



PAUL BORY
LE ROI DES MÉTAUX

TOURS
A. MAME ET FILS

LE
ROI DES MÉTAUX

PETIT IN-8° ILLUSTRÉ

DU MÊME AUTEUR

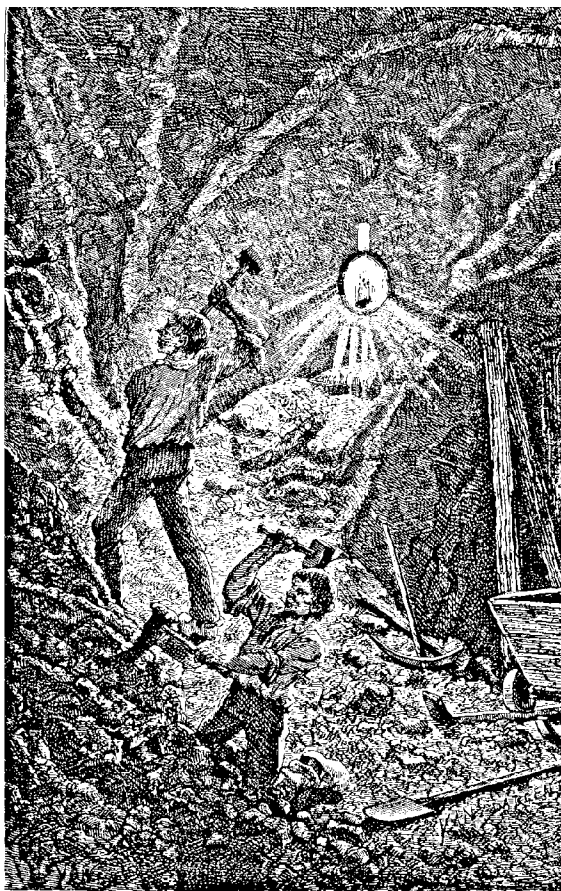
LES
PREMIÈRES CONQUÊTES DE L'HOMME

LES PAYS NOUVEAUX

EN PRÉPARATION

LE PAIN DE L'INDUSTRIE

LES ARTÈRES DU GLOBE

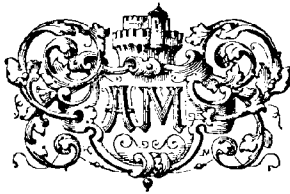


Extraction du fer oxydulé dans les mines de Segré.

LE
ROI DES MÉTAUX

PAR

PAUL BORY



TOURS

ALFRED MAME ET FILS, ÉDITEURS

M DCCC LXXXIV

PROPRIÉTÉ DES ÉDITEURS

AVANT-PROPOS

Lorsqu'il embrasse d'un regard, souvent trop orgueilleux, l'immensité de son domaine intellectuel et matériel, l'homme oublie aisément ses débuts pénibles et obscurs, la lenteur de ses progrès. Volontiers, il méprise les ancêtres qui creusèrent le premier sillon de la civilisation et supportèrent sans compensation l'ingratitude de leur sort. Souvent il agit comme si tout, en ce monde, avait toujours offert à l'humanité passée le bien-être, les facilités d'existence dont les sociétés actuelles ne sauraient se priver. Volontiers encore il met en regard l'un de l'autre, comme les deux termes du progrès possible, l'informe lingot façonné par le premier forgeron armé du marteau de pierre et la puissante locomotive qui, nous faisant dévorer les distances, réduit pour nous les dimensions de notre globe. Alors il accorde à peine un sourire de pitié aux naïfs et incomplets procédés de l'industrie antique, jugeant inférieure à la sienne l'intelligence de ses pères, et ne se souvenant pas que les sociétés,

comme chaque être, ont dû passer par les phases successives d'une longue et laborieuse croissance.

La merveilleuse industrie moderne ne peut cependant faire remonter son passé au delà de l'époque relativement récente où l'homme entra en possession du fer.

Jusque-là s'était prolongée l'enfance de l'humanité; jusque-là ses efforts étaient fatalement enfermés dans d'étroites limites.

Ce puissant auxiliaire valut à l'homme une sorte d'investiture qui lui ouvrait la voie féconde du progrès. Il put, désormais adolescent, s'attaquer à tous les éléments de la nature. Il ouvrit plus largement le sein de la terre féconde, il soumit les métaux aux caprices de son imagination, aux exigences de ses besoins nouveaux; il attaqua la pierre, il façonna le bois. Armé du fer, il put, en un mot, dompter toutes les puissances contre lesquelles il était jusqu'alors réduit à se défendre. De vaincu il devenait vainqueur, de serf il devenait maître.

Depuis, son empire n'a cessé de s'étendre, les fils profitant des acquisitions de leurs pères, recueillant le fruit de leurs peines.

Les richesses industrielles dues au fer se sont accrues au point que nul acte de la vie, peut-on dire, aucun objet à notre usage n'existe sans l'intervention directe ou indirecte du fer.

Comme s'il existait une secrète alliance entre le fer et le génie humain, la suprématie de l'un se manifeste en raison directe du développement de l'autre. Aux sociétés rudimentaires le simple fer suffit; les procédés de travail n'indiquent aucune exigence. Puis, au fur et à mesure que le

rôle du fer s'élargit, en même temps que ses bienfaits sont appréciés, l'intelligence humaine saisit mieux tous les services à en tirer; elle l'étudie davantage, lui découvre chaque jour des propriétés nouvelles. Vient enfin un moment où, définitivement éclairée, délaissant les brillantes chimères qu'elle avait poursuivies par la recherche des métaux précieux, elle assigne à ce vrai « roi des métaux » la place qu'il occupera désormais dans les préoccupations humaines.

A l'heure présente, il faut des torrents de fer pour répondre aux besoins des sociétés modernes. La métallurgie, surtout celle du fer, a ouvert et ouvre chaque jour à l'homme un monde nouveau, grâce aux méthodes scientifiques qui favorisent la production, multiplient les applications, règlent le bon usage de ce précieux métal.

Son rôle, peut-on dire, est illimité, tant par la subtilité d'esprit qui gouverne son emploi que par l'incomparable docilité de ce merveilleux agent. Ainsi que nous le verrons, le fer, malgré quelques résistances, est le plus impressionnable des métaux; c'est celui que l'intelligence humaine, armée de la puissance donnée par le Créateur, a su le mieux assujettir aux combinaisons les plus savantes.

S'élevant dans l'ordre économique en même temps que dans l'ordre matériel, le fer est devenu le régulateur de la puissance des peuples. Depuis Porsenna interdisant son emploi aux Romains vaincus jusqu'à nos jours, l'histoire est pleine des preuves de son influence sur le sort des nations. Combien de pages nous disent que la domination du monde appartient, non à la nation la plus

nombreuse, mais à la nation la mieux pourvue de fer, tant pour le travail que pour le combat!

De nos jours surtout, les conditions sociales nécessitent à la fois un armement formidable et un outillage défiant toute concurrence. Et, lorsque la lutte est ouverte entre deux puissances, lorsqu'il semble que l'irrésistible force des armes modernes va tout anéantir, quand le regard épouvanté n'aperçoit qu'un immense carnage, quand la victoire s'est décidée en faveur d'un des combattants, veut-on savoir quel est le vrai vaincu? Il suffit d'examiner qui ressaisit le plus promptement l'outil du travail, qui met le plus d'ardeur à demander au fer de l'industrie la réparation des désastres causés par le fer de la guerre. Par l'essor plus grand donné à sa production, celui-là se dégage promptement des liens imposés à sa faiblesse, et le vainqueur se voit parfois obligé à restituer au vaincu lui-même, comme prix de transactions commerciales, au delà de la rançon qu'il avait arrachée.

Il y aurait de belles et nombreuses pages à écrire sur ce rôle prépondérant du fer, devenu, par le génie persévérant de l'homme, comme un cœur fournissant au monde les matériaux de son existence matérielle, suspendant ou précipitant la vie sociale, suivant la lenteur ou l'intensité de sa production. Nos prétentions ne s'élèvent point jusque-là. Nous nous bornerons à montrer ce qu'a été le fer autrefois, ce qu'il est aujourd'hui dans ses transformations; nous passerons en revue les opérations qu'il subit avant de se plier à tous nos besoins.

Quand nous aurons ainsi apprécié sa valeur par le spectacle des peines et des soins qu'il

exige, nous pourrons reconnaître avec une légitime fierté que l'homme, en fin de compte, paye un haut prix les services de cet incomparable serviteur.

Nous devons aussi admettre que de tels résultats sont l'œuvre accumulée du temps et du travail : pour les sociétés comme pour les individus, il n'est de bien durable et hautement estimé que le bien chèrement acquis.

En voyant nos admirables machines faire courber sous nos ordres les corps les plus résistants, notre pensée traverser le monde avec la rapidité de l'éclair, en nous sentant emportés vers les lieux les plus lointains, nous pourrons dire avec satisfaction que tout cela est l'ouvrage de l'homme aidé par le fer.

Enfin n'ayons garde d'oublier qu'un tel auxiliaire ne nous est pas donné uniquement pour augmenter notre somme de jouissances matérielles. C'est un instrument précieux qui nous est confié pour atteindre un but élevé, incessamment imposé à l'homme : faire participer les déshérités de la terre aux bienfaits de la civilisation, de la civilisation chrétienne.

PREMIÈRE PARTIE

HISTOIRE ET PROPRIÉTÉS DU FER

I

LE PASSÉ DU FER

Il est incontestable que le nom du métal dont nous abordons l'étude lui a été donné par ses premiers fabricants, à raison même de l'usage auquel on le destinait.

Dès sa naissance, en quelque sorte, il devait remplacer la pierre et remplir le même rôle, c'est-à-dire diviser, séparer, couper avec une énergie et une facilité bien autrement étendues.

Aussi voit-on les Hébreux l'appeler d'un nom dérivé de *far*, qui signifie couper, d'où les Latins ont tiré *ferrum* et nous le mot *fer*. Les Grecs le nommaient σιδηρος, d'où nous avons fait sidérurgie pour désigner le travail spécial du fer. On ignore l'origine des noms *iron*, *eisen*, *burnid*, que lui ont donnés les Anglais, les Allemands et les Basques ; mais l'on n'ignore point la haute antiquité de cette découverte, si précieuse pour l'humanité, puisque Tubalcaïn, arrière-petit-fils de Caïn, est célébré par les livres saints comme étant déjà un forgeron émérite. En outre, tous les documents historiques, si loin qu'ils remontent, mentionnent le fer avec un soin indiquant l'importance donnée à son usage.

Tous les peuples en ont été tellement frappés, que la plupart attribuent à un être divin la connaissance première du fer. Les Grecs l'attribuaient à Vulcain. Les Dactyles du mont Ida, les Chalybes du Pont-Euxin, demi-dieux eux-mêmes à raison de cette science reçue du grand Vulcain, étaient regardés en Phénicie comme les propagateurs de la métallurgie.

Si antique ou si récent que soit l'art de dégager le fer du minerai, un fait reste acquis : ce métal fut connu seulement après le travail des métaux natifs, tels que l'or, l'argent, le cuivre, et même après qu'on savait déjà se procurer des métaux d'une extraction moins facile, le plomb, le zinc, l'étain.

En effet, la science n'a fait progresser que d'une façon insignifiante l'art de traiter les métaux que nous venons de citer. Ses procédés actuels sont encore presque ceux des premiers âges ; l'homme avait, du premier coup, obtenu de ces métaux à peu près ce qu'ils pouvaient donner.

Il n'en était pas ainsi du fer ; la continuité des perfectionnements sans cesse croissants qu'exige son traitement nous est une preuve réelle que l'homme n'a pu s'attaquer à lui sans être pourvu de connaissances métallurgiques déjà très nettes.

Aussi ne voit-on guère le fer apparaître ailleurs qu'au sein des sociétés déjà remarquables par un certain degré de civilisation. Il y pénètre peu à peu, soit par la voie des échanges, soit par l'invasion qui apporte, en même temps que des désastres, la providentielle compensation d'un rajeunissement des races et le salutaire stimulant du besoin.

Mais, soit produit commercial, soit conséquence de l'invasion, le fer a l'Orient pour berceau. C'est chez les Chaldéens, à Ninive, aux Indes, en Égypte, chez les Hébreux qu'on en saisit les premières traces.

Les hommes antiques qui s'armèrent de pierres en guise de projectiles remarquèrent sans aucun doute le poids plus considérable de certaines d'entre elles qui n'étaient autres que du minerai rocheux. En se rappen-

lant que tous les peuples arriérés reproduisent les procédés industriels et l'état social des âges primitifs, en voyant les indigènes de la Nouvelle-Calédonie élever des fortins composés de minerais de fer destinés, à raison de leur poids, à être précipités sur les assaillants de leurs villages, il est permis de s'arrêter à cette idée que les hommes des temps préhistoriques considérèrent seulement les minerais ferreux comme des projectiles plus meurtriers, et qu'ils en armèrent leurs rustiques remparts, dont nous retrouvons chaque jour les vestiges.

De là au traitement rudimentaire qui convertit le minerai en fer, il n'existe nulle trace de transition. Nous trouvons le métal en usage chez les Phéniciens, 2500 ans avant J.-C. Ceux-ci avaient été devancés par les Hindous, frères des Aryas qui envahirent l'Europe à l'âge de la pierre.

Au dire de certains égyptologues, la terre des Pharaons possédait ce trésor 3000 ans avant l'ère chrétienne. On a trouvé des clous et des anneaux en fer encore polis dans le tombeau de Sebau, datant d'à peu près 4000 ans.

Les Assyriens employèrent le fer dans leurs constructions, vers—1200. Les fouilles ont mis à jour, dans le palais de Nimroud, une scie en fer et des marteaux à tête de fer, des armures à mailles et des casques en fer de bonne qualité.

De Ninive on a rapporté plus de 160,000 kilogr. d'outils en fer, chaînes, anneaux, pics, pioches, marteaux, en fer malléable, se forgeant très bien, provenant des recherches opérées dans les palais ninivites édifiés de 800 à 900 avant J.-C.

Job, dans son chap. xxviii, dépeint ce métal, et le Deutéronome mentionne déjà les fourneaux dans lesquels se travaillait le fer. Salomon l'employa pour la construction du temple, de 1011 à 1024 avant J.-C.

Les Carthaginois remplacèrent de bonne heure le bronze par le fer.

Homère nous parle longuement du fer et nous apprend

en diverses circonstances quelle haute estime on avait pour ce métal, encore fort rare et considéré comme précieux.

Bien que l'usage leur en ait été connu à une époque voisine de l'ère chrétienne, les Scandinaves enveloppent l'origine de la métallurgie des légendes les plus obscures.

Les Grecs, auxquels tous les raffinements de la civilisation devaient bientôt devenir familiers, ne connurent pourtant le fer que vers — 900. Ils communiquèrent leur talent de sidérurgistes à l'Espagne, à la Gaule, à l'Étrurie en — 700. Les Romains eurent, à leur tour, pour maîtres, les Étrusques. Toutefois, pendant longtemps, le travail du fer fut abandonné chez eux aux criminels, aux esclaves et aux gens de basse condition. Ils tiraient même de l'étranger leurs principaux approvisionnements.

Le travail du fer ne prit d'importance à Rome qu'à la suite des revers qui mirent la nation en péril. Alors une généreuse émulation s'empara des citoyens, on comprit l'intérêt qu'avait la république à se pourvoir elle-même d'armes.

De là datent ces nombreuses et importantes exploitations dont on retrouve les traces à chaque pas. Quelques-unes, principalement celles de l'île d'Elbe, sont si puissantes qu'on n'a jamais cessé, depuis 2500 ans, d'en extraire le minerai. D'autres, abandonnées à des époques diverses, ont été reprises avec le plus grand succès; tels sont les gîtes algériens de la province d'Oran.

La production du fer devint même si active chez les Romains, que l'on employait à l'empièrrement des routes les scories provenant des forges.

Notre vieux sol gaulois ne le cédait en rien aux autres contrées pour la production du fer. Nos ancêtres avaient reçu des Phéniciens communication de la précieuse substance. Ils utilisèrent bientôt les ressources d'un pays particulièrement riche en minerais et en forêts. Ils les utilisèrent si bien que les traces de leur

industrie sont innombrables. Partout la terre est couverte d'amas considérables de scories; sur certains points ces amas forment des couches épaisses qu'on trouve encore avantageux de traiter. Comme chez les Romains, l'on utilisait une partie des scories pour l'entretien des routes. On a même reconnu en Bretagne, à Chauveau, l'emplacement d'une ville, aujourd'hui détruite, dont les murailles fort épaisses ne sont autre chose que des scories sur lesquelles s'est implantée une vigoureuse végétation.

César, pendant sa guerre des Gaules, put se convaincre que nos ancêtres comptaient de rudes forgerons parmi eux, et il n'a pas manqué, dans ses récits, de mentionner la perfection et l'importance du travail du fer chez les Vénètes.

L'abondance des résidus de leur fabrication est telle, qu'elle forme de véritables collines auprès des lieux où l'on travaillait les minerais. C'est chez eux que ces scories ont reçu le nom de mar-de-fer, « la mère du fer, » d'où, par corruption successive, on a fait mâ-de-fer, puis mâchefer, qui est devenu la désignation générale des scories du fer.

Les exploitations sidérurgiques étaient si nombreuses sur certains points en Gaule, que les environs de Bourges sont littéralement criblés de puits servant jadis à l'extraction des minerais, et que la plus grande attention est parfois nécessaire pour ne pas être précipité dans l'un d'eux.

Quoi qu'il en soit, les Gaulois avaient, même parmi les Romains, la réputation d'être de fort habiles forgerons; les débris de leurs travaux prouvent surabondamment que cette réputation n'était pas usurpée.

Dans les vestiges où se confondent pêle-mêle des objets romains et des objets gaulois, ces derniers sont toujours d'une exécution supérieure. Il suffit, pour s'en convaincre, de comparer, au musée de Saint-Germain, les produits des fouilles faites sur l'emplacement de l'antique Alesia.

