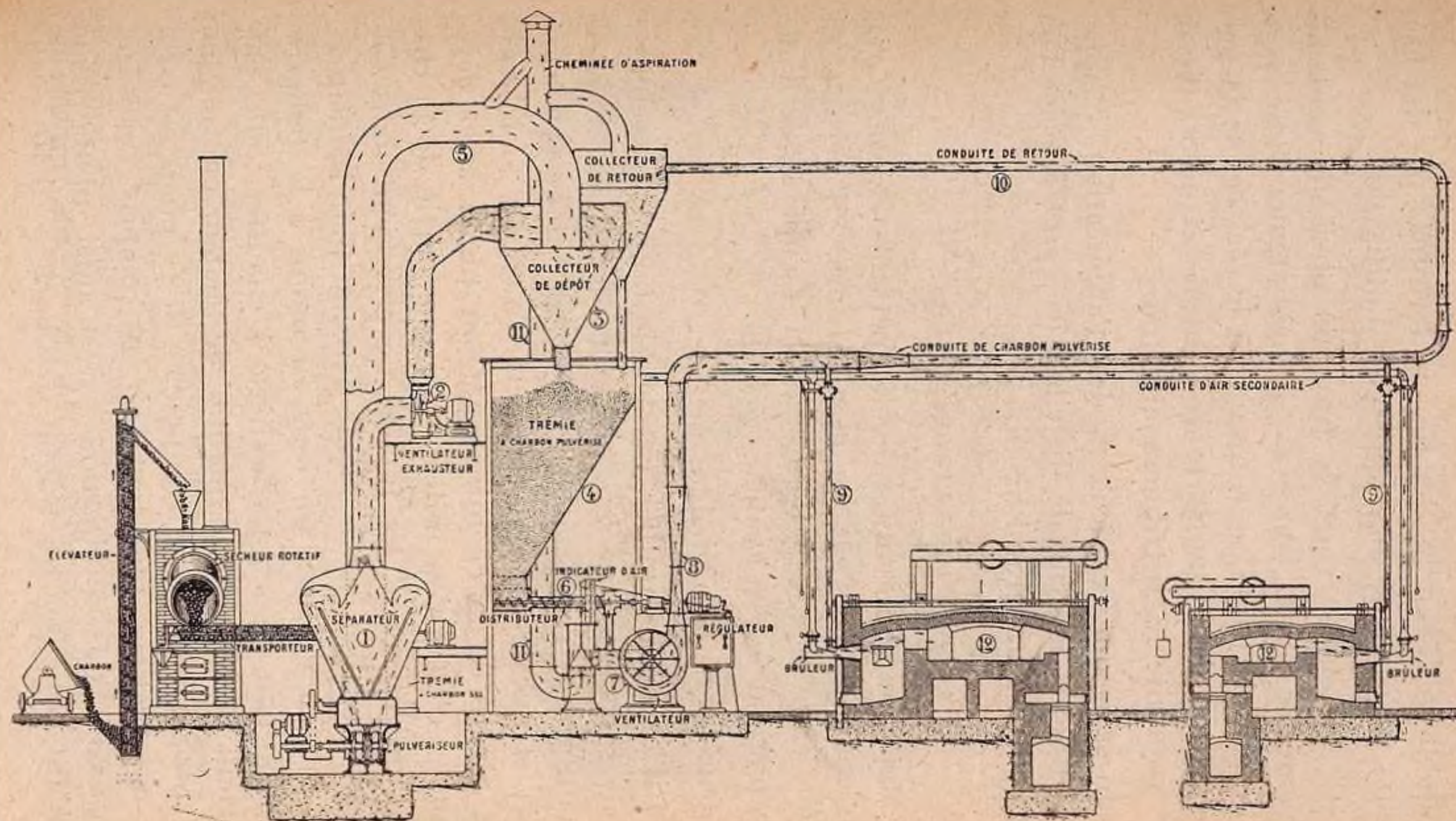


Schéma d'une centrale distribuant le charbon pulvérisé

laquelle on branche des tuyaux terminés par des brûleurs se rendant aux appareils d'utilisation.

Ce système permet de franchir plusieurs centaines de mètres ; vous concevez immédiatement que pour une grande usine on concentrera le séchage et la pulvérisation dans une sorte de Centrale et qu'un réseau de conduite le distribuera aux fours.

Je crois que ces deux modes d'application, l'appareil isolé et la centrale distributrice, sont appelés l'un et l'autre à un grand avenir.

CHAUFFAGE AU GAZ.

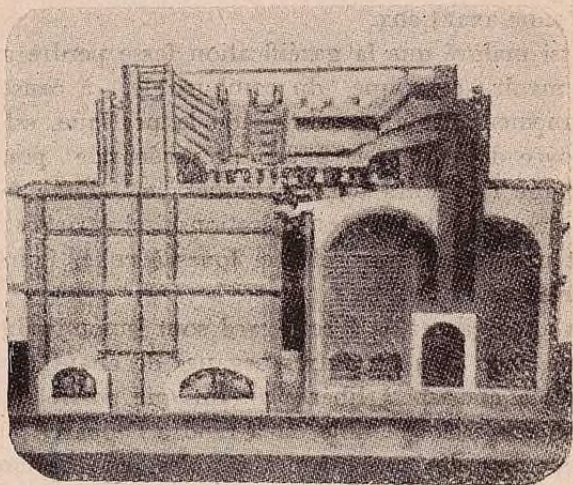
Mais pour l'obtention des températures élevées, c'est au chauffage au gaz qu'on a recours : il permet, en effet, comme vous le savez, la récupération d'une grande partie des chaleurs perdues.

Qu'appelle-t-on chaleur perdue ?

Un exemple familier va vous le faire comprendre : vous savez tous qu'une bûche brûlée dans un poêle chauffe mieux la chambre que brûlée dans la cheminée, et que le résultat est meilleur encore si le poêle est séparé de la cheminée par un tuyau assez développé ; c'est qu'on utilise ainsi une partie de la chaleur qu'autrement les fumées déverseraient dans l'atmosphère. Il en est de même dans un four industriel : les fumées quittent un four au moins à la température où l'on a porté les matières à chauffer ; elles emportent de ce fait une quantité de chaleur énorme qui est proportionnelle à leur poids ; or ce poids est celui du combustible, plus tout l'air, y compris l'excédent nécessaire à la combustion ; c'est ainsi qu'une usine brûlant par jour un wagon de charbon jette dans

l'atmosphère l'équivalent de quinze wagons de fumées.

Or William Siemens, vers 1860, eut l'idée, au lieu de laisser partir ces fumées à la cheminée, de les faire passer dans deux chambres à travers une masse de briques disposées en chicanes, et qu'elles portaient au rouge en leur abandonnant la plus grande partie de



Four Martin.

leur chaleur ; puis de réchauffer simplement par le passage inversé à travers lesdites chambres, l'air et le gaz qu'on emploie à chauffer le four : portés ainsi à 1000° cet air et ce gaz dégagent par leur combustion une température beaucoup plus élevée que s'ils étaient froids, ce qui diminue considérablement la dépense en combustible nécessaire.