II

LE FER DANS LA NATURE

Cette universalité du travail du fer dit à quel point la substance première du métal est abondamment répandue sur notre globe. Ce n'est pas assez que de la dire abondamment répandue. Non seulement le fer se montre avec profusion sur la croûte terrestre, il en est encore un des éléments constitutifs. Il est ce qu'on nomme une substance cosmique, c'est-à-dire l'un des corps qui constituent nécessairement les mondes jetés dans l'espace par la puissante main du Créateur. Il existe dans les astres les plus éloignés ; il est répandu à profusion dans l'immensité ; c'est une substance universelle.

Il y a du fer dans le soleil. L'immense sphère ardente, le foyer central auquel viennent se réchauffer et s'éclairer tant d'autres planètes, se meut dans une atmosphère saturée de fer à l'état de vapeur. Il existe jusque dans les étoiles, soleils lointains dont la lumière, éteinte parfois depuis des milliers d'années, n'a pas encore cessé de nous arriver.

Cette affirmation est le résultat d'une des plus belles découvertes de la science moderne : l'analyse spectrale. Les premiers indices en furent aperçus vers 1802 par Wollaston, qui, regardant à travers un prisme une fente très étroite éclairée par le soleil, reconnut quelques raies noires très fines parallèles aux arêtes du prisme.

Se souvenant de cette remarque, Fraunhofer, opticien bavarois d'une haute capacité scientifique, examinant, quinze ans plus tard, un spectre solaire bien pur, au moyen d'une lunette, vit ce spectre rayé transversa-

lement d'une multitude de bandes ou raies très fines, sombres ou tout à fait noires. Il en compta cinq à six cents, irrégulièrement répandues dans toute l'étendue de la surface lumineuse, les unes disposées en groupes serrés, les autres plus ou moins espacées dans les différentes couleurs. Plus tard, Brewster parvint, en prenant mille précautions, à compter jusqu'à deux mille de ces raies, tandis que l'œil nu en aperçoit difficilement plus de cent.

On sait que chaque corps a un spectre particulier, autrement dit, que toute substance capable de devenir lumineuse donne un spectre caractéristique. Il était établi qu'une substance solide simplement échauffée donne un spectre *continu*, c'est-à-dire sans raies; mais que, si l'on vient à volatiliser cette même substance en élevant suffisamment sa température, le prisme révélera un spectre *interrompu* par un système de raies propre à cette substance. Ainsi, l'argent volatilisé donnera un spectre interrompu par deux belles bandes vertes. Traité de même, le cuivre montrera des bandes d'un autre vert mélangées de bandes rouges et orangées. Le magnésium se reconnaît à trois bandes vertes et à une ligne bleue. Le thallium montre une seule bande verte très intense. Le spectre du fer produit environ soixante-dix raies brillantes entre le rouge extrême et le violet le plus accentué; mais ces raies diffèrent sensiblement les unes des autres par leur éclat.

A côté de ces deux sortes de spectres s'en place une troisième : les spectres interrompus par des lignes noires et obscures. Ils sont dus à la superposition de deux spectres produits à la fois par la lumière servant à l'observation et par la combustion du corps observé. Ces deux spectres, dirigés en même temps à travers deux lunettes différentes garnies de prismes multiplicateurs, sont reçus sur un dernier prisme, qui les renvoie, au moyen d'une troisième lunette, jusqu'à l'œil de l'observateur.

On constate d'abord que la lumière dominante superpose son spectre au spectre de l'autre lumière, qu'en-

suite des lignes brillantes se montrent aux endroits où cette lumière est plus intense que l'autre lumière. Cette observation est constante et se résume en cette loi :

Toute flamme dont le spectre contient une bande brillante éteint ou renverse la bande correspondante émise par une autre source lumineuse, et elle n'éteint pas les rayons qu'elle est incapable d'émettre elle-même. En d'autres termes, les raies brillantes sont produites par la combustion du corps dominant dans la flamme soumise à l'examen.

On devine sans peine quelles ressources l'examen des spectres doit fournir à l'analyse chimique, puisque la plus minime quantité d'un corps introduit dans une flamme suffit pour faire apparaître le spectre caractéristique de ce corps.

Ce sont MM. Kirchhoff et Bunsen qui, les premiers, en 1861, ont appliqué brillamment cette découverte, après avoir fixé la véritable explication des raies.

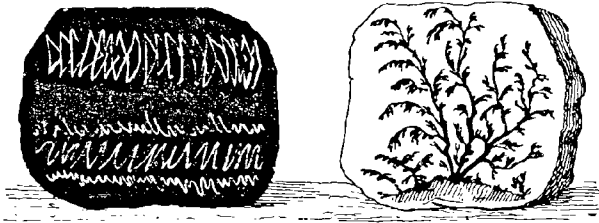
Or, cette expérience, appliquée au spectre du soleil, a montré que chaque ligne brillante du spectre produit par le fer avait sa contre-partie obscure dans le spectre solaire. Les raies les plus brillantes données par le fer sont les plus faibles dans le spectre du soleil ; et la coïncidence n'a pas lieu seulement pour une, mais pour toutes les soixante-dix bandes, raie pour raie, intensité pour intensité. Dès lors, la présence de notre métal était constatée dans le soleil, et constatée d'autant mieux, qu'on ne peut attribuer à un autre astre le spectre si connu, puisque chaque étoile donne lieu à un spectre spécial.

Le fer existe encore, avons-nous dit, dans la plupart des astres. Il contribue tellement à entretenir leur température, que, selon toute probabilité, les corps célestes où le fer métallique domine sont beaucoup moins sujets que les terres de notre planète aux brusques refroidissements, par suite de l'emmagasinement de chaleur dû au fer, lequel possède une très haute capacité calorifique.

De tous les métaux recélés dans les entrailles de la

terre, il n'en est aucun dont les alliances soient plus nombreuses, par conséquent la composition plus diverse; par conséquent aussi, il n'est pas de corps dont l'action se traduise par des effets plus variés. Dissous dans la masse même des roches, dans les eaux, les teintes caractéristiques de ses oxydes révèlent sa présence universelle.

« Quand la nature prend le pinceau, écrit fort justement le naturaliste Haüy, c'est le plus souvent le fer oxydé qui est sur la palette. » Elle lui doit, en effet, les



Dendrites et arborisations.

tons chauds de ses paysages. Voyez dans les montagnes, à la surface des pans de rochers granitiques, ces larges traînées jaunâtres sur fond rose ou bleuâtre : c'est le fer qui les a faites.

Examinez les sombres escarpements de la falaise bretonne, les brisants déchiquetés de la côte; leurs teintes rouillées nous disent que la vieille roche, croûte antique de notre terre, assise des continents déjà baignés par les flots des premières mers, est pétrie de fer. C'est le fer qui, par ses oxydes, colore le grès en rouge, en jaune, en brun, et donne ses teintes au massif des Vosges entièrement composé de grès ferrugineux. C'est lui qui, produisant ces rubéfections remarquables des terrains quaternaires, s'insinue lentement, mais irrésistiblement, dans les silex de cette époque soumis à l'action glaciaire, et brode ces merveilleuses et délicates dendrites si recherchées par les curieux.

Sous mille formes et de mille nuances il peint les agates, les onyx, les cornalines. Il dore aussi et rend blonds les sables de nos plages. Les roches feuilletées appelées schistes, si importantes dans l'ossature du globe, les argiles, les limons déposés par les eaux, la terre végétale, tous débris de roches décomposées, contiennent du fer en proportions plus ou moins considérables.

Dans les mystérieuses profondeurs où grondent les feux souterrains existe du fer tenu en fusion avec les autres matières : les roches volcaniques de toutes sortes, vomies incandescentes, entraînent des filons de matière ferrugineuse qui se retrouvent à leur surface figés par le refroidissement.

A leur tour, les eaux circulant sous le sol lavent, délitent dans leur trajet souterrain des veines de fer et jaillissent toujours chargées de particules ferrées. Les eaux minérales dites ferrugineuses ne sont que des eaux ordinaires rencontrant dans leur course des gîtes ferreux dont elles absorbent les sels ; elles se caractérisent par leur goût d'encre et par les limons couleur de rouille qu'elles déposent.

Répandu en si grande abondance dans le sol, il était logique de penser que le fer devait avoir une action sur tous les êtres qui empruntent au sol les conditions de leur existence. En effet, son rôle n'est pas moins important dans la nature végétale et dans le mécanisme délicat des êtres organisés.

Sous la forme de sels, il entre pour une part prépondérante dans la riche coloration de la végétation. Selon les proportions variant avec l'espèce, l'âge des sujets ou la saison, il donne à la chlorophylle ces teintes splendides qui passent du vert tendre au pourpre foncé. Son action est à la fois si énergique, si subtile, qu'un grand arbre, avec ses nombreuses racines et ses innombrables radicules, ne puise dans le sol que le poids insignifiant de dix grammes de chlorophylle ou matière colorante. Et pourtant c'est l'absence d'une part infinitésimale de fer dans cette petite quantité de chlorophylle qui fait ! dépérir le

colosse, l'étiolé, le laisse pâle et sans verdure, puis le fait mourir; c'est la répartition inégale de cette chlorophylle qui donne à certains feuillages ce cachet si recherché pour l'ornementation des parcs et des salons.

C'est encore au fer que les êtres animés viennent demander la vigueur et la vie. Il donne au sang sa belle couleur rouge; l'être privé de son principe vivifiant, pâlit, languit et s'étiolé comme la plante. Sa présence y est si incontestable que l'on a pu fabriquer des bijoux avec du fer extrait de sang humain.

Examinez le sang provenant de diverses personnes; sa coloration vous dira immédiatement l'état de santé de vos sujets d'expérience sans que vous ayez besoin de les voir. Cette femme pâle, affaiblie par la misère ou par la maladie, cet enfant étiolé vivant dans une atmosphère malsaine, ont tous deux un sang qui demande du fer; ils n'en possèdent point la dose que réclame l'organisme de chaque individu. Tant qu'ils n'auront pas introduit dans le torrent circulatoire les 7 à 8 grammes de fer exigés par la nature, leurs lèvres resteront pâles, leurs joues décolorées, leur visage ne pourra montrer les chaudes rougeurs qui trahissent l'émotion et l'intensité de la vie : en un mot, ils seront anémiques. Cet état maladif est fréquent dans les grandes villes où l'air vif et pur ainsi que la lumière font défaut pour saturer le sang, l'oxygéner, le revivifier; pour le combattre, les médecins emploient les préparations ferrugineuses les plus variées.

Le fer est administré à l'organisme humain sous des formes multiples, dans le but d'aider au travail insuffisant de la nature. Chose singulière et qui mérite bien une mention ! tandis que les chimistes s'évertuent à préparer le fer de façon à rendre son absorption par l'estomac autant aisée que possible, qu'ils s'ingénient à exiger de lui la moindre somme de travail, cet organe fantasque se comporte de la manière la plus irrationnelle. On se base sur ce principe que les sucs de l'estomac sont des acides faibles, et qu'il convient dès lors de ne confier à la digestion que des principes facile-

ment décomposables; or l'estomac capricieux se trouve précisément doué de vertus plus efficaces lorsqu'il est en contact avec certaines substances ferrugineuses, les peroxydes, qui exigent une action acide énergique. Il semblerait que, pour se décider au travail réparateur qu'on lui demande, ce paresseux attendît presque l'emploi de la violence.

En tout cas, c'est un exemple de plus des dérogations de la nature aux lois édictées par la science.

Cette présence du fer dans le sang se constate à des degrés divers chez les animaux aussi bien que chez l'homme. A ceux qui vivent en liberté, à l'état sauvage, le sang riche et chaudement coloré; à ceux que la domestication condamne à l'immobilité relative, un sang plus léger, moins généreux. C'est ainsi que les viandes sauvages doivent à la plus grande richesse du sang leurs vertus réparatrices accentuées et que nos viandes fines de boucherie, plus tendres et plus savoureuses sans doute, mais chez lesquelles domine la lymphe, n'ont pas toute l'action reconstituante qu'elles devraient avoir.

III

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU FER

Nous avons jusqu'ici reconnu l'importance du fer dans la vie des nations en constatant qu'il apparaissait toujours comme le signe d'une civilisation perfectionnée; nous avons établi qu'il est un des corps les plus répandus dans la nature et un des agents les plus essentiels à la vie de tout être organisé; nous avons dit par quels procédés ingénieux la science était parvenue

à en constater la moindre particule jusque dans les mondes les plus éloignés; mais nous ignorons encore ce qu'est cette substance, ce corps répandu à profusion dans l'univers.

Un peu de chimie, — le moins possible, pour ne pas décourager le lecteur, — nous dira la composition du fer et sa manière de se comporter en compagnie d'autres substances; un peu de physique nous montrera ses qualités et ses défauts.

Le fer est classé par les chimistes dans la catégorie des corps simples, c'est-à-dire que ces messieurs, qui savent si bien renouveler pour les produits de la nature les horribles tortures de la question et arracher des aveux aux plus récalcitrants, n'ont jamais pu extraire du fer autre chose que du fer. Il est impossible de le dédoubler, comme l'on fait pour l'eau ou pour toute autre substance composée de plusieurs corps.

En sorte que le fer est formé d'une multitude incalculable de molécules, d'atomes tous semblables, agglomérés par une force qui les rapproche énergiquement. Mais, pris isolément, ces atomes ont, de même que chaque animal, chaque plante ou chaque individu, des goûts personnels et généraux, une propension plus marquée à avoir des relations avec tel corps, telle substance ou tel atome différent. Et quand, mis en contact par un procédé quelconque, naturel ou artificiel, ces atomes se rencontrent, il s'établit aussitôt entre eux, non un échange d'idées, ainsi qu'entre deux nouveaux amis, mais un échange qui modifie leur propre nature et font de ces deux étrangers un nouveau corps doué de propriétés particulières. Cette alliance, qu'en chimie l'on appelle une *combinaison*, se trouve tellement scellée par cette force mystérieuse nommée l'*affinité*, qu'une force supérieure peut seule la détruire. Les Torquemadas modernes s'y exercent tous les jours dans leurs laboratoires, et, pour dissimuler l'odieux, la cruauté de leurs opérations pratiquées sur ces amis, ils disent qu'ils ont fait une *décomposition*.

Cette alliance, qui de deux corps n'en fait plus qu'un,

peut se multiplier et donner, entre les mains du chimiste, de même que pour les races d'animaux par les soins de l'éleveur, des croisements dans lesquels domine tel ou tel élément. Et alors, au lieu de dire demi-sang ou quart de sang comme pour désigner le produit d'un croisement de races différentes, la chimie exprime ses croisements par des formules d'une signification analogue.

Un exemple. Si l'on mêle ensemble du fer et du soufre en quantités égales, on aura un produit composé s'exprimant par F S. Si, dans ce composé, le soufre entre pour deux parts et le fer pour une part seulement, l'on exprimera cette combinaison, ce croisement, par F S². L'expression des formules va ainsi en se compliquant jusqu'à donner une sorte de langage hiéroglyphique dont nous ferons grâce à nos lecteurs, car sa pénétration n'est pas utile à notre modeste étude.

De même que le sang originaire disparaît quelquefois par la multiplicité des croisements, de même, à force de *combinaisons*, le corps dominant de la première combinaison s'efface, et la substance composée de tous les groupes réunis peut bien, dans son aspect, dans ses propriétés extérieures, n'avoir plus rien qui accuse les éléments dont elle est formée. C'est l'action chimique, c'est la modification de tempérament due à ce puissant et mystérieux travail de l'affinité qui a produit cette merveilleuse et profonde transformation.

Le fer possède la faculté de se combiner avec un certain nombre de corps: c'est l'étude de ces combinaisons qui seule a pu faire prospérer la sidérurgie, l'amener au point de production remarquable de nos jours, et qui la conduira, dans un avenir plus ou moins éloigné, vers toute la perfection possible. C'est la connaissance intime des alliances recherchées ou repoussées par le fer qui donne aux produits du maître de forges les qualités voulues pour tel usage, qui lui permet de produire à volonté de la fonte, du fer ou de l'acier de compositions variées répondant à des besoins

divers, et, suivant l'expression en usage dans les hauts fourneaux, de « faire sa soupe comme il l'entend ».

Ces alliances, naturelles ou imposées, sont de deux sortes : celles qui ont lieu avec des corps utiles, et celles qui se forment avec des corps hostiles aux combinaisons recherchées par l'industrie.

Au nombre des premiers se rangent l'oxygène, le carbone, le silicium. Les seconds, ceux qu'on redoute le plus, sont le soufre, le phosphore et l'arsenic.

Enfin, les uns et les autres peuvent être tantôt des amis et tantôt des ennemis, suivant leur manière de se comporter et suivant la proportion dans laquelle ils s'allient au fer.

Le premier de tous, le plus important à cause de sa coopération considérable dans la métallurgie, c'est l'oxygène. Aucun ne s'allie au fer avec une aussi grande facilité; on peut même dire que ces deux corps se recherchent avidement. C'est par l'oxygène que se produit toute combustion, et l'intensité de cette combustion dépend absolument de la quantité d'oxygène entrant dans la combinaison : car, aux yeux du chimiste, brûler n'est autre chose que se combiner avec l'oxygène.

Mis en contact avec l'oxygène, le fer brûlera suivant la facilité qu'il présentera pour se laisser pénétrer par cet agent, autrement dit, selon qu'il sera plus ou moins divisé.

Réduit à l'état chimiquement pur, c'est-à-dire débarassé par la décomposition de tout contact étranger, le fer se présente sous l'aspect d'une poudre excessivement fine : en cet état, il suffit de le répandre dans l'air pour qu'il se convertisse en une pluie de feu; chaque molécule, baignée par l'air ambiant, s'est emparée avec avidité de l'oxygène et retombe sur le sol à l'état d'oxyde de fer.