Mais outre cette économie, qui est considérable et atteint souvent 50 %, il faut bien se pénétrer de ce

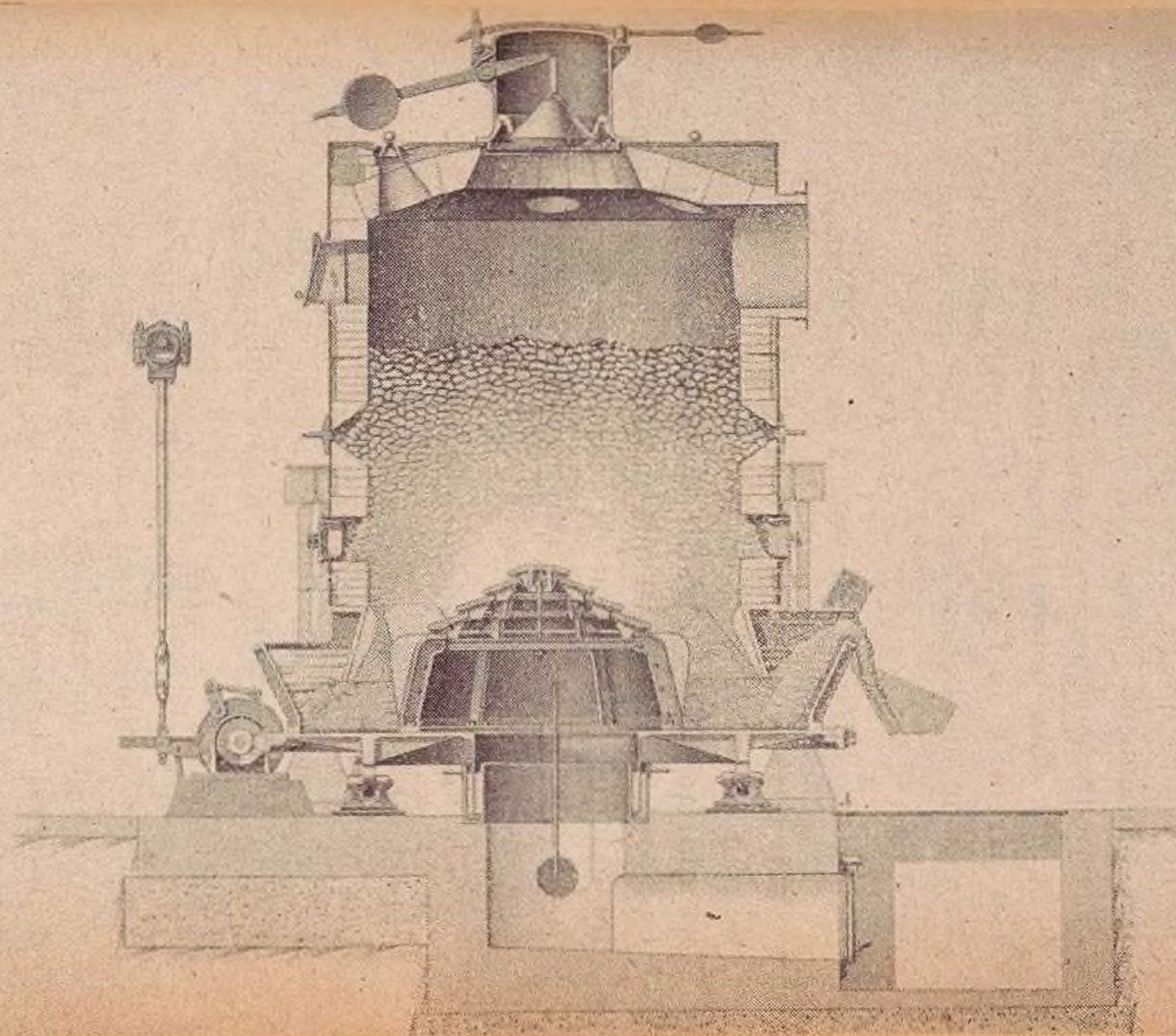
fait que l'élévation de température obtenue par ce chauffage préalable du combustible et du comburant a permis des opérations métallurgiques que l'emploi du charbon rendaient à peu près impossibles ; la grande découverte des frères Martin a été d'appliquer à la fabrication de l'acier la régénération de la chaleur imaginée par Siemens. On fond maintenant par charges de 60, 70 et 100 t. l'acier dont on n'aurait pu fondre une tonne avant eux.

Aussi malgré que la gazéification fasse perdre 25 % du pouvoir calorique du combustible, à cause du rayonnement des appareils où on la pratique, est-elle employée d'une façon à peu près générale pour le chauffage des fours métallurgiques et d'une façon identique pour toutes les opérations industrielles exigeant une température élevée, fours à coke, fours de verrerie, etc.

Les appareils créés à cet égard sont innombrables ; comme pour tous les autres organes de chauffage, le progrès a consisté à libérer autant que possible l'ouvrier d'une tâche pénible, et à rendre l'appareil automatique par des mécanismes simples, en confiant à son conducteur un travail de surveillance et non de muscles.

Voici à cet égard la figure d'un appareil moderne :

C'est un cylindre étanche en tôle, de 3 à 4 m. de diamètre avec revêtement de briques réfractaires et dont la partie inférieure repose sur une cuve d'eau formant joint hydraulique. Le charbon est chargé à intervalles réguliers par une trémie à double fermeture. La grille en forme de cône à gradins à travers laquelle est insufflé l'air est animée d'un mouvement tournant très lent (de quelques tours par heure grâce



auxquels les cendres et machefers sont brassés, brisés, et tombent dans la cuve d'eau ; celle-ci tournant en même temps que la grille, les cendres sont évacuées très simplement par un soc immobile contre lequel elles viennent s'amasser.

Le gaz ainsi obtenu donne en brûlant 1.200 calories par m³ : on l'appelle gaz pauvre par opposition au gaz de distillation de la houille qui donne 5.000 calories.

GAZ DES HAUTS FOURNEAUX ET DES COKERIES.

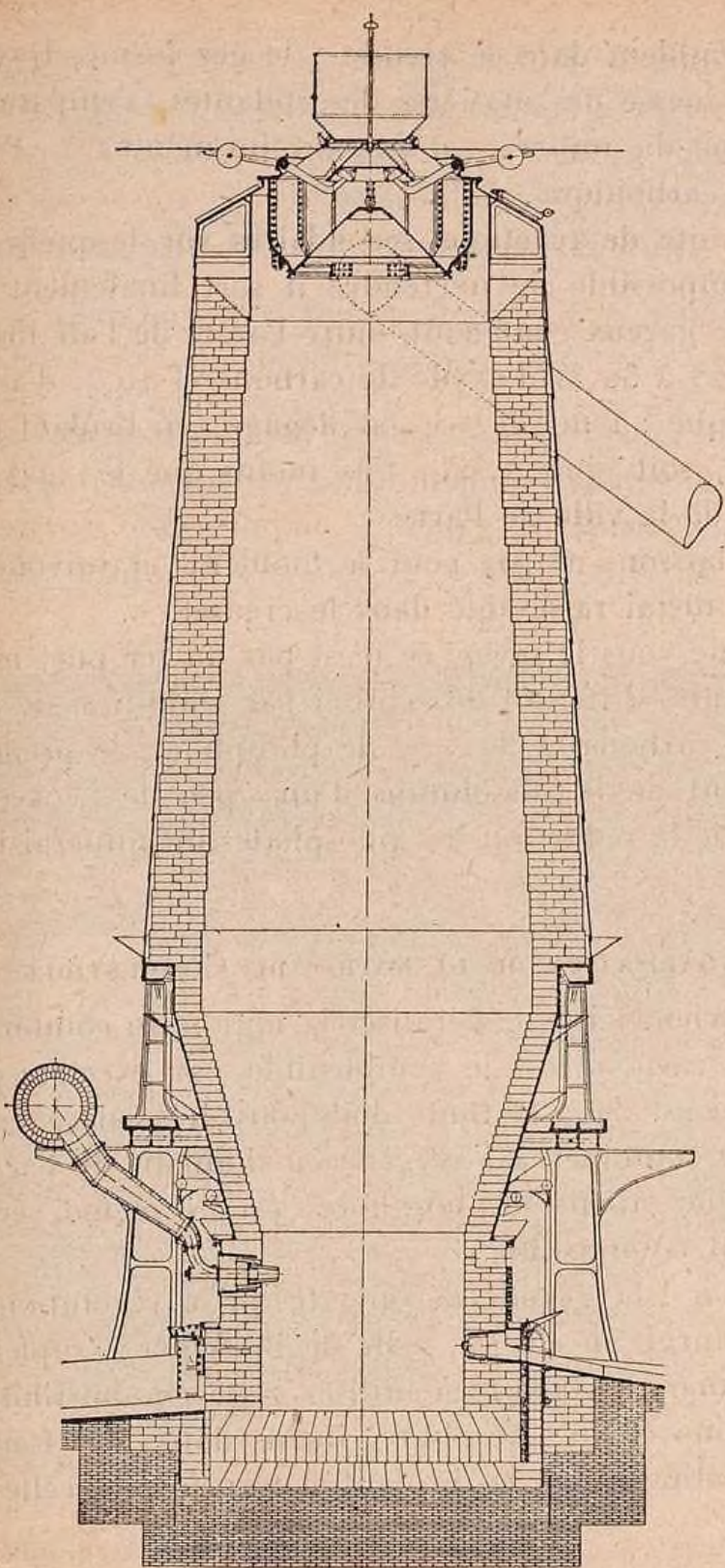
Mais la fabrication du gaz pauvre tend à disparaître de plus en plus des usines métallurgiques ; toutes celles qui travaillent à partir du minerai et fabriquent leur fonte elles-mêmes, ont en effet à leur disposition les gaz qui s'échappent de leurs hauts fourneaux et dont nous allons parler, car nous arrivons au rôle du combustible en tant qu'agent réducteur.