La même cause donne leur éclat si vif aux étincelles du briquet, à celles qui jaillissent du fer d'un cheval glissant sur le pavé ou qui s'échappent de la meule malgré l'eau qui l'inonde. Si l'on introduit dans

un flacon rempli d'oxygène pur un léger morceau de fer préalablement rougi, il brûlera avec un éclat incomparable sous l'influence de l'oxygène et se reconstituera sous forme de gouttelettes noirâtres, au fond du flacon, à l'état d'oxyde de fer.

Une barre de fer chauffée à blanc et sortie du feu brûle en projetant de nombreuses et éblouissantes étincelles; c'est encore l'oxygène accouru pour se combiner au fer qui active sa combustion au point de le rendre lumineux et qui le convertit en oxyde; c'est également lui qui s'empare de ces particules détachées sous le choc du marteau du forgeron, et qui, après les avoir brûlées, les abandonne sous forme de paillettes noirâtres. C'est lui, enfin, qui produit dans les feux d'artifice ces pluies lumineuses d'un si heureux effet : un peu de limaille de fer mélangée à la poudre provoque le phénomène. La limaille porphyrisée s'enflamme au contact de la poudre et sollicite l'action de l'oxygène de l'air, absolument comme dans la première expérience citée. Si énergique est cette action de l'oxygène que si l'on approche du jet d'air lancé par la tuyère d'une forge un morceau de fer rouge, loin de se refroidir, il passe au blanc éblouissant et brûle presque aussi vivement que dans l'oxygène pur.

La constatation de ce fait est capitale au point de vue métallurgique. Toutefois cette combustion par suite du contact de l'oxygène est rapide ou lente, selon que ce gaz est sec ou humide. Plongé dans de l'oxygène parfaitement sec, un morceau de fer poli ne s'altère aucunement et garde son poli. Quand cet oxygène est celui de l'air, son action se manifeste suivant la somme d'humidité contenue dans l'air. Dans l'air parfaitement sec le fer se conserve intact : l'on a pu laisser des objets en acier poli, dehors, durant des mois entiers, la nuit aussi bien que le jour, dans des contrées chaudes souffrant particulièrement d'une extrême sécheresse, et les retrouver n'ayant subi aucune altération. Que, par contre, l'on abandonne dans une atmosphère tant soit peu humide une pièce de fer poli;

l'on ne tarde pas à voir ce fer se piquer de petites taches qui, grandissant peu à peu, envahissent l'objet tout entier; c'est la rouille, l'oxyde, qui a pris possession du fer et le brûle lentement, mais incessamment. Au bout d'un certain temps, des lamelles se soulèvent, se détachent de la masse et laissent apercevoir une poussière spéciale, qui, après des années, des siècles, peut-être, finira par s'emparer un à un des atomes composant ce morceau de fer. C'est une combustion lente, qui se traduit par des combinaisons multiples avec l'oxygène et donne naissance à divers oxydes de fer, dont la teinte varie du jaune pur au rouge sang.

Cette propriété comburante de l'oxygène est journellement mise à profit dans l'industrie pour obtenir les rapprochements parfaitement étanches des feuilles métalliques constituant les réservoirs et les gazomètres. Si parfaite et si énergique que soit la rivure unissant les tôles entre elles, ces appareils contiendraient imparfaitement les liquides et les gaz qu'on y enferme. Pour obvier à cet inconvénient, on bouche les joints avec un mastic composé d'oxyde de fer ou rouille, qui se développe à son tour dans une certaine mesure et rend les appareils absolument étanches.

Cette grande affinité de l'oxygène pour le fer rend ce dernier absolument impropre à tous usages quand la combinaison est complète. Afin de nous aider à en atténuer les effets, nous recourons au carbone, pour lequel l'oxygène a encore plus d'entraînement. En faisant chauffer le métal dans un courant d'oxyde de carbone ou dans une masse de charbon, on délivre le fer de cette association qui lui plaît, mais qui nuit à l'usage qu'on lui assigne. On produit ainsi, contrairement à la nature, une action qui est la base capitale de la métallurgie: on combine, pour les expulser ensemble, l'oxygène et le carbone, en retenant, toutefois, une certaine proportion de ce dernier.

Ce sont les quantités de carbone contenues encore dans le minerai après son traitement qui lui donnent

son nom et son emploi, qui lui assurent des propriétés spéciales. S'il contient 3 à 6 pour cent (en poids) environ de carbone, c'est de la fonte; s'il en possède un demi-centième au plus, c'est du fer proprement dit; enfin s'il en renferme entre 1 et 3 au plus, c'est de l'acier.

Toute la science du métallurgiste consiste à ne laisser dans le fer que la proportion de carbone voulue. Nous verrons plus loin que, l'industrie multipliant de plus en plus l'emploi du métal très pur, les efforts des producteurs tendent tous vers ce *desideratum*: produire le fer le plus pur en soumettant le minerai au moins grand nombre possible d'opérations.

Le carbone, suivant l'intimité de sa combinaison, rend le fer ou dur ou tendre; selon son abondance, il l'empêche de se souder avec lui-même, ou lui donne la faculté de se liquéfier. La plus petite variation dans la quantité introduite communique au fer des propriétés différentes.

La silice, autrement dit silicium, est un des corps les plus répandus dans la nature et l'un de ceux dont l'industrie tire le plus largement parti. Il se présente à nos yeux sous la forme de cailloux (silex), de cristal de roche, d'agates, de sable, de grès. Abondamment combiné avec le minerai, sa présence a été longtemps gênante pour le sidérurgiste; c'est la silice qui forme la base du *laitier*, dont nous dirons le rôle, les inconvénients et l'emploi. Mais depuis que la production des hautes températures rend plus facile la réduction de la silice, l'on utilise ses propriétés pour rendre les fontes plus fluides et plus propres au moulage. Une fonte contenant 2 à 5 pour cent de silicium épouse mieux les reliefs et les dépressions du moule.

L'ennemi du fer le plus répandu c'est le soufre, dont les traces se rencontrent partout dans la nature. Il a pour le fer une affinité très grande, et sa présence est si contraire aux opérations du métallurgiste qu'on l'élimine avec une extrême rigueur. Les minerais qui en contiennent sont d'abord grillés avant d'être traités dans les hauts fourneaux; mais, si leur teneur atteint un

certain degré, ils sont rejetés comme étant d'un traitement trop coûteux.

Le fer qui contient du soufre possède une certaine ténacité à froid, toutefois il est mou. S'il est chauffé, il devient cassant et ne peut se forger, même si la proportion atteint seulement deux kilogrammes pour mille.

Les sidérurgistes échappent à ce danger en introduisant pendant la fonte une forte proportion de chaux pour produire du calcium qui s'empare avidement du soufre; cette combinaison se retrouve dans les laitiers à l'état de sulfure de calcium et débarrasse la fonte de sa présence.

Par contre, le soufre offre quelques avantages: comme le silicium, il rend les fontes plus fusibles et les durcit. Il a sur le fer une telle puissance qu'on peut traverser un fer rougi de trois centimètres d'épaisseur avec un simple bâton de soufre: le fer est percé comme avec un emporte-pièce; mais ce moyen perd tous les avantages qu'il paraît présenter, parce qu'en se laissant pénétrer par lui, le fer absorbe le soufre au point de perdre toute sa force.

Également nuisible est la présence du phosphore. Jusqu'ici l'on avait constaté son existence dans presque tous les minerais et reconnu des combinaisons plus ou moins complètes; mais, tant que la proportion ne dépassait point un pour cent, les métallurgistes se bornaient à classer soigneusement les fers qui contenaient ce corps nuisible. On savait même qu'il faisait le fer plus facile à souder, l'amenait à la chaleur blanche avec moins de combustible et le rendait d'un travail plus facile; le fer un peu phosphoreux est plus dur et plus résistant à l'usure. Mais, avec les nouvelles méthodes de traitement des minerais, où de puissantes colonnes d'oxyde de carbone traversent les *étalages*, la combinaison du phosphore et du carbone est extrêmement redoutée. Aujourd'hui surtout qu'on produit des masses d'acier, la présence du phosphore et du carbone réunis disqualifient immédiatement le produit. Il

suffit de la proportion d'un millième pour rendre la fonte inhabile à devenir de l'acier.

Quelques petites compensations se rencontrent dans son alliance très mitigée avec les fontes : celles-ci deviennent plus fusibles et restent plus longtemps liquides ; en revanche elles sont extrêmement cassantes.

On a la même appréhension pour l'arsenic, qui se rencontre, mais peu souvent, dans les minerais. Ses avantages et ses inconvénients sont à peu près les mêmes que ceux du phosphore ; en outre, il diminue la ténacité du fer. Les avantages ne compensant point les inconvénients, les sidérurgistes s'abstiennent de traiter les minerais contenant de l'arsenic, tant la fonte produite par eux est difficile et coûteuse à affiner.

Là où le fer affirme bien sa souveraineté sur les autres métaux, c'est qu'il n'emprunte aucune qualité aux autres métaux avec lesquels on veut l'allier. Ses alliages n'ont aucun emploi. Le métal possède par lui-même toutes les qualités qui le placent à la tête des produits métallurgiques. L'on se borne à développer ses vertus par un mélange en proportions minimales de quelques métaux, dont les plus usités sont le manganèse et le chrome.

Le manganèse, qui est un peu le frère du fer, allié avec le fer, élève son point de fusibilité, le durcit et nuit peu à sa malléabilité. Il peut entrer jusqu'à la proportion de 25 pour cent dans la fonte ; à ce point de combinaison il détruit la propriété magnétique.

Le chrome n'offre à peu près que des avantages à être mélangé aux fontes. Il augmente la dureté, l'élasticité, la force de tension. Ses bonnes qualités sont si bien reconnues aujourd'hui qu'on essaye de le substituer au carbone, et que, maintenant, on prépare des aciers dans lesquels on incorpore des fontes contenant jusqu'à 65 pour cent de chrome. Ces aciers servent à fabriquer des outils tellement durs que la trempe est inutile.

Le tungstène se manipule aisément, comme le chrome, et il possède les mêmes qualités à un degré

moindre ; cependant il offre cette particularité de rendre le fer beaucoup plus magnétique.

L'avenir le plus brillant est réservé à l'alliage du fer et du nickel. Le fer y gagne de la dureté, et lui qui est si facilement oxydé devient à peu près inattaquable par les acides. A un degré inférieur toutefois, le cobalt lui communique les mêmes qualités.

Il est enfin d'autres alliances imposées au fer par l'oxygène et quelques autres corps. Les combinaisons dont les produits sont plus ou moins solubles dans l'eau portent le nom de sels de fer. Elles sont nombreuses ; les principales et les plus communes sont : le protoxyde de fer, qui sature les acides les plus forts et donne naissance à des sels d'une application très répandue. C'est du protoxyde de fer traité convenablement qu'on extrait la couperose verte (sulfate de protoxyde de fer) si précieuse pour le chaulage des grains et la désinfection des lieux fétides, l'acétate de fer si employé par les teinturiers pour la teinture en noir, le tannate et le gallate de fer qui donnent la couleur à l'encre. Viennent ensuite le peroxyde de fer, l'oxyde magnétique, dont les applications sont fréquentes dans la chimie industrielle et dans la médecine ; enfin l'acide ferrique.

Pour bien connaître notre métal il faut encore passer en revue ses principales propriétés physiques, étudier ses capacités essentielles.

La densité du fer est ordinairement 7.25, c'est-à-dire qu'un cube de fer d'un décimètre pèsera 7 fois un quart autant que le même volume d'eau.

Il se tient donc à un rang moyen parmi les métaux. Il prend la tête s'il s'agit de comparer sa ténacité, sa résistance à la rupture. Il faut un poids de 250 kilogrammes pour amener la rupture d'un fil de fer ayant seulement 2 millimètres de diamètre ; et, cette rupture opérée, l'on constate que le fil a subi un allongement fort restreint.

Ce métal si difficile à rompre, en d'autres termes si résistant à la traction, se laisse facilement entamer par

un instrument tranchant ; l'acier trempé se divise parfaitement. Le fer est liant, flexible au delà de ce qu'on pourrait supposer. Nous en avons un exemple quotidien par l'emploi du fil de fer qui se présente à nous sous les formes les plus variées. L'Exposition universelle de 1878 offrait de curieux spécimens de la ductilité du fer : des barres de fer rondes d'un diamètre de 0.08 à 0.10, ou d'un équarrissage de 0.10, étaient roulées, tordues, nouées comme de simples cordes, nattées ensemble comme des rubans de soie.

Cette précieuse ductilité ou malléabilité du fer se manifeste encore par la docilité avec laquelle, au lieu de se briser, il s'aplatit, cède sous les coups du marteau, se laisse amincir sous les étreintes du laminoir ou allonger par la filière du tréfileur. De toutes ces opérations, la mieux supportée par lui est l'étirage; sous le laminoir, bien que finissant par céder, il se montre le plus récalcitrant des métaux. Mais il convient d'ajouter que ces épreuves forcées modifient sa nature, altèrent ses qualités et le rendent cassant. Ses molécules s'allongent, s'isolent l'une de l'autre, puis la cohésion cesse brusquement; en terme de métier, il s'écrout. C'est le même effet qui se produit, mais dans des proportions autrement formidables, par le passage d'un boulet au travers d'une plaque de blindage qu'il arrache, par la rupture des essieux de wagons et de locomotives sur les chemins de fer. Le métal a travaillé; sous l'influence de forces dépassant sa résistance, il a subi un écrouissage fatal.

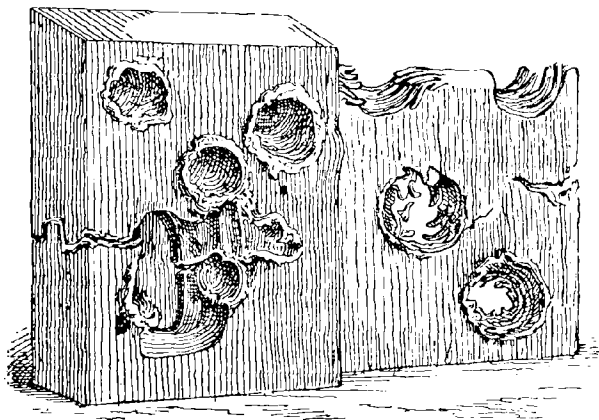
Le fer a protesté à sa manière contre les violences qu'il a subies; mais il a si bon tempérament qu'un traitement approprié lui rend ses qualités premières. Remis au feu, l'écrouissage disparaît et le fer se prête de nouveau à tout ce qu'on exige de lui. C'est pour éviter l'écrouissage que le forgeron façonne sa pièce en lui donnant plusieurs *chaudes* successives.

Il est encore doué d'élasticité selon le degré de sa combinaison avec le carbone.

A l'état de fer doux ou à peu près pur, il est mou et

garde le pli qu'il a reçu; à l'état d'acier, il jouit de propriétés élastiques, dont les plus frappantes applications sont les lames dites de Tolède et les lames de scie.

Sous l'influence de causes désorganisatrices diverses le fer change d'aspect, de texture. Le fer non altéré,



Plaques de blindage attaquées par des projectiles, et montrant l'écrasement du fer sous l'effet du choc.

rompu avec intention, présente une cassure nette, montrant des grains très fins, d'une teinte grise, mate et uniforme. Sous des chocs répétés, ou bien soumis à des vibrations prolongées dont le magnétisme terrestre aggrave les inconvénients, le même morceau présentera une cassure toute différente. L'aspect en sera miroitant, et il apparaîtra composé de grains cristallins mal agglomérés. Un fer ainsi modifié doit subir un nouveau forgeage pour retrouver ses qualités premières.

Enfin, et c'est une de ses plus précieuses propriétés, le fer possède une très grande capacité calorifique. Il prend assez bien la chaleur, mais elle est plus longue que pour les autres métaux à se prolonger dans sa masse; par contre, elle s'en échappe moins vite. C'est

lui qui, de tous les métaux, exige la plus haute température pour entrer en fusion; malgré l'état avancé de la science, l'on est encore mal fixé sur le degré nécessaire à ce résultat.

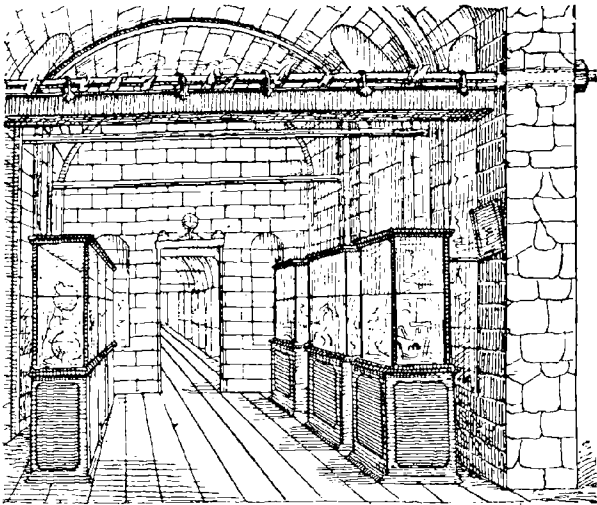
Cet ensemble d'heureuses conditions facilite singulièrement le travail du forgeron, qui peut impunément manier un morceau de fer rougi d'un bout et prendre le temps de le marteler sans qu'il perde le degré de chaleur voulu.

En contact avec le feu, le fer se dilate, autrement dit augmente de volume. Il suffit même d'une chaleur peu élevée pour produire ce phénomène. C'est pour en éviter les inconvénients que, sur nos voies ferrées, les rails ne se touchent jamais complètement; entre chacun on maintient soigneusement un écartement léger. La chaleur solaire et la chaleur produite par le frottement résultant du passage rapide des trains amènent un allongement des rails, qui, sans cette précaution, se rejoindraient, s'arc-bouteraient énergiquement et, dans certains cas, produiraient une force élastique assez puissante pour projeter les trains hors de la voie.

Par contre, sous l'influence du froid le fer se contracte, diminue de volume; soumis à une basse température, il devient même cassant.

Cette double propriété est utilisée en faisant entrer le fer dans la construction des balanciers d'horloges dites horloges à régulateur. Le cuivre subissant les effets inverses du fer, l'on alterne des tringles de cuivre avec des tringles de fer, et, lorsque la chaleur produit sur le fer l'allongement habituel, le cuivre corrige cet allongement; de cette manière, au lieu de descendre et de décrire un mouvement de plus grande amplitude exigeant plus de temps pour se produire, la lentille du pendule reste toujours au même point et garde une marche parfaitement régulière. L'on a encore appliqué la dilatation du fer dans une opération bien connue ayant eu pour but le redressement des murs du Conservatoire des arts et métiers de Paris. Un écartement menaçant ayant été constaté, on résolut d'y

remédier par un procédé simple. De vigoureux tirants en fer furent passés au travers des murs et maintenus par de puissants écrous ; une fois en place, on alluma sous chacun d'eux des foyers qui les amenèrent au rouge cerise. Au fur et à mesure qu'ils s'échauffèrent,



Redressement des murs d'une galerie, au Conservatoire des arts et métiers, par le chauffage des tirants.

on serra les écrous jusqu'au point calculé pour éviter la rupture ; puis on éteignit les feux. En se refroidissant la contraction se fit et eut lieu avec une telle force, que les murs, irrésistiblement entraînés, reprirent l'aplomb qu'ils avaient perdu.

Enfin le fer acquiert à un haut degré la vertu magnétique. L'aimant naturel, dont nous allons bientôt parler, l'attire et lui communique, en outre, sa curieuse propriété.

Quel que soit le moyen employé pour transformer en chaleur le mouvement appliqué au fer, il est immédiatement influencé par la force magnétique tant que cette

chaleur ne dépasse point la température ordinaire ; mais si elle atteint le point dit chaleur blanche, toute propriété magnétique est perdue. La limaille provenant d'un barreau de fer aimanté a également perdu cette propriété. Pour le devenir à un degré convenable, pour rester magnétique surtout, le métal doit présenter diverses conditions. Il doit contenir une certaine dose de carbone : le fer *doux*, qui en contient fort peu, cesse immédiatement d'être magnétique dès que l'influence qui lui communiquait cette vertu ne s'exerce plus ; le fer contenant du tungstène est doué d'une grande propension magnétique et il perd moins vite que d'autres la faculté magnétique. L'acier surpasse à cet égard toutes les autres combinaisons du fer. Trempé, puis aimanté, il garde indéfiniment cette singulière propriété et devient à son tour capable de communiquer, sans s'appauvrir, la même propriété à d'autres aciers, à d'autres fers. Par l'épreuve magnétique l'on est parvenu à distinguer entre un fer et un acier.

Le fer s'aimante sous l'influence de nombreuses causes : quand il est frictionné avec un aimant naturel ou artificiel, quand il est tenu un certain temps dans une position presque verticale, si on le martèle ou si on le *manie* de façon à produire des vibrations dans sa masse, quand on le passe sur la meule, quand on l'use avec une lime. Des expériences longuement suivies ont prouvé que certains rayons du soleil avaient des propriétés magnétiques. On a parfaitement polarisé des aiguilles en dirigeant exclusivement les rayons violets du soleil sur un seul côté du petit instrument. Un aimant exposé pendant un temps prolongé à la forte lumière du soleil acquiert deux et trois fois plus de force qu'un aimant ordinaire.

L'électricité est la source par excellence d'aimantation. Un fer par lequel passe un courant électrique se trouve instantanément magnétique, mais sa nouvelle propriété disparaît avec la cause qui la lui a communiquée ; en revanche, il gagne en ténacité dans la pro-

portion de 15 pour cent; il supporte après le passage du courant électrique une charge qu'il n'aurait point supportée auparavant.

Jusqu'à Arago ce phénomène était resté dans les limites étroites du cabinet du physicien. Mais, quand le grand savant eut inventé l'électro-aimant, les esprits déliés virent bientôt quel immense parti l'on pouvait tirer de la découverte. En effet, la science encore si jeune des applications de l'électricité doit ses rapides progrès à l'aimantation facile du fer. Entre les deux agents existe un échange de phénomènes qui sont loin d'avoir dit leur dernier mot : nous pouvons en apprécier la portée par tout ce que nous a déjà donné ce nouveau venu, l'électro-magnétisme, duquel on peut dire qu'il est appelé à bouleverser le monde.

Il n'est pas téméraire de penser qu'entre le siècle à venir et le nôtre il y aura la même différence qu'entre le dix-neuvième siècle et ses prédécesseurs. Un abîme aussi profond que celui qui sépare l'âge de pierre de l'âge du fer marquera la distance entre les temps présents et les temps prochains, grâce à cette seule propriété de l'aimantation du fer.

DEUXIÈME PARTIE

LE TRAVAIL DU FER

I

LES MINÉRAIS

Maintenant que nous savons à peu près ce qu'est le fer, au double point de vue chimique et physique, nous avons à nous inquiéter de son origine et des procédés employés pour le convertir en un produit industriel.

Tout minéral contenant du métal en proportions notables est un minéral, pourvu qu'il y ait avantage à le traiter industriellement. Le fer est un des métaux qu'on trouve uni aux minéraux les plus variés; mais les métallurgistes ne distinguent que trois classes utiles de minéraux ferrugineux : les peroxydes, les oxydulés, les carbonates produisant ensemble à peu près quatorze espèces de minerais ordinairement employés pour l'alimentation des hauts fourneaux.

Nous ne parlerons ici que pour mémoire du fer naturel ou fer météorique. C'est un produit accidentel des matières cosmiques qui tourbillonnent dans l'immensité sans avoir pu se condenser. Entraînés par le mouvement général des corps célestes, ces fragments de matières viennent-ils à rencontrer un astre, ils se trouvent saisis par la force d'attraction propre à cet astre et se joignent à lui avec une vitesse incalculable qui développe une chaleur et un éclat très intenses.

Lorsque la température ainsi produite est suffisamment élevée, le phénomène consiste en une vaporisation du fragment enflammé; souvent ce morceau de monde vagabond se volatilise en produisant dans sa course une traînée éblouissante et se disperse en innombrables débris. Tels sont les bolides et les étoiles filantes.

Le fer natif a la même origine. Il se compose de fragments tombés auxquels on donne le nom de météorites. Il existe de ces fragments un peu dans tous les pays du globe où quelques-uns se font remarquer par leurs dimensions : nos musées en renferment dont le poids dépasse 700 kilogr ; l'on en cite qui pèsent plus de 15.000 kilogr., et l'on estime que celui de Thorn dépasse 100.000 kilogr. Le Groënland et la Sibérie sont particulièrement riches en fer de cette origine. Il est à croire que les premiers forgerons trouvèrent ainsi les matériaux de leurs produits et que des sites nombreux de fer météorique ont existé. On affirme que le fer travaillé par les Maures du Sénégal n'avait pas d'autre origine, il y a peu de temps encore.

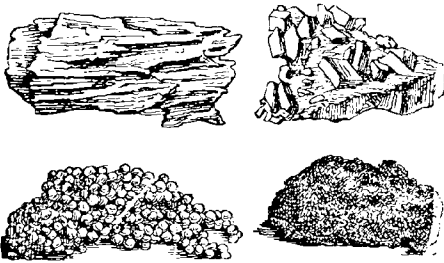
Le fer météorique est presque toujours d'une très grande pureté. Dans la plupart des cas il est apte à passer immédiatement sous le marteau du forgeron. Il se distingue par la présence de certaines lignes disséminées dans sa masse et que le polissage fait ressortir. Ces lignes sont dues à la présence du nickel, presque toujours combiné au fer dans des proportions sensibles.

En tête des minerais utilisés par le métallurgiste se placent les peroxydes. Ce sont des fers déjà *brûlés* par l'action de l'oxygène, et que l'on revivifie par le passage dans le haut fourneau. Ils se subdivisent en deux variétés bien distinctes: le peroxyde anhydre et le peroxyde hydraté.

La première espèce, connue encore sous le nom de fer oligiste, hématite, oxyde rouge, est extrêmement riche: elle contient environ 70 pour cent de fer; mais ses gîtes sont assez rares. Le plus célèbre de tous est celui de

l'île d'Elbe, exploité par les premiers Étrusques, et qui fournit encore de nos jours d'abondants produits.

La seconde espèce, le peroxyde hydraté, est plus communément appelée hématite brune; moins riche que le fer oligiste, elle contient encore 60 pour cent de fer. On la rencontre en rognons, en masses compactes et de formes diverses : la plus fréquente ressemble à un assemblage de pois, d'où son nom de pisolithe ; d'autres



Fer spathique.
Fer oolithique.

Fer carbonaté cristallin.
Fer hydraté.

fois, on croirait voir des amas d'œufs de poissons pétrifiés, ce qui l'a fait appeler oolithe. Sa couleur est jaune de rouille, ou plutôt c'est la rouille véritable, c'est-à-dire de l'oxyde de fer hydraté, combinaison d'oxygène et d'eau avec le fer. En cet état, c'est le plus répandu de tous les minerais, et l'on peut dire qu'il n'est aucun point du sol où il n'existe en couches plus ou moins puissantes.

Les minerais oxydulés viennent au second rang par leur abondance ; mais ils pourraient prétendre à la première place par leurs qualités, par leur pureté, car ils ne contiennent pas moins de 70 pour cent de fer. La pierre d'aimant des anciens, le fer magnétique des modernes ne sont autre chose que l'oxyde magnétique. Seul il attire naturellement le fer; c'est l'aimant. Il ressemble à une pierre noire à reflets métalliques, dure,

faisant feu au briquet, de contexture tantôt cristalline et tantôt granuleuse; parfois il a l'aspect de sable.

C'est à ce minerai hors ligne que la Suède doit la réputation de ses incomparables fers. C'est lui qui a commencé et qui mènera haut la fortune de la province d'Oran, qui en possède un gisement inépuisable dont se rendent aujourd'hui tributaires les sidérurgistes de l'étranger. Un important marché vient d'être conclu avec les États-Unis pour fournir aux usines américaines, pourtant si bien approvisionnées, d'énormes quantités de ce minerai sans égal. C'est encore lui qui, dans nos provinces de Bretagne, d'Anjou et de Normandie, permettait aux vieux Gaulois d'acquérir leur réputation d'habiles forgerons.

Les carbonates, qui viennent en dernier lieu, se distinguent en fers spathiques et en carbonates lithoïdes.

Le fer spathique est d'un aspect blanc, un peu blond et nacré; il se rencontre généralement sous la forme lamellaire et contient environ 40 pour cent de fer pur.

D'une décomposition facile, il devient jaunâtre ou même brun, suivant l'état d'altération des cristaux. Plus il est décomposé, plus il est recherché par les métallurgistes, parce que le minerai gagne en rendement métallique. De ce minerai on fait aisément de l'acier. Il fournit à la production du Creusot, à celle des fameuses usines d'Essen.

Les carbonates lithoïdes (leur nom le dit) se présentent sous l'aspect de pierre; ils n'ont pas un degré de pureté aussi grand que le fer spathique, et ne permettent point la production de l'acier; mais ils offrent le grand avantage de se trouver dans les mêmes terrains que la houille. C'est un produit des couches carbonifères, et souvent on l'extrait du même puits que le charbon avec lequel on le jette dans le haut fourneau. C'est cette circonstance, précieuse en certains cas et fréquente en Angleterre, qui l'a fait appeler fer carbonaté des houillères.

Il est encore une combinaison fréquente à l'état de

minerai ; celle du fer et du soufre. Composée d'un tiers de fer et de deux tiers de soufre, elle forme la *pyrite jaune* reconnaissable à ses cristaux dorés ; on la trouve plus particulièrement dans les roches feuilletées (schistes ardoises). Quand le minerai contient moitié fer et moitié soufre, c'est la pyrite blanche, laquelle se décompose aisément à l'air et se transforme en sulfate de fer. Ces deux sortes de minerais sont la terreur des sidérurgistes, qui les expulsent avec le plus grand soin, mais non toujours avec un entier succès. Le soufre, avons-nous dit précédemment, détruit les bonnes qualités du fer et résiste longuement aux efforts du métallurgiste, quand sa présence a été constatée.

Chaque espèce des minerais que nous avons mentionnés affecte des gisements particuliers, se rencontre dans une nature de sol déterminé. Le fer oligiste ne compte que peu de mines exploitées. En France, on le tire de l'Ardèche et de quelques filons des Pyrénées ; les Anglais en ont une variété. Le duché de Nassau et surtout le bassin de la Meuse, enfin la célèbre mine de *Rio* dans l'île d'Elbe, fournissent au reste de la consommation européenne.

Les minerais hydratés, nous l'avons dit, sont les plus abondants de tous ; on les rencontre sur tous les points des terrains déposés par les eaux. Ils saturent les couches sédimenteuses composées d'alluvions, de graviers, de sable et d'argile. Ce sont eux qui alimentent nos forges du Berry, de la Champagne, des Ardennes, de la Sambre, de la Moselle.

Les oxydulés sont renfermés dans les plus anciennes couches de la croûte terrestre ; c'est dans les granits, les gneiss, les schistes, les grès primitifs qu'ils se rencontrent. La Suède, l'Algérie, la Sardaigne, l'île d'Elbe, — masse de fer plutôt que débris d'un continent, — la Grèce, la Toscane, l'Oural, des points nombreux en Amérique, nos provinces de l'Ouest en France, fournissent les minerais oxydulés.

Quant au fer carbonaté cristallin, les Alpes, les Pyrénées, la Westphalie possèdent les gîtes les plus pro-

ductifs. Mais aucun ne peut lutter avec la puissante production de la Styrie et de la Carinthie. Là, existe le gisement de fer spathique le plus puissant du monde; il est désigné sous le nom caractéristique de montagne de minerais. Circonstance curieuse! c'est dans le voisinage de ce gîte puissant qu'ont été retrouvées les traces du plus ancien fourneau, pendant les études nécessaires à l'établissement, sur le même point, d'une usine métallurgique pourvue des plus modernes moyens d'action. L'Espagne dans la Bidassoa, l'Italie dans les districts de Bergame, de Brescia et de Côme, l'Algérie possèdent aussi des gîtes importants de fer carbonaté cristallin.

Le lithoïde ne se rencontre guère en France que sur deux points où l'on puisse l'utiliser avec profit : dans le bassin d'Aubin et à Palmesalade (Gard). Le Morbihan et la Russie recèlent des schistes qui en contiennent également. C'est surtout en Angleterre qu'il se rencontre; mais, comme les Anglais ont exploité à outrance cette source de richesses, il leur faut maintenant soit se rejeter sur des minerais indigènes assez pauvres, soit recourir aux minerais étrangers.

Pendant longtemps on se contenta de recueillir le minerais reconnu à fleur du sol; bientôt conduits à satisfaire aux exigences d'une industrie croissante, les mineurs durent fouiller peu à peu le sol, y pénétrer, s'y enfoncer de plus en plus profondément pour suivre les filons dans leur trajet souterrain.

Nous n'entrerons point dans le détail de l'extraction du minerais de fer. Ce travail est semblable à celui de toute autre exploitation minière, et se fait tantôt à ciel ouvert, tantôt en galerie, tantôt par des puits, suivant la situation du gîte exploité.

Lorsque le produit des fouilles est amené au jour, il contient toujours une certaine quantité de matières étrangères; le premier soin du métallurgiste est de les faire disparaître. Les minerais pierreux forment la *gangue*, qui se compose de métal et de matières dures empruntées au quartz, au grès, au schiste ou à l'argile,

et aussi d'autres moins résistantes, telles que la pierre calcaire ou la marne; ce qui, dans la pratique, fait diviser les minerais en gangue siliceuse (la silice forme la base des premières) et en gangue calcaire (la chaux domine dans les dernières).

Chacune d'elles exige un traitement particulier. Il ne suffit pas d'entasser pêle-mêle le combustible et le minerai pour obtenir de la fonte, premier produit de la sidérurgie moderne; il faut connaître intimement la nature du minerai, savoir la proportion de métal qu'il contient, déterminer la présence et le genre des matières stériles à expulser, et appliquer à cette opération des méthodes variant avec l'ennemi à combattre. On commence donc par analyser la gangue, par lui faire subir un essai au laboratoire; quand, d'après un certain nombre d'échantillons prélevés sur la masse, on a pu se fixer, on détermine à quels auxiliaires on devra recourir pour vaincre la résistance du métal à s'échapper de sa prison.

En métallurgie, ces auxiliaires s'appellent les *fondants*, parce qu'ils aident à la fusion du minerai. Leur emploi est basé sur la connaissance des attractions que certains corps exercent l'un sur l'autre. Si l'oxygène est l'ami du fer, il est davantage encore celui du carbone; voilà pourquoi on les met tous deux en présence, afin de faire abandonner le métal par l'oxygène au profit du carbone.

Les gangues dures sont fort difficiles à réduire, à cause de la présence de la silice, qui exige des températures très élevées.

Sachant que la silice a une tendance marquée à se combiner avec la chaux, on ajoute de la chaux dans les gangues siliceuses, et le fer, débarrassé de la silice qui va s'allier à la chaux, s'échappe libre hors du fourneau.

Quand, au contraire, l'on doit traiter des gangues calcaires, c'est la silice qui fait défaut; il convient d'en adjoindre à la chaux en excès.

Une fois fixé sur la valeur de son minerai, le métal-

lurgiste doit encore lui faire subir différentes opérations préparatoires. Si les matériaux sont souillés d'argile ou de boue, il faut les en débarrasser, parce que toute matière étrangère n'est expulsée du métal qu'au prix d'une grande dépense de peine et de combustible. Ces soins préliminaires n'ont rien de scientifique; ils sont pris dans un simple but d'économie.

Le minerai bourbeux ou empâté d'argile est lavé dans une sorte de cuve où circule un courant d'eau. Le minerai est remué par les palettes d'une roue mécanique appelée *patouillet*, ou même à la pelle. C'est le *débourbage*. Parfois il suffit de projeter sur la gangue entassée un fort et abondant jet d'eau.