2° La Réduction du Minerai.

Le haut fourneau est l'engin essentiel de la réduction, c'est-à-dire de l'opération qui consiste à arracher à l'oxyde de fer son oxygène, grâce à l'affinité plus grande du carbone, et à mettre ainsi en liberté le métal.

La coupe schématique vous montre dans les grandes lignes comment il est constitué : les matières sont chargées par lits alternatifs : 5 t. de coke, puis 15 t. de minerai et ainsi de suite ; la conicité de la partie supérieure favorise leur descente.

Lorsque le coke arrive à la partie inférieure, il est brûlé à l'état d'oxyde de carbone, et la chaleur dégagée par sa combustion fond le métal et la scorie qui



se rassemblent dans le creuset ; le gaz formé, traversant la masse des matières descendantes, s'empare de l'oxygène du minerai en passant lui-même à l'état d'acide carbonique.

Par suite de réactions secondaires sur lesquelles il m'est impossible de m'étendre il sort finalement un mélange gazeux contenant, outre l'azote de l'air insufflé, de 28 à 30 % d'oxyde de carbone et 10 % d'acide carbonique : 1 m³ de ce gaz dégage en brûlant 900 calories, soit cinq à six fois moins que le gaz de houille de la ville de Paris.

Mais laissons ce gaz pour le moment, et suivons le sort du métal rassemblé dans le creuset.

Comme vous le savez, ce n'est pas du fer pur, mais de la fonte, différant de celui-ci par l'addition de 3 à 4 % de carbone et de 2 % de phosphore, le premier provenant de la dissolution d'un peu de coke, le second de la réduction des phosphates du minerai lorrain.

GÉNÉRALISATION DE LA NOTION DU COMBUSTIBLE.

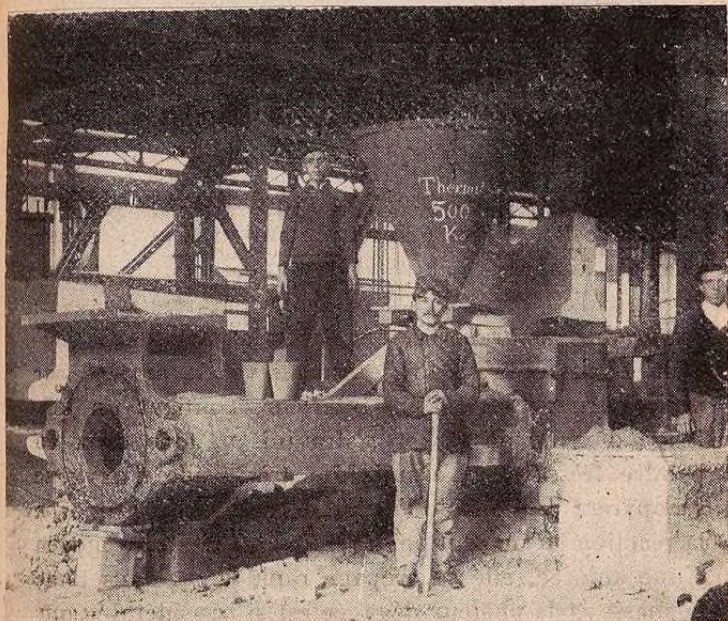
Il convient ici de généraliser la notion du combustible : le carbone est le combustible par excellence ; celui qui est dans la fonte doit pouvoir brûler, c'est-à-dire se combiner à l'oxygène en donnant de l'acide carbonique ; mais le phosphore est lui-même éminemment combustible.

Eh bien ! la grande découverte qui a révolutionné la métallurgie de l'acier, celle de Bessemer complétée par Thomas, a consisté à utiliser cette combustibilité du carbone et du phosphore, inclus dans la fonte, pour les éliminer en les brûlant et transformer celle-ci en acier.

Comme vous le savez, cette opération se fait dans un engin appelé convertisseur ou cornue Bessemer, vous la verrez tout à l'heure se dérouler sur un film, mais pour que vous l'y saisissiez mieux, je veux vous en montrer le principe sur le schéma que voici :

*L'opération Bessemer basique : le phosphore
comme combustible.*

La figure représente une cornue Bessemer capable de traiter chaque vingt minutes une charge de trente tonnes de fonte liquide. Elle est en tôle forte et garnie de briques réfractaires en dolomie. Le fond,



Aluminothermie. — Réparation d'une grosse pièce de fonderie.

percé d'un grand nombre de trous, permet d'insuffler l'air à travers la fonte liquide et la pression d'air empêche le métal de s'introduire dans les trous ; on incline la cornue pour charger la fonte sans qu'alors le niveau atteigne le fond perforé, et on souffle avant de redresser. Le carbone brûle d'abord, après lui le phosphore, et l'acide phosphorique formé se combine à la chaux qu'on a chargée avec le métal.

Ainsi donc nous venons de voir que le phosphore joue ici exactement le rôle réchauffant, le premier rôle que nous ayons assigné au combustible.

Une très intéressante application, née une dizaine d'années avant la guerre, va nous montrer un métal, l'aluminium, jouer le rôle de combustible sous deux aspects réunis : générateur de chaleur, et réducteur de minéral.

*Aluminothermie : l'aluminium jouant le rôle
de réducteur et de réchauffeur.*

Les photographies projetées représentent l'application de cette méthode à la réparation d'une grosse pièce de fonderie et au soudage des rails de tramways. Il s'agit d'en réunir les deux bouts par une masse de fer fondue, assurant la continuité de passage du courant. L'entonnoir en tôle que vous voyez, protégé par un garnissage réfractaire intérieur, contient un mélange d'oxyde de fer et d'aluminium, tous deux en poudre très fine. L'aluminium très avide d'oxygène s'emparera de celui de l'oxyde de fer : si on provoque la réaction en un seul point, ce qui est facile au moyen d'une amorce, elle se propage rapidement dans toute la masse et la chaleur dégagée est si considérable que le fer réduit est liquéfié, l'alumine elle-même résul-

tant de la réaction est fondue, et le métal coulant par le bas dans un moule préparé autour du joint, englobe les rails et les soude.



Aluminothermie. — Soudure des rails.

C'est en somme un minuscule haut fourneau où le coke serait remplacé par de l'aluminium.

Ainsi donc le rôle de combustible est joué dans ces deux cas, ici par le phosphore, là par l'aluminium.

Dans l'acier moulé préparé au petit convertisseur, ce rôle serait joué par le silicium de la fonte à transformer.

Mais si nous remontons à l'origine, nous retrouvons toujours le carbone : phosphore, aluminium, silicium, ne se trouvent en effet dans la nature que sous forme d'oxydes, et pour les isoler il a fallu antérieurement l'intervention du carbone, agissant comme réducteur au haut fourneau pour incorporer à la fonte les deux métalloïdes, agissant avec le concours de l'énergie électrique, sur l'alumine pour séparer l'aluminium.

Ce sont en somme des combustibles de seconde main auquel le carbone originaire a délégué une part de son rôle, rôle dont nous savons différer l'action jusqu'au moment où nous avons besoin de la provoquer.

UTILISATION DU GAZ DE HAUT FOURNEAU

Mais revenons au gaz de haut fourneau, dont nous avons dit un mot tout à l'heure.

Il se dégage donc par tonne de fonte produite, 4.500 m³ d'un gaz contenant 28 à 30 % d'oxyde de carbone ; ainsi un haut fourneau produisant 200 t. de fonte par vingt-quatre heures, dégagera par heure environ 40.000 m³ de gaz combustible.