A la suite de cette opération, l'on concasse le minerai en morceaux à peu près uniformes pour faciliter la marche régulière de la fusion. A cet effet, dans les petites usines, on met tout simplement les plus gros morceaux sous le marteau même de la forge, et l'on passe au crible. Dans les ateliers importants, l'on jette la gangue sous les pilons du *bocard*.

On appelle de ce nom une machine dont les organes essentiels se composent d'une auge allongée, d'une série de pilons dont la tête de fer doit broyer le minerai et d'un arbre de couche armé de *comes* ou saillies placé à petite distance, derrière la *batterie* de pilons.

Sur le manche de chaque pilon est une cheville qui se trouve accrochée par le passage des comes quand l'arbre est en mouvement. Chaque come étant convenablement disposée soulève le pilon et, quand elle est au bout de sa course, le laisse retomber de tout son poids sur le minerai. Les morceaux trop durs ayant résisté à cette opération sont repris après le *bocardage* pour être traités par le feu dans une opération qu'on nomme le *grillage*. Ils sont jetés dans des fours analogues aux fours à chaux, et subissent une cuisson qui les désagrège suffisamment pour accompagner le minerai brisé par le *bocard*.

A partir de ce moment commencent les réelles opérations métallurgiques. Elles méritent de fixer notre

attention. Pour les bien comprendre, nous allons passer successivement en revue les principes généraux sur lesquels se basait l'industrie d'autrefois, et ceux qui guident la sidérurgie actuelle.

II

LES MÉTHODES ANCIENNES

Pour étudier le passé industriel de l'homme, il suffit souvent d'examiner l'industrie des peuples modernes qui n'ont pas encore rejeté les langes de leur première enfance; absolument comme pour étudier ce qu'a été l'homme parvenu à sa croissance, il n'y a qu'à jeter les yeux sur les enfants de divers âges qui nous entourent.

C'est donc par l'examen de la métallurgie chez les peuples arriérés que nous pourrons voir ce qu'elle était chez les peuples disparus. Les méthodes primitives actuelles n'ont point varié de ce qu'elles étaient à l'aube de la civilisation. D'ailleurs, les produits provenant des races éteintes ont une telle similitude avec les produits des races déshéritées, qu'il est souvent difficile d'établir une distinction; dès lors il est aisé de reconstituer les procédés industriels du passé. Nous y sommes encore aidés par une multitude de ruines dont les âges comparés forment comme une série de jalons suffisamment espacés pour éviter toute erreur.

Tout se tient dans la marche de la civilisation, et les progrès les plus frappants pour l'esprit ne sont, en définitive, que la conséquence logique, presque inévitable, du besoin de perfectionnement qui tourmente l'espèce humaine.

Il est bien probable que le premier emploi du fer a été amené par la découverte heureuse de quelque ancêtre cherchant un raffinement dans l'organisation de sa lance et de sa flèche de pierre. Au lieu du silex mince et coupant, il aura eu l'idée d'adapter au bout de son arme une des lames plus minces encore et plus résistantes trouvées sur les blocs de fer météorique dont le sol était jonché. L'expérience lui ayant appris que ces lames se produisaient aisément sous le choc, il battit le fer natif de sa massue de pierre et en tira de nombreux fragments qui lui donnaient une arme plus pénétrante et plus meurtrière que celle de ses ennemis.

Les Esquimaux du Groënland n'avaient pas d'autre procédé pour fabriquer leurs armes et leurs couteaux de fer avant l'introduction des produits européens chez eux, il y a moins de quarante ans. Ces matériaux ne leur manquaient point; et, d'ailleurs, ils n'en avaient point d'autres. Aujourd'hui encore, on rencontre dans les régions désolées du Nord des météorites d'un poids considérable; non que ces produits des phénomènes cosmiques soient plus rares à présent qu'autrefois, mais l'homme a eu vite épuisé ces ressources dans les contrées qu'il habite depuis longtemps.

La méthode que nous venons de signaler était constatée en Amérique, à l'époque de la conquête espagnole. Elle existait en Afrique. Pallas l'a également vue employée dans les steppes de la Sibérie, au siècle dernier.

Il est difficile de saisir exactement la transition entre l'emploi du fer météorique à l'état naturel et le premier essai du forgeron. Quoi qu'il en soit, le fer météorique était et est encore forgé par tous les peuples peu avancés dans l'art de la métallurgie. Les Persans, qui fabriquent cependant de si remarquables armes, se bornent à prendre le minerai dans les mines de Caradagh tel que le sol le leur offre; ils le chauffent, puis le forgent et en fabriquent un fer très recherché par les tribus nomades.

Les premières traces qui nous soient parvenues de méthodes moins rudimentaires sont fournies par de vieilles ruines, trouvées en Carinthie, nous montrant l'embryon du haut fourneau. On a reconnu sur le flanc d'une colline des fossés superposés, dans lesquels les premiers métallurgistes entassaient le bois et le minéral, qui, après fusion, s'écoulait dans le fossé inférieur, où un second feu l'affinait.

De savantes recherches, confirmées par les faits les plus probants, ont permis de reconstituer les procédés métallurgiques de nos ancêtres préhistoriques. Tout le Jura bernois, la Belgique, la Suisse, une partie de la France contiennent un grand nombre de monuments grossiers noyés, en quelque sorte, sous d'épaisses couches de scories. Ces ruines sont celles des fourneaux servant alors au travail du fer; elles nous représentent très fidèlement les dispositions qui ont donné naissance à nos hauts fourneaux actuels.

Toutes ces forges antiques étaient construites sur le même modèle; le temps n'y apportait guère de modifications, chaque nation se communiquant et chaque génération se transmettant fidèlement les mêmes procédés.

En général, elles étaient adossées à un escarpement et se composaient essentiellement d'un foyer cylindrique construit en pierres grossières et garni intérieurement d'une épaisse couche d'argile. Les parois étaient consolidées par des masses de terre rejetées sur les flancs. Ils s'arrondissaient en forme de butte. Quelques marches grossièrement pratiquées le long de l'escarpement donnaient accès à la gueule du four, et servaient à y précipiter alternativement le charbon de bois et le minéral.

A la partie inférieure était une ouverture se rétrécissant progressivement; elle servait à la fois à régler le tirage et à brasser le métal au moyen de ringards en bois tenus mouillés.

Quand, après un long et pénible travail, le métal accumulé avait fini par s'agglutiner, l'on retirait de ces modestes fourneaux des lopins dont le poids ne dépassait pas...



Fourneau des temps préhistoriques pour le traitement
du minerai.

sait guère une douzaine de livres. A Colmar, à Abbeville, en Belgique, en Suisse, on a retrouvé des saumons de fer encore gisant au fond ou près du fourneau qui les avait produits : quelques-uns d'entre eux, déjà martelés, se présentent sous la forme d'un noyau allongé dont les extrémités ont supporté un forgeage plus accentué.

En Belgique, ces primitifs fourneaux étaient toujours orientés vers le point d'où soufflaient les vents dominants, et la construction se modifiait un peu en raison de la nature plate du pays. Ne pouvant l'adosser à un escarpement on donnait au fourneau la forme d'un cylindre légèrement conique ayant d'un à deux mètres de hauteur; dans le bas, à ras du sol, s'ouvrait une sorte d'entonnoir faisant le service du four; après chaque opération, on l'agrandissait aux dépens des parois pour en retirer le petit culot de fer qui s'y trouvait.

Cette forme, primitive entre toutes, se retrouve partout où l'on a recherché les traces des premiers travaux métallurgiques.

Elle était usitée chez les Phéniciens, chez les Égyptiens; elle est encore la seule adoptée par toutes les tribus de l'Afrique équatoriale et australe, de la mer Rouge à l'Atlantique, du Sahara au cap de Bonne-Espérance. Les Indiens n'en ont jamais admis d'autres, et leurs fourneaux actuels ne s'éloignent en aucune façon de la tradition. Dans l'Indo-Chine, dans la Malaisie, au Japon, les forgerons n'ont point de fourneaux d'un autre genre.

Les seules différences à constater entre les fourneaux des forgerons préhistoriques et ceux des peuples que nous venons de citer se bornent au choix des matériaux; la forme extérieure en est plus ou moins conique, l'intérieur du foyer présente parfois un ou deux étranglements destinés à ralentir la chute du minerai au fond de l'*ouvrage*; enfin quelques peuplades règlent le feu en pratiquant à la base du foyer plusieurs évents qu'on manœuvre absolument comme ceux des meules à charbon.

Avec le temps on appliqua à ces foyers l'usage des soufflets. Mais ce perfectionnement ne vint pas tout à coup. Les Indiens, gens obstinément fidèles aux pratiques du passé, se servent encore pour la plupart, afin d'activer le feu, d'une simple ramille feuillue, comme faisaient leurs ancêtres les plus éloignés. Néanmoins l'usage des soufflets est fort ancien. Il est



Premier haut fourneau belge, aux temps préhistoriques.

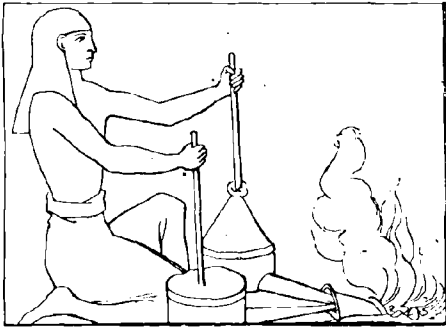
représenté sur les monuments de granit de l'ancienne Thèbes, où nous voyons des ouvriers soulevant alternativement de chaque main les tiges d'un piston qui refoule vers un fourneau l'air enfermé dans des outres de peau. Le soufflet des vieux Égyptiens se retrouve identiquement le même chez les peuplades qui habitent les bords du Zambèse.

Sur les rives du Rio-Nunez, l'appareil est plus primitif encore. Le feu est à terre; le vent y arrive par un tuyau de terre bifurqué que terminent deux outres en peau de chevreau. Ces outres font office de soufflet sous les mains d'un noir, qui comprime et laisse se relever chacune d'elles alternativement. La soupape, des plus simples, n'est autre chose que la main, qui

ouvre ou bouche l'ouverture extérieure de l'outre suivant qu'il s'agit d'aspirer l'air ou de le refouler par la tuyère. Une petite courroie maintient les doigts fixés au point voulu de l'outre.

Nos pères les Gaulois avaient adopté de bonne heure l'usage du soufflet.

Les antiques forgerons grecs s'en servaient, car



Soufflet de forge des anciens Égyptiens.

Homère nous représente Vulcain préparant les matériaux du fameux bouclier d'Achille dans un fourneau activé par *vingt paires de soufflets*.

Les Romains nous ont laissé peu de traces de leur métallurgie; ce travail était abandonné, avons-nous dit, aux gens de caste inférieure, et il est difficile de reconstituer exactement leurs primitives méthodes métallurgiques. Mais, si l'on se souvient qu'ils demandaient aux Étrusques et aux Grecs les produits de leurs forges, il est fort probable qu'en se faisant forgerons à leur tour, ils leur ont emprunté leurs procédés de fabrication. Nous les voyons tout de suite en possession de la méthode dite directe, perfectionnement déjà sérieux que nous décrirons tout à l'heure, et ils avaient connaissance des fondants. Ils savaient produire diverses qualités de fer.

L'on suppose, sans en être certain, qu'ils importèrent en Angleterre les premières connaissances métallurgiques, et qu'ils les perfectionnèrent au contact de nos pères les Gaulois, dont l'habileté étonna plus d'une fois leurs vainqueurs. On croit même que l'emploi de la force hydraulique pour la manœuvre des soufflets et pour le martelage est une découverte gauloise. L'on base cette prétention sur ce fait que de nombreuses ruines de forges remontant incontestablement aux Gaulois sont situées au bord de cours d'eau non navigables, au fond de vallons permettant l'établissement facile d'un barrage destiné à l'emmagasinement des eaux.

En somme, jusqu'au moment où les Romains, comprenant enfin l'importance du fer, inventèrent, dit-on, la méthode italienne ou catalane, la métallurgie fut réduite aux procédés sommaires que nous venons de décrire.

Ce fer impur, si péniblement produit et si peu abondant, ne pouvait recevoir un emploi immédiat. Il fallait le corroyer à maintes reprises, le marteler en plusieurs chaudes. Pour cette opération, les forgerons préhistoriques n'avaient que leurs cailloux emmanchés, avec lesquels ils battaient sur un bloc de pierre dure le pauvre *lopin* sorti du foyer. Tel était le prix du précieux métal, qu'il faut avancer jusqu'à une époque déjà rapprochée de nous pour constater l'usage de marteaux et d'enclumes de fer dans le traitement de notre métal.

Avec de si faibles moyens les hommes de l'âge du fer nous ont laissé des monuments étonnants, rappelant, constatant, par leur importance, une somme d'efforts aussi prodigieux que ceux nécessités par les mégalithes.

Voulant nous honorer, nous citons seulement, comme un témoignage de persévérance unique au monde, comme un problème non encore résolu des procédés métallurgiques des Indiens, le fameux pilier en fer de Dhava.

Ce pilier, considéré comme datant du m^e ou du iv^e siècle

de l'ère chrétienne, se voit dans la cour de la mosquée de Koutab, près de Delhi; il consiste en un fût massif de fer forgé, s'élevant à 6 mètres 75 centimètres au-dessus du sol, et mesurant, à un mètre et demi de sa base, 1 mètre 65 centimètres de circonférence. Il est enfoncé en terre et plonge à une profondeur de 4 mètres 80 centimètres. Cela fait une colonne d'environ 12 mètres de long, ayant au moins 1 mètre 50 centimètres de circonférence et représentant un poids supérieur à 12,000 kilogrammes.

On se demande comment, avec leurs petits fourneaux d'où ils tirent à peine 10 kilogrammes de fer, leurs minuscules enclumes et leurs marteaux proportionnés, les Indiens de ce temps ont pu produire une pièce semblable, une masse qui n'eût pu être forgée en aucune partie de l'Europe avant l'introduction des machines à vapeur et l'invention du marteau-pilon, et cela à une époque où la moitié du monde ignorait encore l'existence du fer.

On suppose que, patients comme l'étaient les anciens hommes, qui ne comptaient ni leur temps ni leur peine, doublement patients en leur qualité d'Indiens, ceux qui ont entrepris cette œuvre ont dû procéder par voie de soudure: en rapportant sans cesse de nouveaux fragments de fer, en maintenant constamment chaud le corps de l'ouvrage au moyen de feux mobiles, il ne paraît pas impossible d'être venu à bout d'une œuvre pareille. Cette supposition est rendue vraisemblable par ce fait que le monument a été atteint d'un coup de canon qui a produit dans la partie supérieure une courbure et une fente: or, cette fente n'accuse aucun déchirement du métal; elle montre seulement une séparation lamelleuse comme il s'en produit lorsque la soudure de deux pièces n'a pas été parfaite.

N'oublions pas non plus que nos ancêtres n'ont point reculé devant l'érection de monuments d'un poids plus formidable encore: le roulcau, le plan incliné, le levier employés par des masses considérables de travailleurs paraissent leur avoir suffi pour triom-

pher des plus rudes obstacles. Nous nous étonnons moins, dès lors, de voir debout un si prodigieux monument.

III

LES MÉTHODES MODERNES

Par l'emploi des soufflets, la métallurgie faisait un pas considérable, mais non décisif. Les méthodes restaient les mêmes, les résultats variaient suivant mille circonstances : selon le minerai employé, l'état du combustible, la marche du fourneau, selon le vent, selon la pluie, selon surtout l'habileté de l'ouvrier ou sa connaissance routinière du métier, le produit différait d'une opération à l'autre.

Néanmoins l'usage du fer se multipliait, et par cela même entraînait les hommes dans la voie du progrès. On trouva gênants ces fourneaux, activés seulement par le vent, qu'il fallait démolir en partie pour en extraire le métal, et reconstruire à chaque opération. Bientôt on reconnut la possibilité d'attiser le feu par la partie supérieure, et l'on fut amené à l'emploi du *bas foyer* ; c'est-à-dire que les parois destinées au tirage du feu disparurent, rendues inutiles par l'usage du soufflet ; on creusa le foyer dans le sol au lieu de l'élever au-dessus ; il devint une simple cuvette, dont l'intérieur était protégé par une épaisseur d'argile, et dans laquelle le métal s'amassait commodément. Il en résulta une surveillance plus facile, un travail moins pénible pour le brassage, une grande facilité pour sortir du foyer la masse métallique et la placer sur l'enclume.

Ces bas foyers facilitèrent la fabrication du fer à ce

point qu'il fallut multiplier les feux pour faire face aux besoins sans cesse croissants. On vit alors briller de tous côtés, dans tous les replis de terrain où le minerai se montrait en compagnie du combustible, les feux d'une multitude de petites forges répandant le bruit et l'animation jusqu'au fond des forêts.

Puis, lorsque la veine métallique se dérobaît ou présentait quelque difficulté sérieuse à l'extraction, lorsque les scories trop abondantes de son petit fourneau gênaient le forgeron, il s'en allait quelques pas plus loin creuser un nouveau foyer et transporter sa modeste industrie. Le sol entier de la Gaule était ainsi couvert de traces montrant la marche progressive, pas à pas, de ses anciens métallurgistes.

Pendant de longs siècles ces procédés rudimentaires suffirent à l'approvisionnement de nos pères, malgré leur goût pour les armes, malgré l'organisation militaire déjà sérieuse des nations européennes.

L'on s'attachait à la qualité du travail bien plus qu'à la quantité produite. Tout empiriques qu'elles étaient, les méthodes permettaient néanmoins aux forgerons habiles de se distinguer entre tous. La rareté de la matière de choix permettait d'y dépenser une main d'œuvre considérable et de faire de certaines pièces des œuvres d'art et de prix.

Telles furent les origines des épées légendaires de Charlemagne, de Roland, de Richard, et des armures pesantes de la chevalerie.

Vers le quatorzième siècle, le bas foyer était successivement devenu chez tous les peuples de race latine la forge catalane actuellement délaissée, mais non entièrement abandonnée.