Il semble donc qu'on ait bien mal utilisé le carbone introduit dans cet appareil, puisqu'il n'en sort pas complètement brûlé ; en fait 55 % du pouvoir calorifique du coke se retrouve dans ces gaz : c'est donc moins de la moitié qu'on utilise dans le haut fourneau.

Les efforts déployés pour arriver à une combustion intégrale du coke composent l'histoire sidérurgique de la première moitié du XIX^e siècle.

Pensant que cette réaction incomplète du minéral sur l'oxyde de carbone tenait à un contact insuffisamment prolongé, on a élargi les hauts fourneaux

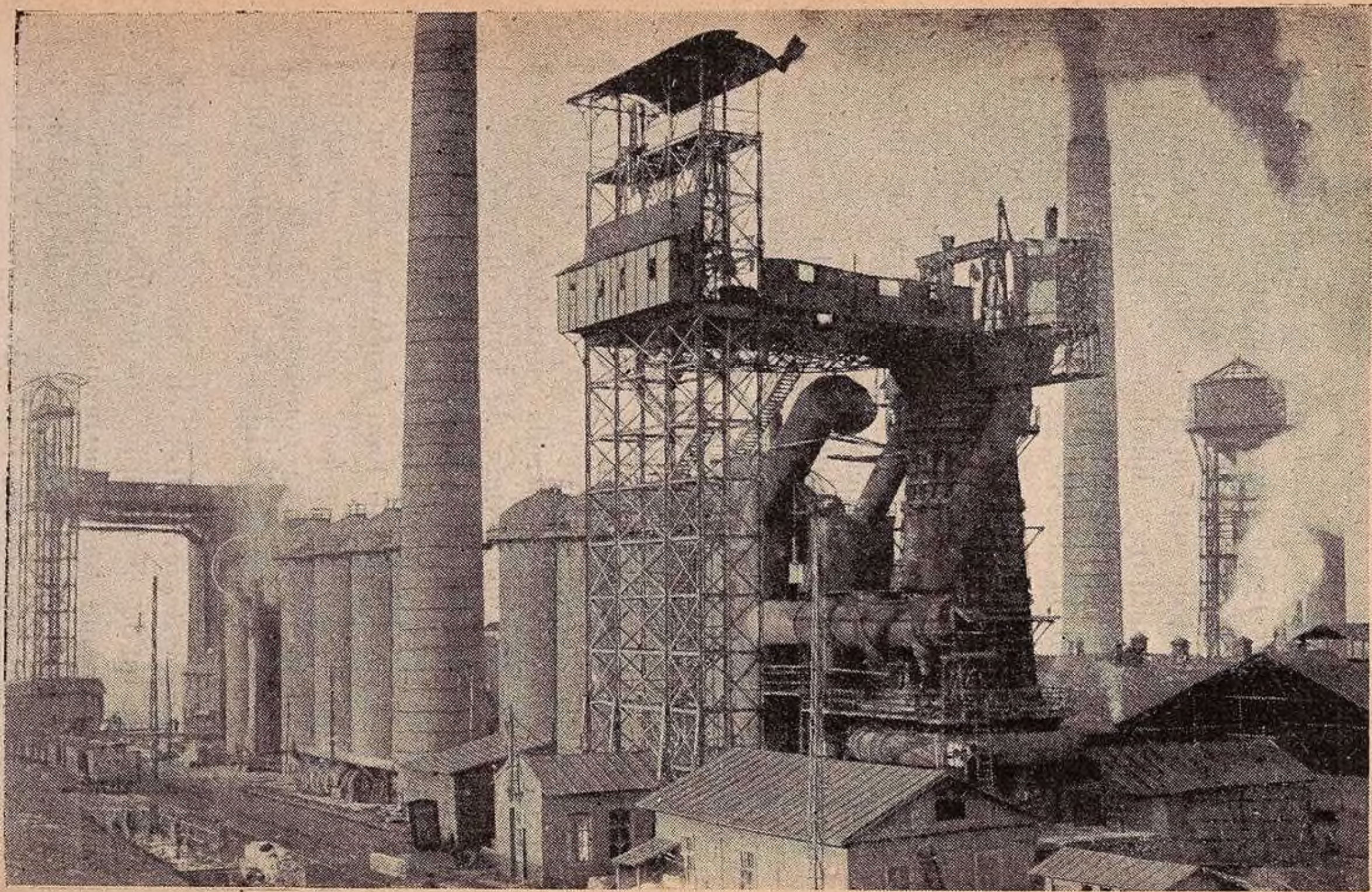
et on en a augmenté la hauteur. Ces appareils monstres, qui avaient jusqu'à 30 m. d'élévation ont donné exactement la même proportion d'oxyde de carbone.

Abrégeons tout de suite en disant que la découverte des lois des équilibres chimiques, c'est-à-dire des réactions limitées par la réaction contraire, est venue plus tard établir la stérilité de ces efforts coûteux : quoiqu'on fasse, les gaz sortant du haut fourneau contiendront de l'oxyde de carbone, il faut s'y résigner.

Mieux vaut essayer d'en tirer parti que de lutter contre son existence inéluctable.

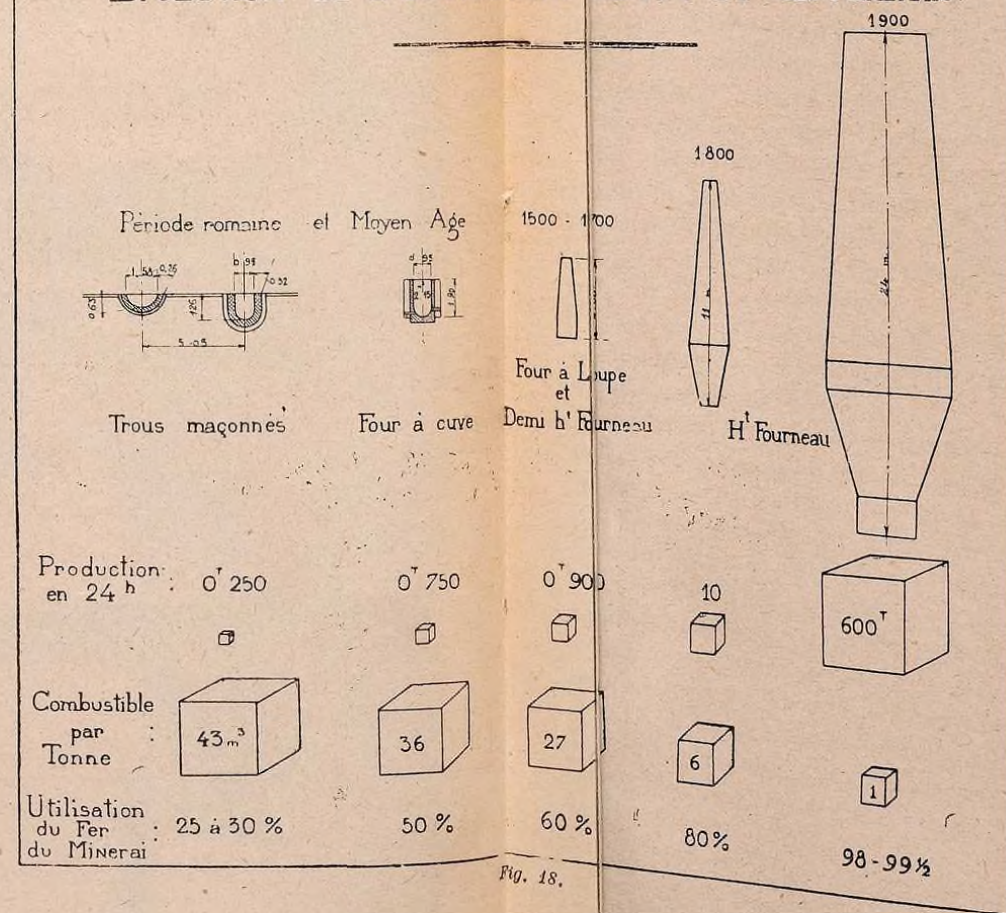
Aussi bien, est-ce de l'utilisation de plus en plus avancée de cet oxyde de carbone que sont sortis les grands progrès de la sidérurgie depuis un siècle ; en premier lieu, on l'a appliquée au chauffage des divers fours et comme toute charité bien ordonnée commence par soi-même, c'est pour le chauffage de l'air insufflé dans le haut fourneau qu'on s'en est d'abord servi. Les premiers appareils imaginés à cet effet étaient composés de tuyaux de fonte disposés dans une chambre en maçonnerie et chauffés par la flamme des gaz brûlés, tandis que la machine soufflante y injectait l'air destiné au haut fourneau. Mais on ne portait ainsi l'air qu'à 350-400°. Vers 1860, on appliqua les principes de la régénération de la chaleur trouvés par Siemens et on utilisa les appareils à briques.