Elle a tenu un rang trop important dans la métallurgie passée; son rôle, bien effacé aujourd'hui, est encore si loin d'être fini, qu'une description détaillée est nécessaire et que nous lui consacrerons un chapitre spécial.

Avec la forge catalane la métallurgie prit un essor nouveau et put fournir à ce luxe des armes qui distin-

gua les xv^e et xvi^e siècles. Parmi les armuriers, les Lombards acquirent une réputation justement méritée par les qualités hors ligne de la matière et l'habileté du travail. Ils donnèrent à l'armurerie de luxe le grand essor qu'elle atteignit à la Renaissance.



Casque en fer repoussé et ciselé : travail italien du xv^e siècle.

Vers la même époque, les Allemands, puis les Anglais et les Scandinaves, appréciant l'aide puissante du soufflet, s'en servirent, non pour se donner plus de facilité dans leur travail, mais pour augmenter la force de leurs foyers ; au lieu de projeter l'air au-dessus du feu, ils l'obligèrent à traverser la masse du combustible et du minerai amoncelés. En accroissant la force du tirage de leur fourneau, ils en agrandirent les dimensions et la puissance de production. Ils obtinrent

de cette façon un haut foyer connu sous le nom de *fourneau à loupe*, qui demeura en usage jusqu'au siècle dernier et fut, peut-on dire, le père du haut fourneau actuel.

Bas foyer ou *fourneau à loupe*, l'usine nécessitait pour son alimentation d'énormes approvisionnements de combustible, qui dépeuplaient peu à peu les forêts. Souvent la pénurie de bois ou les trajets trop longs à accomplir pour apporter le charbon nécessaire imposait le déplacement ou même l'abandon du fourneau. Cette situation devint si grave en Angleterre, où abondaient les forges, qu'un des premiers actes d'Élisabeth fut de prendre des mesures énergiques pour éviter la disparition complète des bois dans les environs de sa capitale. Les usines furent obligées d'abandonner les régions rapprochées de Londres, de s'éloigner dans le nord et dans l'ouest, afin d'y chercher un champ plus commode pour leurs opérations. De là, les établissements qui devaient plus tard faire la fortune de la Cornouaille, du pays de Galles et des comtés voisins. Les mêmes causes rendirent bientôt les nouvelles forges passibles des mêmes rigueurs; sous les coups multipliés de la hache, les forêts devenaient rares. On restreignit tellement les sources où ils pouvaient puiser, que les métallurgistes se virent sur le point d'abandonner leur industrie.

Heureusement, le génie de l'invention et la nécessité vinrent à leur secours. Ils avaient jusque-là méconnu la houille si abondamment contenue dans leur sol. Aussi bien par les pauvres que par les riches le précieux combustible était dédaigné. Des essais furent tentés dans le but de remplacer dans la métallurgie le bois par le charbon de terre; mais il fallut près d'un siècle avant de triompher des difficultés créées par l'emploi du nouveau combustible.

C'est en Angleterre, à la suite de cette épreuve, que le haut fourneau prit naissance. Tranquillisés sur le sort de leur industrie, grâce à l'abondance du combustible, les métallurgistes anglais décuplèrent leurs ef-



Cuirasse et cuissards en fer repoussé et ciselé : travail italien du xvii^e siècle.

forts et lancèrent dès lors l'industrie du fer dans la voie qu'elle a suivie depuis. Les foyers à la catalane furent complètement abandonnés par eux. Ils avaient créé une seconde méthode de production du fer, celle qu'on appelle la méthode indirecte.

L'ancienne méthode, la méthode directe, restait toujours en faveur auprès des métallurgistes du continent. Grâce aux avantages de chacune, elles ont pu se soutenir longtemps côte à côte; l'une donnant la quantité, l'autre fournissant la qualité. Ce fut une lutte de plus d'un siècle, à laquelle ont pu seules mettre fin les découvertes merveilleuses qui font de la métallurgie une science précise, ne laissant plus rien au hasard. Au train dont vont les choses, il n'y aura plus sur les marchés, sauf pour quelques articles privilégiés, qu'une seule nature de fer : le fer traité par la houille.

Le traitement par le bois, c'est la méthode directe, c'est-à-dire la transformation immédiate du minerai en fer malléable. Pour le chimiste, c'est une désoxydation qui s'accomplit sous l'action combinée de l'oxygène fourni par le soufflet et de l'acide carbonique hautement développé.

La méthode directe exige des minerais très riches, sous peine de voir les scories prendre dans le foyer la place dominante : cette nécessité procure l'avantage de fers d'une qualité supérieure et toujours fort recherchés pour certains usages. Ici, le déchet du métal est si considérable que des usines se montent aujourd'hui dans le but de traiter par la méthode indirecte les scories abandonnées par les bas foyers des premiers âges et qui, dans les contrées du centre, dans les Pyrénées et les Ardennes, forment de véritables collines. Sa consommation de combustible est considérable et amène la ruine des forêts; d'où un prix de revient fort élevé et une production restreinte ne répondant plus aux besoins presque illimités de l'industrie actuelle.

Le traitement par la houille, c'est la méthode indi-

recte. Entassé dans les énormes fournaies d'à-présent, le minerai, soumis à une effroyable température, éprouve plus ou moins de difficultés à se dégager des matières étrangères qui l'accompagnent. Pour lui faciliter cette opération, le métallurgiste lui apporte, avons-nous dit précédemment, le secours des fondants, et alors le métal, débarrassé de ses entraves, s'écoule à l'état liquide jusqu'au fond du fourneau. Mais les exigences de l'appareil qui dévore des masses considérables de minerai ne permettent pas d'épurer soigneusement la gangue qu'il doit transformer et forcent à mettre en présence des matières hostiles. Cette négligence est voulue: le feu, agent bien autrement rapide et puissant que les bras de l'homme, se charge de produire les combinaisons qui doivent dégager ces corps étrangers. Toutefois, ce travail n'est pas parfait; il maintient dans le métal qui s'écoule au fond du creuset une forte proportion de carbone qui change complètement sa nature et le rend impropre aux travaux de la forge.

Il faut que ce produit, la fonte, qui contient entre 2.50 et 6 pour 100 de carbone, perde cet excès de matière étrangère et soit retravaillé. C'est à cette épuration que s'appliquent les autres opérations qu'on peut résumer d'un mot: combiner le fer et le carbone dans les proportions voulues par le sidérurgiste, c'est-à-dire enlever ou ajouter du carbone suivant le besoin. En les suivant tout à l'heure une à une, nous verrons combien est justifiée cette dénomination de méthode indirecte, appliquée au travail des hauts fourneaux.

Bien qu'il faille, pour obtenir le fer par la méthode indirecte, une longue suite de travaux pénibles, nécessitant un outillage puissant dont la méthode directe sait se passer, bien que les produits soient d'une qualité moins bonne que ceux du fer au charbon, la presque totalité des fers employés par l'industrie moderne est ainsi fabriquée. Des motifs d'ordre économique imposent désormais le traitement par la houille. Où trouver, en effet, la quantité de combustible néces-

saire aux prodigieuses quantités de métal réclamées par l'industrie actuelle? La houille peut seule y suffire, et, quoi qu'elle menace déjà de faire défaut à nos pays européens dans un avenir relativement prochain, c'est toujours à elle qu'on aura recours, soit en l'amenant de loin, soit en transportant dans son voisinage les minerais à traiter.

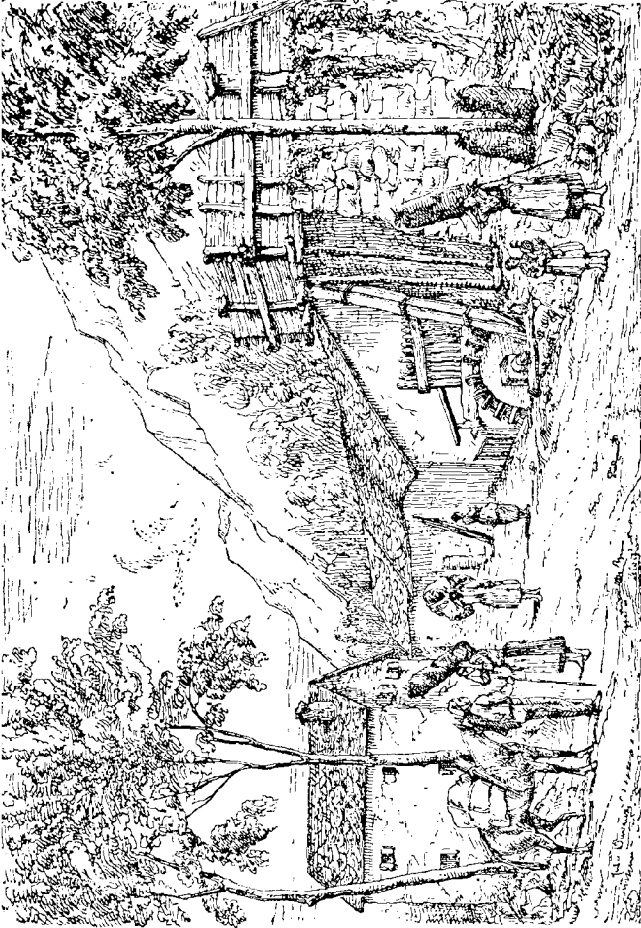
Avec elle on peut utiliser les minerais pauvres extrêmement abondants sur la plupart des points, tandis que l'emploi exclusif des minerais riches, apanage de quelques endroits privilégiés, entraînerait à des frais trop élevés.

Nous verrons, par la suite de cette étude, de quelle façon l'industrie contemporaine a su tourner à son avantage les difficultés qui entravaient nos pères.

IV

LA FORGE CATALANE

Il y a une trentaine d'années, le touriste qui parcourait les régions boisées de la Bourgogne et du Nivernais, ou nos contrées montagneuses, rencontrait fréquemment, au fond des bois, des chemins défoncés par de larges ornières marquées de longues traînées charbonneuses ou rougeâtres. En les suivant, il ne tardait pas à percevoir un bruit sourd et répété semblant venir du sol; bientôt il se trouvait dans une gorge étroite, au fond de laquelle coulait toujours un petit torrent. A un détour du chemin lui apparaissaient des bâtiments rustiques, aux toits noircis, laissant échapper des flots de fumée par les intervalles des tuiles. Il voyait le terrain dénudé, ou bien émaillé de tranchées rougeâtres dans lesquelles des ouvriers s'escrimaient



Vue extérieure de la forge d'Orliu (Ariège).
(Les femmes du pays apportent le charbon à la forge.)

de la pelle et du pic. Dans des cours irrégulières et charbonneuses s'entassaient en désordre des monceaux de pierres rouges ; des hangars abritaient des montagnes de charbon de bois et des barres de fer. Son attention était attirée par des lueurs ardentes brillant sous les toits obscurs, tandis que, sur le côté, il entendait le bruit bien connu du coursier d'un moulin. Un ronflement sonore sortait de ces profondeurs et s'accompagnait des chocs répétés d'un gigantesque marteau mû par une force invisible et retombant sourdement sur une masse étincelante que des ouvriers affairés présentaient à ses coups.

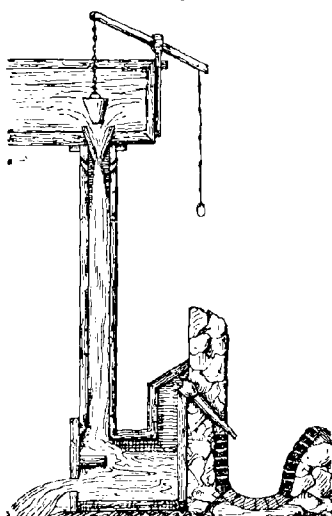
Telle était, dans son aspect général, la forge qui fournissait aux besoins de la consommation française avant que les traités de 1860 eussent permis aux fers étrangers d'entrer chez nous tout à leur aise. Produits à bas prix, surtout en Angleterre, grâce à l'emploi général de la houille, ces fers ne tardèrent pas à inonder le marché, à rendre précaire, puis impossible, l'existence des usines dont nous venons de donner un aperçu.

Malgré l'emploi de la houille fort répandu même en France, ces usines, dites à la catalane, prospéraient grâce à des droits protecteurs qui leur permettaient d'utiliser les ressources locales disséminées dans les régions d'accès difficile. Elles s'installaient là où se rencontraient à la fois le combustible et le minerai, où la moindre chute d'eau leur assurait une force motrice. Un outillage simple suffisait à cette industrie.

Le *foyer*, la *trompe* ou machine soufflante, le *mail* ou marteau à cingler, étaient les organes essentiels de ces usines, qui ont survécu dans les Pyrénées françaises et espagnoles, dans quelques coins des Alpes et de l'Ardeche, dans les Apennins et les Calabres, en Corse, en Bohême et aussi en Suède.

Au pied d'un mur noirci par la fumée est creusé le foyer ou creuset, de forme presque carrée, profond de près d'un mètre. L'argile qui en protégeait jadis les parois est remplacée par une pierre aussi réfractaire

que possible qui en garnit le fond. L'avant et l'arrière, dans la partie la plus exposée au feu, sont protégés par d'épaisses plaques de fer; les côtés sont en briques réfractaires. A travers le mur du fond et l'épaisseur de briques qui le garantit, vient déboucher, incliné vers le bas, la buse ou tuyère par laquelle l'air est



La trompe.

En haut : l'étrangillon et le coin manœuvré au moyen du levier.

En bas : la caisse à vent et la buse aboutissant dans le foyer de la forge catalane.

lancé sur la masse embrasée. Les vents se jouant à travers la halle largement ouverte, une ouverture carrée au sommet du toit suffisent à évacuer les poussières et la fumée.

Derrière cette halle, une roue hydraulique met en mouvement la machinerie de la modeste usine. Au-dessus du coursier et soutenu par un chevalet, se voit un petit canal en planches mal jointes, dans lequel un ruisselet détourné du torrent court follement et entremêle de filets d'argent les mousses et les algues qui poussent le

long du bois. Son rôle est d'actionner la trompe en se précipitant à travers deux arbres intérieurement évidés placés verticalement et dont le bas est encastré dans la *caisse à vent*. L'eau précipitée n'y entre pas seule ; pour faciliter la prise de l'air qu'elle est chargée d'entraîner, elle doit, pour descendre à l'intérieur des arbres, traverser une sorte d'entonnoir qui la resserre et l'étrangle ; d'où son nom d'*étranguillon*. A l'endroit du rétrécissement et avant que l'eau, reprenant son essor, ait pu toucher les parois du cylindre, sont des trous percés obliquement par lesquels l'air du dehors, sollicité en raison de la violence de la chute, se précipite et est entraîné avec son moteur jusqu'à la *caisse à vent*, où il est fortement comprimé. D'épaisses et solides planches de chêne, hermétiquement closes, composent cette partie importante de l'appareil ; une *banquette*, divisant la *caisse*, brise l'eau qui s'y précipite et rend à la liberté l'air aspiré à la base de l'*étranguillon*.

L'air délivré s'accumule, se condense dans la partie supérieure de la *caisse*, s'élance avec force dans un conduit qui l'amène à la tuyère, tandis que l'eau gagne la partie inférieure, d'où elle s'échappe par un déversoir.

L'appareil se complète par un coin de bois avec lequel on ouvre ou l'on ferme à volonté l'orifice de l'*étranguillon* ; au moyen d'une simple corde attachée à l'extrémité d'un levier dont l'autre bout commande le coin de bois, l'ouvrier manœuvre instantanément la trompe et lui fait donner plus ou moins de vent, suivant les exigences du travail.

Cette machine extrêmement ingénieuse est d'origine italienne et ne fut guère connue avant 1700 dans les forges étrangères. Le principe d'après lequel elle agit est si efficace qu'il a servi également à l'une des inventions modernes les plus célèbres. L'injecteur Giffard, qui, sur toutes les locomotives du monde, sert à alimenter d'eau les chaudières, n'est autre chose qu'une *trompe*. L'eau est aspirée par un courant de vapeur au lieu de servir à entraîner de l'air.

Quand l'ouvrier a vérifié l'état de son creuset, vu si le *contrevent* ou paroi du devant est recourbé convenablement; quand il a régularisé la pente douce qui descend du creuset au sol de la halle et facilite le transport de la loupe, il chauffe le creuset pendant plusieurs jours avant de commencer la fusion. Lorsque le feu a cuit en quelque sorte les matériaux neufs et les a ainsi garantis contre toute rupture, l'ouvrier *charge* le feu. Le four du creuset est garni jusqu'à la tuyère de charbon fortement tassé recouvrant quelques tisons. A cette hauteur on place contre la *buse* de nouveau charbon, sur le devant du minerai concassé, lavé, préparé comme on l'a vu plus haut. On alterne ensuite une couche de charbon pilé fortement mouillé avec une couche de combustible sec, le tout bien tassé à la pelle, et l'on obtient ainsi, dépassant considérablement le creuset, une meule inclinée divisée en deux parties, le devant formé de minerai, le fond composé de charbon et de *brasque*. L'ouvrier appuie sur le levier qui commande la trompe, la buse lance sur les tisons du fond un violent courant d'air; le feu est *parti*. Chassées par le vent de la tuyère, ne pouvant pénétrer à travers la masse compacte de charbon pilé et mouillé, les flammes, mélangées aux gaz brûlants et surtout à l'oxyde de carbone, sortent sur le devant du foyer en saturant le minerai, en reportant sur lui toute leur action.

Sous cette double attaque des gaz et du feu, la meule s'affaisse; on la maintient à la hauteur convenable en ajoutant du charbon au sommet et de la *greillade* mouillée (minerai pulvérisé) sur le devant. L'on a soin d'y joindre des scories, des matières ferreuses, débris d'opérations précédentes; ces déchets, fondant plus aisément que le minerai, s'écoulent dans le fond et constituent, pour le métal, une protection nécessaire contre l'oxydation trop grande à laquelle le fer est naturellement enclin. On établit ainsi un équilibre constant entre la force du feu et l'alimentation qu'on lui fournit.

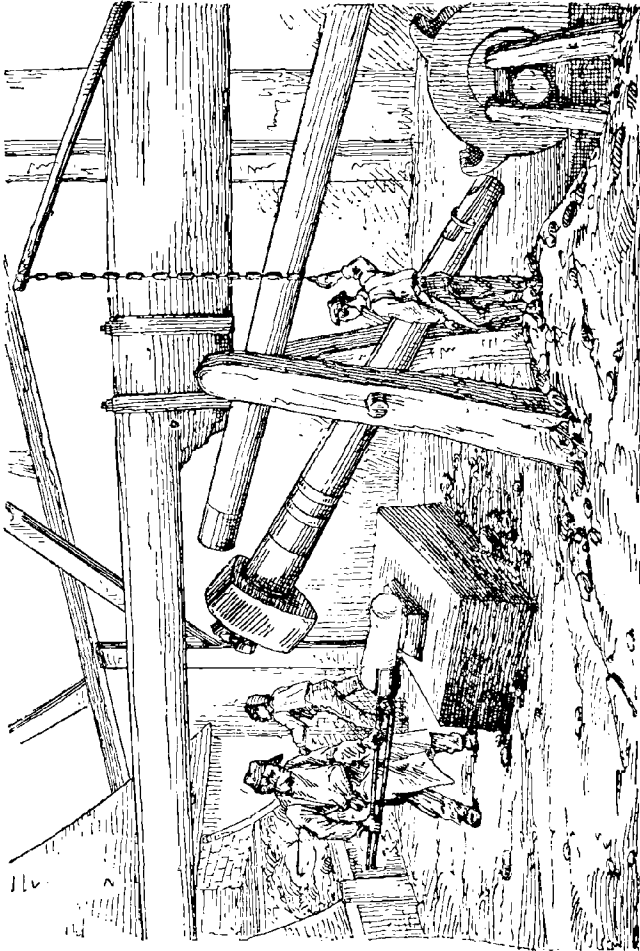
Quand l'opération est en pleine activité et qu'on juge

le moment convenable, le forgeron fait écouler le trop-plein des scories. A cet effet, il s'arme d'un *ringard* ou barre de fer et débouche un trou nommé *chio*, ménagé sur une des parois latérales du creuset; semblables à un ruisseau de feu, les scories s'écoulent par cette issue, lançant dans l'air d'éblouissantes étincelles, selon qu'elles ont détourné du minerai plus ou moins de métal pur. Quand le creuset est suffisamment purgé, le *chio* est rebouché avec un tampon d'argile humide, bientôt durcie par la chaleur.

Au bout d'un certain temps, le fer se trouve *réduit*, c'est-à-dire qu'il a perdu son oxygène, lequel est allé se combiner avec l'oxyde de carbone et s'est perdu dans l'air après avoir désagrégé le minerai. Alors le métal, dés'emprisonné de sa gangue, s'amasse au fond du creuset en grumeaux spongieux mélangés de scories fondues. Pendant plus de cinq heures l'opération s'est poursuivie en augmentant graduellement la charge du foyer et la force de la chaleur. Durant ce laps de temps, le feu a agi sur une masse composée de 5 à 6 parties de charbon et d'une partie de minerai.

Le moment est venu de réunir les grumeaux de fer épars dans le foyer. Un dernier *coup de feu* est donné; on se débarrasse encore une fois des scories, et les ouvriers, s'approchant, plongent leurs longs ringards dans la masse ardente. En quelques minutes, grâce à leur adresse et à leur vigueur, ils ont réuni, roulé, groupé, massé, pétri ensemble les particules éparses du métal et formé la *loupe* ou *massé*, amas spongieux que leurs ringards réunis poussent sous le vent même de la tuyère. Frappé directement par l'oxygène, le métal lance des gerbes éblouissantes qui remplissent la halle si noire. Quand la *loupe* est jugée suffisamment soudée, un mouvement de bascule des ringards la jette comme une masse de pâte ardente et la fait rouler par le plan incliné jusque sous le *mail* ou marteau pour y subir le *cinglage*.

Le marteau de pierre de nos ancêtres et des forge-



Intérieur d'une forge à la catalane.
Sur le premier plan : le *mest* cinglant une *toupe*. Au fond : un ouvrier réchauffant un *topin*.

rons sauvages actuels a été successivement remplacé par le marteau de fer de plus en plus pesant, puis par une lourde masse que, dans les anciennes forges catalanes, l'ouvrier soulevait au moyen d'un grossier mécanisme. L'on suppléait autant que possible par le poids à la lenteur de l'action, car certains de ces marteaux dépassaient 1,000 kilogrammes. Le marteau hydraulique fit son apparition vers l'an 1500. Sauf quelques modifications de détail, il est resté le même depuis cette époque. Maintenant son poids n'excède guère 600 kilogrammes, mais il est construit de manière à pouvoir multiplier à volonté la rapidité de ses coups. Il représente absolument un gigantesque marteau dont la tête, en fonte, est traversée par une solide poutre qui remplace le manche. Le milieu de ce manche est armé de *tourillons*, qui s'appuient, à la façon des tourillons d'une grosse cloche, sur une vigoureuse charpente. Pour le manœuvrer, il faut abaisser l'autre extrémité du manche, la *queue*. A cet effet, l'usine est munie d'une roue pareille à celle d'un moulin, de dimensions plus considérables; l'arbre de cette roue, l'essieu, si l'on préfère, pénètre, à travers la muraille, jusque dans l'intérieur de l'usine, précisément au-dessus de la *queue* du mail. Son extrémité est garnie de quatre saillies en croix appelées *comes*, semblables, sauf leurs dimensions, à celles du *bocard*. Dès que la roue est en marche, les *comes* rencontrent le manche du marteau, pèsent dessus et le laissent retomber de tout son poids.

Quand la loupe incandescente a été conduite sous le marteau et se trouve convenablement disposée sur l'enclume composée d'une lourde plaque de fer souvent fixée au niveau du sol, la roue est mise en mouvement et le marteau s'abat à coups précipités sur la masse métallique. Il la pétrit en quelque sorte, l'aplatit, il en exprime toutes les scories, dont la sortie est favorisée en retournant sans cesse le métal. Sous ses coups énergiques, la loupe ruisselle en filets de lave et remplit l'atelier de gerbes étincelantes, qui retombent en

paillettes de fer; bientôt toutes ses parties se sont rapprochées, elle est devenue du fer.

Puis, pendant qu'une autre opération se prépare et que le métal est encore rouge, la masse cinglée ainsi est séparée en plusieurs morceaux qu'on façonne en barres. Pour mener à bien cette dernière opération, les *lopins* sont réchauffés sur un foyer en attendant leur tour.

Le mode de chauffage du minerai occasionne une énorme dépense de combustible et une perte considérable de chaleur; de plus, avons-nous dit, les scories qui s'écoulent des foyers à la catalane contiennent encore beaucoup de fer. Le charbon de bois est fort cher et incomplètement utilisé. Qu'on en juge: une *charge* de foyer catalan exige un feu d'une durée de six heures, et consomme 1,200 kilogrammes de charbon pour donner moins de 200 kilogrammes de fer, extraits de 450 à 500 kilogrammes des minerais les plus purs; de leur côté, les scories absorbent près de 15 pour 100 de bon fer.

Malgré les qualités exceptionnelles, dues à l'emploi du charbon de bois, qui distinguent les produits de la forge catalane, l'usage en diminue de plus en plus, à cause de leur prix élevé et du faible rendement de cette fabrication.

Cette industrie, qui avait mis tant de siècles à se perfectionner, a presque disparu en peu d'années.

L'on peut s'en rendre compte facilement par l'état comparatif des usines métallurgiques avant et après cette révolution industrielle.

En 1835, époque à laquelle remonte le premier état officiel des hauts fourneaux en France, l'on ne comptait que 28 hauts fourneaux à la houille contre 410 marchant au bois; vingt ans après les traités de commerce qui eurent une si énorme influence sur notre industrie métallurgique, un quart à peine de nos hauts fourneaux continuait le travail au bois.

Quelques situations exceptionnelles, répondant à des besoins spéciaux et restreints, peuvent seules permettre aux survivants de subsister encore et de ne pas dés-

ter des contrées où la méthode indirecte serait d'une application impossible.

Le foyer à la catalane, pouvant se réduire aux proportions les plus exigües, restera, malgré tout, l'usine des districts privés de vie industrielle, et ne disparaîtra jamais complètement; mais l'on peut dire qu'il ne compte déjà plus comme engin industriel, écrasé qu'il est par les puissantes usines métallurgiques issues du progrès fiévreux de notre époque.

V

LE HAUT FOURNEAU

Comparé à la modeste usine de tout à l'heure, c'est le gros propriétaire comparé au pauvre tâcheron; c'est le gros banquier opposé au petit boutiquier; c'est le chemin de fer mis en regard de la patache. Il est un des signes les plus caractéristiques du mouvement industriel de notre siècle. Lui seul pouvait, comme il le fait, comme il le fera mieux encore, donner les torrents de métal liquide réclamés par la vie sociale telle qu'elle est à présent.

Plusieurs essais infructueux précédèrent la substitution de la houille au bois, en Angleterre, où elle prit naissance.

En 1611, et le 29 février, un brevet fut accordé à un nommé Sturtevant pour l'emploi du *charbon de mine* dans l'industrie métallurgique. Sturtevant n'exploita pas son brevet et fut déclaré déchu. Jean Roverson lui fut substitué dans ses privilèges, mais il n'est pas resté trace de ses travaux.

Lord Dudley vint ensuite, qui donna un corps, une réalité à ces tentatives.

Quand, en 1620, après bien des insuccès, ce lord parvint à utiliser la houille pour la production du fer, il crut avoir simplement assuré à l'industrie métallurgique le moyen de se passer du bois. S'il faut en croire certains récits, apercevant la ruine qui résultait pour eux de la production à bas prix par les nouveaux procédés, ses concurrents excitèrent contre lui la colère des ouvriers et firent saccager ses usines; des procès lui furent suscités, et il mourut ruiné par une découverte qui devait faire la fortune de l'Angleterre. Selon d'autres, lord Dudley, exploitant l'intérêt que Jacques I^{er} prenait à ses tentatives, se fit accorder, en 1620, un privilège dont les bénéfices devaient se partager avec le roi et les princes. Mais sa méthode était encore si incertaine, les résultats industriels si défectueux, que lord Dudley, ayant vu ses usines envahies et ruinées par l'inondation, renonça à continuer ses tentatives; il mourut sans laisser d'élèves.

Une idée et un fait lui survivaient pourtant: c'est que le fer pouvait être traité par la houille.

Au dire des historiens, ce serait en 1660 que l'association d'un quaker, Abraham Darby, et d'un berger, John Thomas, donna son essor à la nouvelle industrie.

Après un court séjour dans une usine étrangère, ils choisirent, au fond de l'estuaire de la Severn, une petite gorge leur offrant toutes les conditions voulues pour un bon travail. Ils y fondèrent l'usine qui fut, on peut le dire, la mère de la sidérurgie anglaise. C'est là, dans ce lieu devenu célèbre depuis sous le nom de vallée de Colebrookdale, que s'éleva le premier haut fourneau anglais, type des exploitations actuelles.

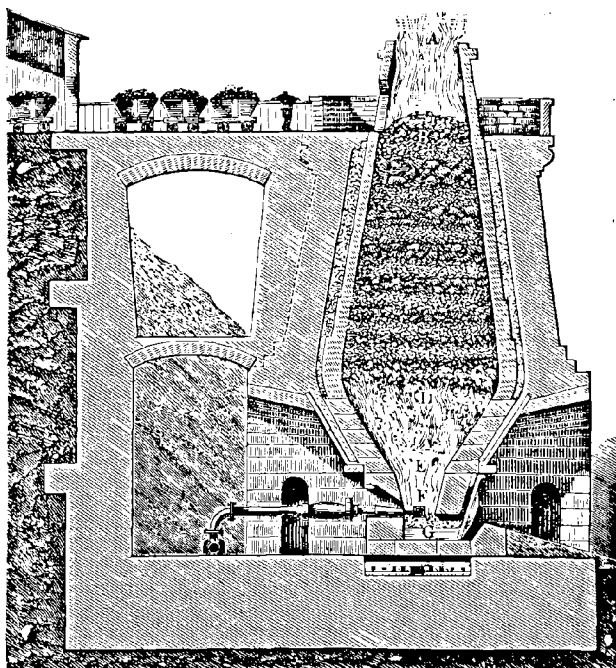
Ce ne fut pas, comme on pense, du premier jet que l'invention sortit complète des mains des deux associés; à plus d'une reprise il fallut modifier les plans et les coupes, donner des formes convenables aux soupiraux et aux bouches, assurer enfin la marche régulière de ce colossal outil qui allait élever l'industrie du fer au degré de puissance où nous la voyons aujourd'hui.

Une fois le problème résolu, les imitateurs affluèrent, et la petite vallée si tranquille, où Darby et Thomas avaient apporté leur industrie, se couvrit d'usines qui remontèrent et débordèrent bientôt dans le pays de Galles, dans la Cornouaille et jusqu'en Écosse.

Tant que la chimie resta impuissante à démêler les phénomènes qui se passent à l'intérieur du haut fourneau, les méthodes étaient un peu empiriques; chacun avait son *secret* pour conduire la délicate machine, et comme, d'après ce qu'on a pu voir, les réactions et les combinaisons varient avec le combustible et le genre de minerai, tel *secret* parfait sur un point donnait ailleurs de déplorables résultats; aussi l'importance de l'ouvrier chargé de sa direction, du maître fondeur, était-elle considérable. L'une de ses plus grandes *vertus* était la connaissance des dimensions à donner à l'intérieur de l'appareil; cette science se transmettait de génération en génération, et nul autre que le maître fondeur, aidé de ses fils ou de ses initiés, n'était admis à travailler aux réparations que réclamait le haut fourneau.

L'aspect extérieur de ce roi de l'industrie est celui d'une tour de 15 à 20 mètres de hauteur, adossée à un escarpement de terrain, ronde, massive, avec une large base. Du sommet sortent sans cesse de hautes flammes; par un étroit chemin reliant l'escarpement et la gueule du haut fourneau des hommes vont et viennent, jetant incessamment par l'orifice supérieur des charges de combustible et de minerai; un ronflement sonore et puissant, produit par l'arrivée de l'air sur le brasier, fait vibrer les parois de cette tour; sous un toit bas, cachant le pied du colosse, s'agitent des groupes d'hommes éclairés de lueurs fantastiques par des ruisseaux de feu s'échappant de temps à autre de l'appareil. La nuit, tout s'éclaire des flammes bleuâtres vomies par le haut fourneau; pour peu que plusieurs de ces appareils fonctionnent à côté l'un de l'autre, l'on croirait véritablement contempler quelque paysage du royaume des enfers.

En principe, le haut fourneau se compose de deux cônes tronqués; l'un, le supérieur, allongé, se nomme



Coupe d'un haut fourneau ordinaire.

A. *Flammes s'échappant du gueulard.* — B. *Couches alternées de combustible et de minéral remplissant la cuve.* — C. *Les étalages.* — D. *Point de fusion du minéral.* — E. *L'ouvrage.* — F. *Le creuset.* — G. *La fonte, surmontée des laitiers ou scories.* — *Au sommet, galerie pour l'accès des wagonnets de chargement.* — *En bas, à gauche, tuyaux venant de la soufflerie et les buses; à droite, la tynpe, laissant apercevoir la dame.*

la *cuve* et se termine par le gueulard; l'autre, l'inférieur, est renversé; c'est le ventre, appelé encore *étalage*; il repose sur une troisième partie, beaucoup plus étroite formée de quatre pans, qu'on nomme *l'ouvrage*; au-dessous se trouve le creuset.

L'enveloppe du fourneau se compose de trois revêtements successifs. La partie extérieure est en solide

maçonnerie; la cavité intérieure se compose de briques réfractaires, ou même de matériaux plus résistants encore, produits de recherches incessantes trop longues à étudier ici. Entre ces deux enveloppes est introduite une couche de matières aptes à conserver la chaleur. Le tout est fréquemment maintenu par une armature de fer formant un solide réseau. Les étalages sont uniquement composés de briques ou de terre réfractaire damée; les briques, le grès quartzeux ou même des roches de magnésie silicatée sont les matériaux de l'ouvrage et du creuset. Sur le devant du creuset, de forme quadrangulaire, la *tympe*, arcade profonde s'évasant largement, laisse apercevoir la *dame*, pierre solidement scellée qui forme la digue par-dessus laquelle vient déborder le *laitier*. Sur trois des côtés de l'ouvrage aboutissent les buses; c'est là que se concentre la plus violente chaleur et que rugit le vent lancé par les tuyères souterraines avec une pression variant entre 5 et 24 centimètres de mercure.

Lorsque la construction est achevée, que la cuve, immense et profonde comme un gouffre, a reçu toutes les façons voulues, l'on fait sécher et cuire les matériaux au moyen d'un feu doux dont la vivacité s'accroît graduellement. Après 20 ou 30 jours de cette préparation, le haut fourneau est en état de service; l'on y introduit du minerai, qui ne donnera d'abord que de la fonte blanche, dans laquelle le carbone est trop combiné au fer; puis l'appareil *se fait* et donne enfin la qualité de métal qu'on lui demande. A partir de ce moment il marchera sans trêve ni repos, jour et nuit, engloutissant des montagnes de combustible et de minerai, jusqu'à ce que ses flancs brûlés, usés, lui commandent le repos.

La *campagne* d'un haut fourneau construit dans de bonnes conditions varie de quatre à six ans, selon le combustible employé. Le charbon de bois altère moins vite que la houille. Cependant par des réparations bien faites on prolonge en quelque sorte indéfiniment la durée de l'appareil. L'intérêt y est grand.

Chacun de ces énormes outils coûte de grosses sommes, plusieurs centaines de mille francs, sans compter les frais à faire pour le munir des machines accessoires et pour assurer sa marche.