Ce sont ces vastes cylindres en tôle, coiffés d'une demi-sphère qu'on remarque au nombre de quatre auprès de chaque haut fourneau ; actuellement on leur donne 7 m. de diamètre et 30 m. de hauteur ; ils contiennent chacun un poids de 1.500 t. de bri-



Essentiel de Haut Fourneau et d'appareils Compers.

EVOLUTION DE L'EXTRACTION DU FER DE SES MINERAIS.



ues,
e la
Tro
air à
er à
in
800
Un
nen
me
rme
e l'
Cett
plus
cok
e s
a d
qu'
n
d
re
es
er
co
nfin
era
gie
aut
a s
é l
C'
froy
re c

es, disposées en chicane de façon à offrir au léchage la flamme, puis de l'air, une surface de 7.500 m². Trois, servent en même temps, dont un où passe l'air à chauffer, deux où l'on brûle le gaz pour l'amener à la température voulue. Chaque demi-heure intervient ; de cette façon, on arrive à porter l'air à 100° avec des variations ne dépassant pas 50°.

Un calcul simple montre que pour 100° d'échauffement on économise en moyenne 50 kg de coke par tonne de fonte. On voit donc que cette application permet d'économiser 400 kg, c'est-à-dire 40 % de ce qu'on dépense actuellement.

Cette économie de combustible a été de beaucoup plus importante de celles qui ont abaissé la dépense de coke par tonne de fonte.

Le schéma indique dans les grandes lignes l'évolution du traitement du minerai, depuis le bas foyer jusqu'aux hauts fourneaux modernes.

Il montre la croissance progressive de la production des appareils imaginés par l'homme, pour extraire le fer de ses minerais et qui dérivent, par de nombreuses transformations, du plus primitif de tous. On voit en même temps comment a décru avec ce progrès constant, la quantité de combustible nécessaire. Enfin, la dernière ligne montre que l'utilisation du minerai, encore très mauvaise à l'origine de la sidérurgie historique, est devenue presque intégrale avec le haut fourneau actuel (1).

La seconde utilisation des gaz de hauts fourneaux a été la production de force motrice, et à ce propos

(1) C'est par l'analyse des scories trouvées auprès des foyers de l'époque romaine qu'on a pu déterminer le rendement de minerai imparti dans les opérations des anciens.

nous arrivons au troisième rôle dévolu au combustible.

3° Production de Puissance Motrice.

La puissance nécessaire aux Aciéries modernes est considérable : une usine produisant 1.000 t. par jour de produits laminés nécessite la mise en œuvre d'environ 30.000 HP.

La compression de l'air nécessaire au soufflage des hauts fourneaux, au soufflage des convertisseurs, le pompage de l'eau, les manutentions et le roulage, en absorbent déjà beaucoup, mais c'est surtout le lami-noir qui est le gros consommateur.

Je vous disais tout à l'heure que la métallurgie était née dans la forêt au contact du minerai, et du combustible ; mais même à ses timides débuts, elle n'a pu se développer qu'avec un troisième élément naturel qui lui permit le forgeage de ses produits très imparfaits, véritables éponges de fer d'où il fallait expulser la scorie ; gisement de minerai, bois de la forêt et cours d'eau pour actionner une roue hydraulique et un martinet, voilà les trois éléments sur lesquels elle a vécu pendant des siècles.

Lorsque grâce à Denis Papin et à Watt on sut tirer la force motrice de la vapeur, la métallurgie fut la première à en profiter et devint de ce fait une grosse mangeuse de charbon. Dès qu'elle sut brûler les gaz combustibles qui s'échappaient de ses hauts fourneaux, elle les appliqua naturellement au chauffage des chaudières, économisant ainsi partie du charbon ; je ne dirai rien de cet emploi qui se conçoit aisément, mais vers 1895 commença une grande révolution dans l'utilisation des gaz de hauts fourneaux, dont le résul-

tat fut de tripler la puissance motrice qu'ils pouvaient fournir.

On connaissait depuis Lenoir, c'est-à-dire depuis 1850, le moteur à gaz pauvre, utilisant le gaz pauvre à 1.200 calories. Comment se fait-il que pendant les quarante-cinq ans qui suivirent personne n'ait eu l'idée d'y essayer ce gaz abondant de haut fourneau ?

C'est un fait que je livre à vos méditations. Il semble que pour susciter les grandes découvertes, il faille l'éclair d'imagination d'un esprit étranger à l'industrie où elles devraient naître spontanément.

Je tiens d'un Ingénieur ami, qui assista personnellement à la naissance du moteur à gaz de hauts fourneaux, les détails inédits que je vais vous donner d'après son propre récit :

« En 1894, la Société Cockerill, qui possède près de Liège une vaste Usine métallurgique avec de très puissants ateliers de constructions, se préoccupait d'étendre la clientèle de ces derniers et elle se demandait si elle se lancerait résolument dans la construction des machines à vapeur surchauffée, ou si elle entreprendrait la construction de gros moteurs à gaz pauvre, mais sans songer le moins du monde à alimenter ces derniers au gaz de haut fourneau, qu'elle voyait cependant brûler chaque jour dans ses chaudières. Or à cette époque, les plus gros moteurs (ils n'étaient guère que de 100 HP), étaient ceux que construisait à Rouen l'ingénieur Delamarre-Deboutville. Au printemps de 1895 une mission lui fut envoyée, puis lui-même vint en Belgique à l'Usine Cockerill. Après avoir traité la licence de ses brevets il visita l'usine en curieux ; c'était la première fois qu'il voyait des hauts fourneaux, et remarquant un gaz qui brû-

lait à la partie supérieure, il s'écria : « Mais ce sont comme de gros gazogènes ? Si on essayait d'alimenter des moteurs avec ces gaz ? » Les Ingénieurs qui l'accompagnaient, étonnés et quelque peu sceptiques, objectèrent le faible pouvoir calorifique de ce gaz, qui n'atteignait que les trois quarts de celui du gaz pauvre ordinaire et obligeait à entretenir un petit foyer de charbon sous les chaudières pour assurer sa combustion permanente.

« Mais l'essai valait la peine d'être tenté, quitte à enrichir le gaz par de l'essence s'il était trop pauvre pour l'emploi direct au moteur. Delamarre rentré à Rouen expédia à Cockerill un petit moteur de six à huit chevaux ; il fut mis en marche avec du gaz de hauts fourneaux seul, tel qu'on l'employait aux Cowpers et aux Chaudières, le 27 décembre 1895. La Société avait pris ses brevets le 15 mai, ignorant d'ailleurs les essais que poursuivait Thwaite en Angleterre sur le même sujet (1). »

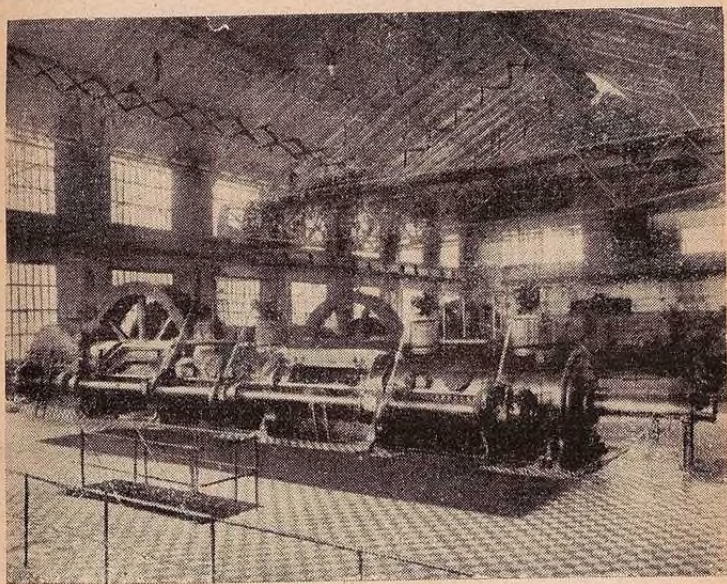
Le petit moteur donna toute satisfaction pendant deux ans.

En 1897, la Société Cockerill en construisit un de 200 HP puis, aussitôt après, une machine soufflante de 1.000 HP qui fit l'admiration de visiteurs de notre Exposition Universelle de 1900.

L'essor que prit cette nouvelle application fut extraordinaire et je ne crois pas qu'il y ait d'exemple d'un développement aussi rapide et aussi général.

(1) Thwaite avait breveté le nettoyage des gaz de hauts fourneaux le 2 mai 1894, et en février 1895 il installait un petit moteur marchant avec ce gaz à Wishau. C'est donc à lui que remonte la priorité de l'application, mais il ne l'a pas développée.

Et cela est facile à concevoir : car le rendement thermique du moteur à gaz est à peu près deux fois et demi celui de la machine à vapeur avec sa chaudière, si bien qu'un haut fourneau produisant 200 t. de fonte après avoir prélevé sur son propre gaz ce qu'il lui faut (soufflage, monte-charges, pompes, etc.), pourra livrer aux autres services de l'Usine 6.000 à 6.500 chevaux s'il utilise ces gaz dans des moteurs, et 2.000 à 2.500 chevaux seulement s'il l'utilise dans des turbines à vapeur.



Moteur à gaz de Haut Fourneau.

Grâce à cette source abondante d'énergie, l'usine métallurgique s'est en quelques années complètement transformée : si des vieilles usines la vapeur n'a pas

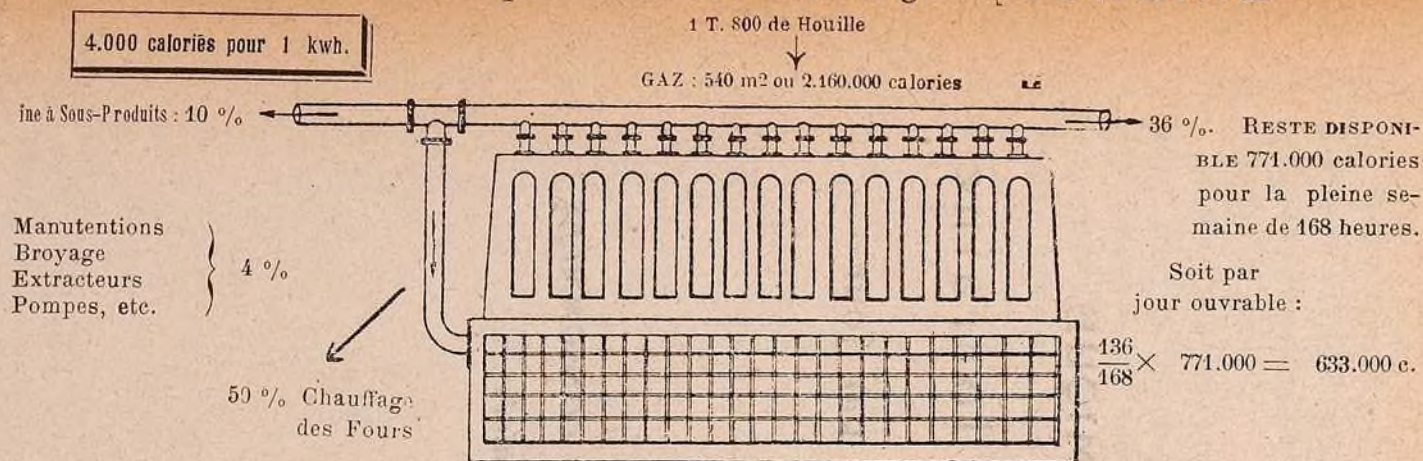
été tout à fait bannie, du moins les plus récentes se sont-elles édifiées sans une seule machine à vapeur, avec des centrales électriques ne marchant que par moteurs à gaz.

La photographie projetée représente un de ces moteurs, du type le plus récent, construit par une Société française ; il est de 3.000 HP et en l'accouplant avec un moteur semblable on constitue une machine jumelle pouvant actionner une dynamo unique de 6.000 HP. C'est la plus grosse puissance atteinte à ce jour par la machine à gaz.

BILAN THERMIQUE
d'une Aciérie lorraine
produisant 1.000^T par jour

CALORIES PRODUITES ET CONSOMMÉES
pour 1^T de Laminés

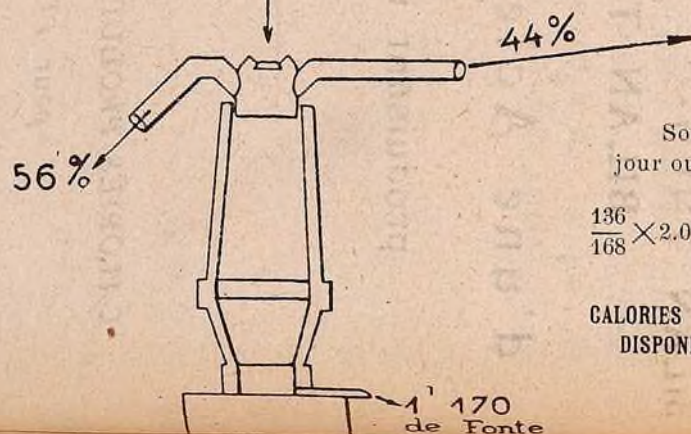
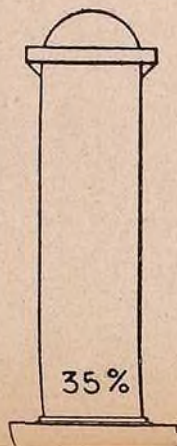
Services producteurs d'énergie : COKERIE



1 285 de Coke

HAUTS FOURNEAUX

Épuration : 3 %
Soufflage : 10 %
Manutentions : 1,5 %
Pompes : 1 %



DISPONIBLE :
2.070.000 cal.

Soit par
jour ouvrable :

$$\frac{136}{168} \times 2.070.000 = 1.700.000 \text{ c.}$$

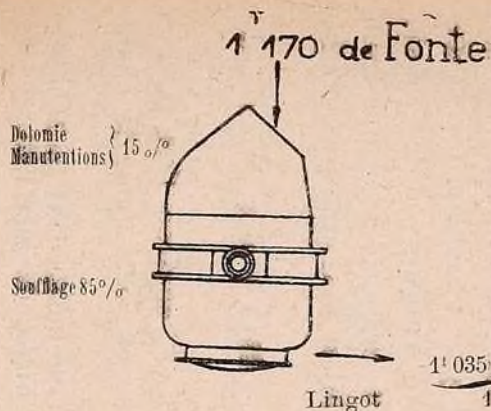
CALORIES TOTALES
DISPONIBLES

2.333.000 c.

Pertes : 5 %

B. — Services Consommateurs
ACIÉRIE

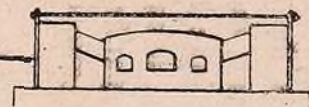
Conférence De Loisy



Calories dépensées au Thomas. 195.000

Refonte de 0^{le} 082 de chutes } 127.000
Avec 0^{le} 024 de fonte..... }

1^{er} 035 + 0^{le} 010
1^{er} 35



MARTIN { R
A

LAMINOIRS

Bloom : 1^{er} 067

0^{le} 460

+

0^{le} 274

+

0^{le} 266

=

1^{er}

{ Réchauffage..... 566.000

{ Laminage..... 546.000



ATELIERS D'ENTRETIEN

Forge, Chaudronnerie, Éclairage, etc..... 40.000

TOTAL DES CALORIES DÉPENSÉES..... 1.474.000

Il reste donc 860.000 calories pour les pertes et l'excédent

III^e PARTIE
ÉCONOMIE GÉNÉRALE D'UNE ACIÉRIE
AU POINT DE VUE
DE L'EMPLOI DU COMBUSTIBLE

Nous arrivons à la troisième partie de notre programme : l'économie intérieure d'une usine métallurgique au point de vue de l'utilisation du combustible.

Je vais vous montrer à grands traits comment une Usine traitant les minerais de Lorraine peut, dans l'état actuel de la technique métallurgique, ne pas brûler d'autre combustible que le coke qu'elle passe dans ses hauts fourneaux, à condition qu'elle produise elle-même ce coke à partir de la houille et bénéficie de la sorte des gaz que dégagent les fours à coke.

La démonstration en serait longue, mais elle consisterait simplement à établir un bilan des chaleurs latentes fournies par les gaz dégagés de ces deux sources : cokerie et hauts fourneaux, à le comparer aux dépenses de chaleur et de puissance motrice de toute l'usine et à constater qu'il y a excédent des recettes sur les dépenses. Le tableau annexé, où les calories produites et dépensées sont rapportées à une tonne d'acier laminé, résume ce bilan sous une forme schématique.

On y voit que l'excédent s'élève à plus de 12 % des calories produites (1).

De ce qui est dépensé, 30 % environ l'est pour la production de force motrice et 70 % pour le chauffage.

(1) Le détail de cette étude a été publié dans les *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*, de juin 1920.

fage des ébauches à laminier, l'usine envisagée produisant par jour :

500 t. de rails, poutrelles, longerons, etc...

300 t. de profilés moyens (cornières, plats, etc...).

200 t. de petits fers.

Ce résultat posé nous allons suivre la marche du métal dans l'usine à partir de l'arrivée du minerai.

Ce minerai, vous l'avez vu, est chargé au haut fourneau avec du coke. La fonte produite se rassemble au bas de l'appareil, mais ce n'est qu'un produit intermédiaire qu'il s'agit de convertir en acier.

Autrefois, on coulait cette fonte en gueuses, on classait les coulées d'après leur composition, on éliminait les mauvaises, puis on refondait les bonnes en proportions dosées pour charger la fonte liquide dans la cornue Bessemer. Cela entraînait, outre de coûteuses manutentions, une dépense de 8 à 10 % de coke.

En s'astreignant à une marche aussi régulière que possible des hauts fourneaux, on put éviter cette seconde fusion : on coule la fonte juste au moment de la servir au convertisseur ; seule la fonte produite le dimanche ou pendant les arrêts intempestifs de l'Acierie était à refondre.

Mais depuis nombre d'années, dans les grandes Acieries on s'est débarrassé de cette sujétion de synchronisme en versant la fonte liquide dans une sorte de grand réservoir intermédiaire d'où on la reprend.

Ces réservoirs appelés mélangeurs, parce qu'ils prennent des coulées de tous les hauts fourneaux, compensent les irrégularités de composition et assurent à l'aciérie une fonte très homogène. D'une capacité de 60 à 100 t. au début de leur apparition, ils

sont passés ces dernières années à 1.000, puis à 2.000 t.

Figurez-vous d'énormes foudres en tôle forte, garnis à l'intérieur de briques réfractaires et qu'un puissant mécanisme peut pencher légèrement pour en déverser le métal.

Il n'est aucun besoin de les chauffer ; la masse énorme de métal qu'ils contiennent se conserve liquide par l'appoint de chaleur qu'apportent périodiquement les nouvelles coulées du haut fourneau ; l'aciérie peut arrêter deux ou trois jours sans inconvénient, et toute la fonte des jours de fête — car les hauts fourneaux n'arrêtent jamais — y séjourne en attendant la reprise du travail des convertisseurs.

La fonte en sort à 1.300° environ pour être soufflée à la cornue Bessemer : la combustion du carbone et du phosphore élève progressivement la température à 1.650°.

Vous voyez que depuis le coke du haut fourneau, nous n'avons pas dépensé de charbon ; la fonte s'est maintenue liquide ; l'acier s'est réchauffé par la combustion des métalloïdes qu'il contient : la force motrice nécessaire au soufflage provient elle-même du gaz de haut fourneau.

Il s'agit de transformer notre acier en produits courants, rails, poutrelles, tôles, etc...

Au sortir du convertisseur nous le coulons dans des moules en fonte où il se solidifie sous forme de masses prismatiques de 3 à 5 t. chacune, appelées lingots.

Ces lingots sont destinés aux laminoirs pour lesquels il faut une température rendant le métal assez ductile pour se plier aux déformations. Il semble

done qu'il faille les réchauffer ; mais il n'en est rien : en les mettant à l'abri de tout refroidissement dans des puits étroits formés de briques réfractaires, qui jouent exactement le rôle de la marmite norvégienne pour cuire nos aliments, la masse intérieure de métal, encore liquide, répartit sa chaleur, et plusieurs heures après la coulée on peut passer au laminoir ; il y a plus : le métal contient assez de chaleur pour que cette opération se fasse successivement sur deux laminoirs ; l'un qui dégrossit seulement le lingot en ébauches qu'on découpe, l'autre qui le termine en profilés courants, rails et poutrelles.

Et l'énorme énergie mécanique nécessaire à ce forgeage du métal par le laminoir provient toujours de la même source ; c'est le gaz de haut fourneau transformé en énergie mécanique dans les moteurs à gaz, puis en énergie électrique et transporté sous cette forme aux puissants moteurs qui actionnent les trains de laminoirs.

Si l'on veut pousser plus loin la transformation, si au lieu de ces gros ébauchés qu'on lamine en produits massifs, rails ou poutrelles, on veut arriver à des profils plus ténus : cornières, fers marchands, etc..., le métal aura épuisé sa provision de chaleur, et il faudra intercaler un réchauffage, en passant par un four ; mais ce four sera lui-même alimenté par les gaz de l'unique houille initiale.

Vous voyez donc que le coke nécessaire pour réduire le minerai suffit, avec les gaz de la houille dont il provient, à pousser jusqu'au bout l'élaboration du métal : à souffler le haut fourneau, à transformer la fonte en acier, puis à forger cet acier, le réchauffer s'il en est besoin, assurer tous les services

accessoires de l'Usine, et même si l'économie en est poussée loin et aussi judicieusement que possible, il doit en rester pour des fabrications annexes : l'usine métallurgique avec sa cokerie non seulement forme un tout complet se suffisant à elle-même ; elle peut encore céder à d'autres industries l'excédent d'énergie que contiennent les gaz issus du coke qu'elle emploie, et le jour est sans doute prochain où des industries variées viendront se grouper autour des grandes aciéries lorraines, et leur demander l'énergie de leurs gaz, cette « houille incolore », comme elles allaient dans le Nord et le Pas-de-Calais vers la houille noire, comme elles vont dans les Alpes et les Pyrénées à la houille blanche.

CONCLUSION

Nous avons atteint le terme de notre programme ; je m'excuse d'avoir retenu votre attention sur des sujets particulièrement arides.

Je voudrais, pour terminer, tirer quelques constatations pratiques de la lente évolution de cette industrie sidérurgique.

Il semble que lorsqu'une difficulté dresse un obstacle sur son chemin, l'homme cherche d'abord à l'attaquer de front, à le supprimer par la violence, puis il reconnaît bientôt — à la lueur de l'empirisme ou à la clarté de la science — que la lutte est vaine et qu'il lui faut se résigner à tourner l'obstacle : mais alors il fait mieux que le tourner ; il déploie toute son ingéniosité à en tirer parti, et de cette difficulté voici que découlent pour lui, comme d'une corne d'abondance, profits et richesses inespérées.

Qu'avons-nous vu en effet ?

Le coke nécessaire à la réduction du minerai semblait perdu pour moitié, puisque une combustion incomplète laisse échapper des gaz encore combustibles ; après s'être longtemps acharnés à supprimer cet oxyde de carbone, les métallurgistes finissent par se soumettre à la loi de son inévitable présence ; ils se retournent alors et, peu à peu, reconnaissent que ce gaz va leur rendre les plus précieux services : ils le brûlent d'abord pour le chauffage de leurs chaudières et de leurs fours, un jour enfin ils l'utilisent directement pour la force motrice et voilà que, de cette imperfection présumée, surgit une des industries les plus grandioses : de cette réaction incomplète on tire parti pour créer des ressources d'énergie presque fantastiques : des Centrales de 20 à 30.000 chevaux sont alimentées uniquement avec ces gaz autrefois perdus, elles distribuent la puissance à tous les points de l'Usine, elles sont à la veille de la répandre même au dehors.

Voulez-vous un autre exemple ?

Le phosphore rend l'acier fragile et cassant, impropre à tout usage ; de ce fait des gisements considérables, qui embrassent quatre de nos départements, risquent de rester sans emploi. On travaille à éliminer ce métalloïde, toutes les ressources du laboratoire et de la science y sont employées, on trouve enfin la solution par le soufflage de la fonte en présence de la chaux et voilà que de ce mal naît un bien inespéré : l'élimination du phosphore chauffe le métal, et les services de ce combustible imprévu sont tellement précieux qu'on en ajoute aux minerais qui en contiennent trop peu, et par cette addition les gise-

ments de Normandie naissent à leur tour à l'exploitation industrielle.

Que dis-je ! le résidu de cette élimination, la scorie de déphosphoration, les cendres, si l'on peut dire, de ce combustible nouveau, constituent un engrais qui fertilise nos champs et devient une source de richesse pour les Aciéries, de prospérité pour l'Agriculture.

La Grèce antique a glorifié deux héros : le bouillant Achille et l'ingénieux et prudent Ulysse ; c'est à ce dernier certainement qu'allaient ses préférences.

Dans l'industrie moderne ce n'est pas non plus l'impétuosité qui résout les conflits de l'homme luttant avec la nature ; c'est l'attention prudente, l'observation minutieuse des faits, puis, lorsqu'apparaît un esprit privilégié, l'intuition qui lui permet d'en tirer parti.

Comme l'a dit le philosophe : « Pour commander à la Nature, l'homme doit tout d'abord se plier à ses lois. »



ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS, DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE

Reconnue par l'État. — Décret du 5 février 1921

Rue Du Sommerard, rue Thénard et boulevard Saint-Germain, Paris (5°)

CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT

Président : M. CLAVEILLE, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, sénateur de la Dordogne, ancien ministre des Travaux Publics et des Transports.
Vice-Président : M. KLEINE, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, directeur honoraire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Membres

MM. CORBIER, président de la Chambre Syndicale des Forces hydrauliques.
RATHAU, membre de l'Institut, ancien professeur à l'Ecole Nationale des Mines, Industriel.
BLONDEL, membre de l'Institut, Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
RECHNIEWSKY, Ingénieur, administrateur de la Compagnie Française Thomson-Houston.
PHILIPPE-FOUGEROLLE, ancien président du Syndicat des Entrepreneurs de Travaux Publics, membre du Conseil Supérieur des Travaux Publics.
DUFOUR, Ingénieur-Constructeur.

MM. AUBURTIN, architecte en chef des Bâtiments civils et des Palais Nationaux, membre du Conseil supérieur des Bâtiments civils.
Lieutenant-colonel ESPITALIER, ancien professeur du cours de construction à l'Ecole d'Application de Fontainebleau.
VERDIN, Ingénieur-Constructeur, président de l'Association Amicale des Anciens Elèves.
Général GAGES, ancien directeur des Ateliers de Construction de Bourges.
LÉON EYROLLES, Ingénieur, directeur de l'Ecole.
ETÈVE, ingénieur des Ponts et Chaussées, directeur-adjoint de l'Ecole.

ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE (EXTERNAT ET MAISON DE FAMILLE)

L'Ecole de plein exercice (Enseignement sur place) comprend deux établissements ayant un rôle distinct : à Paris, 3, rue Thénard, se trouvent les amphithéâtres des Cours et le siège de l'Administration ; à Arcueil-Cachan, distant de quelques minutes de Paris, fonctionne la plus vaste Ecole d'Application d'Ingénieurs existant en France et qui ne couvre pas moins de 74.000 mètres carrés.

L'Ecole de plein exercice fréquentée chaque année par 900 élèves, comprend trois grandes écoles bien distinctes, ayant chacune un enseignement particulier conduisant aux diplômes supérieurs ci-après :

ÉCOLE SUPÉRIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

Diplôme d'Ingénieur des Travaux publics

ÉCOLE SUPÉRIEURE DU BATIMENT

Diplôme d'Ingénieur-Architecte

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE MÉCANIQUE

ET D'ÉLECTRICITÉ

Diplôme d'Ingénieur-Electricien

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

(Édition d'ouvrages techniques de premier ordre)

I. Encyclopédie industrielle et commerciale. — II. Le livre de la Profession. — III. Collection des monographies industrielles et commerciales. — IV. Cours et conférences du Conservatoire national des Arts et Métiers. — V. Bibliothèque des Annales et Ouvrages de l'Administration des P. T. T.

Catalogue gratuit sur demande

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

LÉON EYROLLES, Éditeur
8, rue Thénard, Paris (V°)

CONFÉRENCES

faites au Conservatoire National des Arts et Métiers
éditées et mises en vente

PREMIÈRE SÉRIE (1920)

1. **Les Métallurgies.** — M. LÉON GUILLET, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. Prix..... 1 fr. 50

2. **L'Aviation.** — M. R. SOREAU, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, vice-président de l'Aéro-Club de France. Prix..... 1 franc

3. **Les recherches scientifiques et industrielles et les inventions.** — M. J.-L. BRETON, député, directeur des recherches scientifiques et industrielles et des inventions. Prix..... 2 francs

4. **L'évolution du matériel d'artillerie.** — M. le lieutenant-colonel RIMAILHO. Prix..... 2 fr. 50

5. **Les chars d'assaut. — Leur rôle sur le champ de bataille. — Leur utilisation dans les travaux de la paix.** — M. le général ESTIENNE. Prix..... 2 fr. 50

6. **Le Service géographique de l'armée pendant la guerre.** — M. le général BOURGEOIS, membre de l'Institut, directeur honoraire du Service géographique de l'armée. Prix..... 2 fr. 50

7. **De la fabrication des poudres et explosifs.** — M. LHEURE, ancien directeur du Service des poudres. Prix..... 2 francs

8. **Les radio-éléments et leurs applications.** — M^{me} CURIE, professeur à la Sorbonne. Prix..... 1 fr. 50

9. **La chimie de guerre. Les gaz de combat.** — M. MOUREU, membre de l'Institut, professeur au Collège de France. Prix..... 1 fr. 50

10. **Le rôle du laboratoire d'usine.** — M. ALBERT PORTEVIN, maître de conférences à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures. Prix..... 2 fr. 60

11. **Les industries chimiques.** — M. FLEURENT, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. Prix..... 1 fr. 50

DEUXIÈME SÉRIE (1921)

1. **La main-d'œuvre agricole pendant et après la guerre.** — M. SOUCHON, professeur à la Faculté de Droit, membre de l'Institut

2. **L'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale.** — M. JEAN DYBOWSKI, membre de l'Académie d'agriculture.

3. **Les moteurs à combustion.** — M. DROSNE, ingénieur en chef aux Etablissements Schneider.

4. **Les richesses économiques de l'Alsace et de la Lorraine.** — M. LEBRUN, sénateur de Meurthe-et-Moselle, ancien ministre.

5. **Les chemins de fer pendant et après la guerre.** — M. PESCHAUD, secrétaire général de la Compagnie d'Orléans.

6. **L'utilisation du combustible dans la métallurgie.** — M. DE LOISY, ingénieur civil des Mines.

7. **La Roumanie nouvelle.** — M. DE MARTONNE, professeur à la Sorbonne.

8. **Les banques d'émission et la guerre.** — M. RIST, professeur à la Faculté de Droit.

9. **L'aluminium (emplois industriels du métal et de ses principaux alliages).** — M. GUKRIN, ingénieur, chef des laboratoires de l'Aluminium français.

10. **Le commerce extérieur de la France depuis l'armistice.** — M. EDGARD ALLIX, professeur à la Faculté de Droit.

11. **La valorisation du travail humain (applications aux reconstructions des régions dévastées).** — M. PAUL RAZOVS, commissaire contrôleur au Ministère du Travail.

Prix de chaque conférence :
1 fr. 50 à 2 fr. 50