Suivant les ressources dont on dispose, l'on peut brûler soit du charbon de bois, soit de la houille. Nous avons vu que le charbon de bois coûte cher, et les exigences de pareils monstres auraient bien vite absorbé nos forêts. Dans l'espoir de réduire la dépense, on a essayé l'usage du bois en nature ou simplement torréfié; la différence est peu sensible; le prix élevé des fontes dites au bois oblige à les réserver pour des usages spéciaux nécessitant une fonte tenace et très fine à la fois. Ces gueules enflammées, qui dévorent des forêts, sont à présent confinées dans certaines régions, à cause même de leur effroyable consommation.

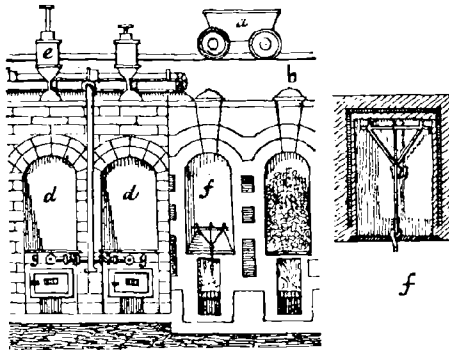
En Suède, pays à fer et à bois, où presque tous les hauts fourneaux marchent au charbon de bois, les règlements obligent à laisser plusieurs lieues de distance de l'un à l'autre; or, c'est à peine si ces mesures protectrices empêchent ces puissants foyers de tout dévaster autour d'eux.

Malgré cette menace de destruction de leurs forêts et bien qu'ils possèdent des gisements de houille, les Suédois tiennent à leur genre de fabrication, tant leurs fers sont estimés sur tous les marchés du monde. D'ailleurs, la fabrication de la fonte au bois est obligatoire en Suède pour tous les districts renfermant du bois et du minerai. A cet égard, il y a entente parfaite entre les propriétaires et les paysans. Les hauts fourneaux sont construits à frais communs, et l'on abandonne à l'État une partie des produits. Le travail du métal est, en outre, combiné de façon à ne pas nuire aux travaux de la terre; si bien qu'à l'époque où la température fait chômer l'agriculture, le Suédois devient mineur et fondeur; au printemps, les usines sont abandonnées à leur tour pour la charrue.

Quand le haut fourneau marche à la houille, le métallurgiste a besoin de surveiller davantage les réac-

tions et les combinaisons qui s'opèrent, ce combustible apportant dans de larges proportions les corps favorables aux combinaisons redoutées par le métallurgiste.

Pour éviter ces inconvénients, l'on a eu l'idée d'expulser le soufre et le phosphore trop fréquemment présents



Fours à coke montrant le fonctionnement du rateau.

- a.* Wagonnet amenant la houille. — *b.* Trou au sommet du four pour le chargement.
 — *c.* Four ouvert et rempli de charbon. — *d.* Aspect des fours accouplés. —
 — *e.* Appareil pour la récolte des produits de la distillation. — *f.* Position du rateau.
 — *p.* Conduites amenant les gaz dans le barillet.

dans la houille, en convertissant d'abord celle-ci en coke. L'on reconnut bientôt les avantages de cette méthode et la facilité de manèment de ce combustible sec et léger, et, dès la fin du XVIII^e siècle, l'on brûla exclusivement du coke pour la production de la fonte.

La préparation de la houille est en tous points analogue à la carbonisation du bois. N'était l'incommodité du procédé, rien ne s'opposerait à ce que, chez nous, la houille soit calcinée en meules, comme cela se pratique en Angleterre. Pour plus de rapidité et de perfection, l'on a recours à l'usage de fours spéciaux, construits en forme de voûtes et accouplés par séries de 10 à 20. On y verse à peu près trois mille kilogrammes de charbon formant la charge de chacun d'eux. La chaleur restant de l'opération précédente

suffit pour déterminer l'inflammation; la cuisson se règle au moyen d'ouvreaux placés dans la partie inférieure des fourneaux. Pendant la combustion, qui dure ordinairement 4 à 5 jours, le soufre a été consumé ou s'est évaporé en compagnie des gaz et des vapeurs que l'on recueille avec soin.

Après quelques heures de repos, le coke est défourné. Dans les appareils modernes, il est refoulé au dehors au moyen d'une porte mobile, occupant toute la largeur du four et mise en mouvement par une machine à vapeur. Sur cette masse embrasée, qui s'écroule poussée comme par un immense rateau, l'on dirige un fort jet d'eau; des vapeurs suffocantes se dégagent en purifiant le coke, et quelques minutes après tout est éteint: le combustible n'attend plus que d'être précipité dans le gueulard du haut fourneau.

A présent que nous possédons les éléments de travail de notre colossal outil, nous allons examiner sa marche, voir ce qui se passe dans ses vastes flancs et supputer la puissance de sa production.

Au niveau du chemin qui donne accès au gueulard, une saillie circulaire assure et complète le service du haut fourneau. Les wagonnets de coke et de minerai sont amenés; une large porte s'ouvre dans la muraille, un peu au-dessous de l'orifice du haut fourneau; c'est par là qu'on précipite la *charge*, en observant soigneusement les proportions et les mélanges du coke, du minerai et des fondants. A peine un wagonnet est-il vidé qu'un autre lui succède. Il importe d'entretenir à un niveau déterminé les matières qui s'engouffrent dans le fourneau, afin de leur faire subir sans hâte nuisible et à propos les quatre opérations fondamentales du traitement, c'est-à-dire la dessiccation par l'exposition à la chaleur du sommet, la réduction par le contact avec une température plus élevée, la carburation quand le feu les atteint, enfin la fusion qui se produit quand le métal est arrivé au blanc.

Ces quatre phases, qui sont comme la synthèse chimique de la sidérurgie, s'accomplissent dans le haut

fourneau grâce à l'existence de ce qu'on peut appeler deux courants marchant en sens inverse et réagissant l'un sur l'autre : un courant solide composé du combustible et du minerai, dont la température s'élève au fur et à mesure que la charge s'affaisse et gagne le fond ; un courant gazeux qui arrive surchauffé des profondeurs où il se forme, et dont la température décroît en même temps qu'il s'élève. Ce dernier offre en outre ces deux particularités, d'avoir une vitesse 3,600 fois plus grande que celle du courant solide, et d'augmenter de volume aux dépens du courant inverse.

L'air qui rugit dans les entrailles du haut fourneau arrive pur à l'intérieur de l'*ouvrage*, où il produit la chaleur blanche ; mais il se trouve à l'état d'air non brûlé, en compagnie du carbone très divisé provenant de la haute combustion du charbon ; presque aussitôt les deux corps se combinent et donnent de l'oxyde de carbone, qui s'élève rapidement dans la cuve, où il se suroxyde aux dépens des oxydes divers que sa température met en liberté. Ainsi qu'une avalanche, il se grossit de tous les éléments qu'il rencontre sur sa route ; comme elle, il détruit, rompt tout sur son passage. Ce courant de gaz chaud favorise l'action du feu lui-même et la met en présence de matériaux déjà préparés, de corps déjà dissociés. Grâce aux différences de densité, le métal arrivé au point de fusion gagne le fond du creuset ; les anciens associés, les substances étrangères formant le laitier, fondues également par l'ardent foyer, se superposant à la fonte, surnagent à l'état fluide et lui font un rempart contre l'action suroxydante de l'air et du carbone. On peut se représenter cette action par les différentes zones de tons et de températures que traverse la masse solide avant de passer à l'état liquide. Au sommet du gueulard, les substances gardent leur teinte naturelle, puis elles passent au rouge sombre, au rouge cerise, au rouge pur, ensuite au rouge vif ; elles entrent alors en fusion, deviennent d'un rouge éclatant, et passent enfin au blanc. Pour arriver au fond du creuset, il leur a

fallu subir des températures qui, de 360 degrés à l'orifice supérieur du haut fourneau, atteignent jusqu'à 2,000 et 2,500 degrés au fond de l'ouvrage.

Ce travail de la matière, si simple en théorie, nécessite une incessante surveillance. La puissante machine est d'un tempérament délicat; un rien trouble sa marche, et, si l'on n'apporte immédiatement le remède approprié, le haut fourneau *se déränge* comme un corps humain, nourri d'aliments non choisis ou fatigué par l'âge; le malaise se traduit par une mauvaise digestion. Le minerai arrive au fond de l'ouvrage sans avoir subi les métamorphoses nécessaires. Il vient encombrer les tuyères, déranger le courant ascensionnel des gaz, déplacer le centre du foyer. Il obstrue le trou de coulée; la fonte produite est froide, ferreuse, blanche, et coule avec peine. Il faut alors ménager le minerai et forcer sur le combustible.

L'examen constant du laitier est une des principales sollicitudes du métallurgiste. Le laitier, c'est le pouls du haut fourneau : selon sa fluidité, sa nature, l'opération marche bien ou marche mal, la fonte sera bonne ou défectueuse.

D'autres fois, il se produit une véritable indigestion, un *loup*, dans le langage du métier. Si les lits de fusion ont été mal préparés, tous les efforts ne peuvent empêcher que la chaleur se décentralise, les matières pâteuses et peu fusibles s'accumulent de plus en plus dans le bas et engorgent les organes de l'appareil. Le peu de vent que donnent les tuyères obstruées, loin d'aider à la fusion, accélère l'agglomération en refroidissant les matières; le *loup* se produit.

Quand arrive cet accident, il faut absolument s'arrêter, puis démolir en partie le fourneau pour extraire la masse agglutinée. Sa résistance, augmentée par l'état de demi-fusion du fer et de la gangue, est parfois si grande, que la dynamite peut seule en avoir raison. Dans les cas les plus graves, cette masse peut atteindre et dépasser 1,000 mètres cubés.

« Et ces circonstances, dit fort bien un excellent mé-

tallurgiste, M. Garnier, se montrent dans tout leur éclat la puissance du savoir, l'initiative, la vigueur morale et physique de l'homme. L'ingénieur est alors comparable à un général dont l'armée en péril n'attend de salut que du sang-froid et des expédients de son chef. Ce qui se passe alors est parfois inouï. L'on a vu reconstruire au milieu du feu toute une paroi de haut fourneau brûlée par un long service : on arrosait les hommes avec des pompes ; ils se trouvaient dans un véritable courant d'eau, d'où ils pouvaient lancer des amas d'argile destinés à boucher la brèche de l'incandescente fournaise. »

D'autres dangers menacent encore les travailleurs. Parfois la sole du creuset se fend et donne naissance à des infiltrations de fonte qui se répandent jusque dans les assises du haut fourneau. Le péril est grand, ces assises comportant des galeries qui servent de réceptacle aux eaux surabondantes de diverses opérations. Si la fonte vient à y faire irruption, le métal liquide produit subitement une masse de vapeurs qui se tendent avec une force irrésistible, brisent et renversent tout. Parfois encore les gaz des fourneaux s'enflamment tout à coup et éclatent avec une puissance auprès de laquelle celle de la poudre est peu de chose. Dans un cas comme dans l'autre, tout homme atteint périt infailliblement.

On se fera une idée du colossal outil de la métallurgie moderne en comparant ses dimensions actuelles à celles d'autrefois. Le fourneau à loupe, devenu le haut fourneau, avait fini par atteindre, à la fin du siècle dernier, une capacité de 80 mètres cubes : aujourd'hui, tant pour utiliser les gaz que pour augmenter la production des hauts fourneaux, on leur donne jusqu'à 31 mètres de hauteur ! Ces géants ont des flancs qui cubent 1,200 mètres. Ce sont des exceptions, disons-le vite. Entraînés par des calculs séduisants, de hardis industriels, faussant des lois bien connues des métallurgistes, avaient cru qu'en accroissant exagérément les proportions de leur outillage ils accroîtraient de même leurs produits. Mais cet accroissement n'est pas

indéfini et ne dépasse pas certaines limites. Au delà de ces limites le gain cesse, et laisse le métallurgiste sans aucune compensation, en présence des inconvénients qui résultent de dimensions exagérées. La pratique a consacré comme préférables les capacités de 200 à 250 mètres cubes.

Au lieu de produire, comme jadis, de 2,000 à 5,000 kilogrammes de fonte par 24 heures, nos hauts fourneaux actuels donnent 50 et même 75 tonnes de métal par jour. On en a vu donner plus de 100,000 kilogrammes ! La dépense de combustible était parfois de 2,000 kilogrammes de coke par tonne de fonte ; l'on est parvenu à l'abaisser couramment au-dessous de 1,000 kilogrammes ; dans certains cas même, l'on a pu la faire tomber exceptionnellement à 800 et même à 550 kilogrammes.

On comprend quelle immense quantité de laitier s'écoule de pareilles fournaies ; aussi les scories finissent par former des amoncellements qu'on conçoit, si l'on songe qu'il s'échappe du haut fourneau un volume de laitier 6 à 8 fois supérieur à celui de la fonte.

On se rappelle que les scories ferreuses des anciens bas foyers de nos ancêtres forment en plus d'un endroit des collines, que l'on exploite pour reprendre le métal négligé ; qu'on juge de l'immense quantité produite par nos hauts fourneaux !

Dans les contrées qui se livrent à la métallurgie, l'œil est surpris et attristé par l'aspect stérile du paysage ; de tous côtés il ne voit que la scorie amoncelée en tas énormes. S'en débarrasser est une grosse question pour le maître de forges, et de vastes terrains sont consacrés à cet usage. On y accumule les résidus jusqu'à ce que le monceau devienne trop haut pour donner accès aux wagons.

On a souvent essayé d'utiliser ce produit, cette matière perdue. L'on a beau en répandre sur les routes, en incorporer aux briques, le mélanger dans la combinaison du verre, l'allier au béton et au ciment, les quantités sans emploi restent immenses.

Le caractère siliceux de la scorie indique une composition analogue à celle du verre; il paraît donc facile, à première vue, de convertir le laitier en verre en y ajoutant les substances qui lui manquent. Mais cette alliance ne peut avoir lieu qu'à la condition de combiner ces matières: pour cela il faut la fusion, c'est-à-dire une température excessive, coûteuse à produire; or les frais de préparation et de transport de la scorie solidifiée la rendent plus onéreuse que les autres ingrédients du verre.

En Angleterre, des industriels perspicaces ont pensé que ces frais seraient considérablement réduits si l'on utilisait pour la fabrication économique du verre l'état fluide dans lequel se trouve la scorie au sortir du fourneau. Cette idée est devenue un fait, et depuis quelques années l'on a adjoint un four de verrier à plusieurs hauts fourneaux. La scorie s'écoule directement dans le four, où elle se combine en quelques instants avec les matières voulues pour achever de devenir du verre. La scorie entre pour plus de moitié dans cette composition, et permet de produire un verre d'une qualité remarquable par sa résistance à l'action des liquides corrosifs et par sa supériorité pour la conservation des vins, grâce à la très faible quantité de chaux qu'il contient.

Nous ne connaissons pas en France d'exemple d'un emploi analogue. En Suède et en Allemagne, le laitier est coulé, au sortir du fourneau, dans des moules où il est converti en briques pour la construction.

VI

LES AUXILIAIRES DU HAUT FOURNEAU

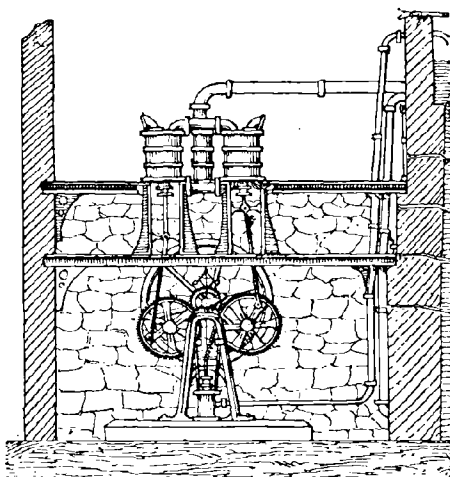
Toute cette immense production, ce rôle puissant du haut fourneau n'existeraient point sans le concours combiné de l'air envoyé par des appareils énergiques et des gaz utilisés à leur sortie de la cheminée du foyer.

Pour produire l'incandescence des monceaux de substances englouties par le haut fourneau, le modeste soufflet de nos pères, la trompe du foyer catalan, autrefois suffisants, se trouveraient absolument au-dessous d'une pareille tâche. Dès 1760, l'on commença à envoyer l'air des tuyères au moyen de pompes en bois dans lesquelles se mouvait un piston actionné par la roue hydraulique de la forge. Ces engins ont suivi la marche générale du progrès; ils se sont perfectionnés au point de constituer des outils de première importance connus sous le nom de machines soufflantes.

L'air destiné à la combustion du haut fourneau lui est fourni par une pompe dont le fonctionnement est en tout semblable à celui d'une pompe aspirante et refoulante: au lieu d'un liquide, elle aspire et refoule de l'air. La différence avec une pompe à liquide est dans la dimension du piston, organe essentiel de l'appareil. Celui-ci refoule d'autant plus d'air que son diamètre est plus grand. Ces foyers énormes, dont nous venons de voir les dimensions, exigent un volume proportionné d'air, élément indispensable de la sidérurgie.

Non seulement il faut des torrents d'air pour aider à l'absorption du combustible et du minerai, mais il faut connaître les proportions convenant à la quantité et à

la nature des matières à fondre; il faut assurer avec un minimum de combustible un maximum de réactions métallurgiques. Il importe encore de pouvoir augmenter à loisir la température de la combustion en augmentant à volonté la pression du vent lancé.



Soufflerie à air chaud alimentée par les gaz du haut fourneau.

L'on a calculé qu'il fallait à peu près 4 mètres cubes d'air par kilogramme de combustible employé.

Pour obtenir ces torrents aériens, on a successivement recouru à la pompe à piston mise en mouvement par la roue de l'usine, et dont la course plus ou moins rapide rendait l'appareil principal tributaire de l'appareil auxiliaire. Pour écarter cet inconvénient, l'on appliqua la force de la vapeur, et l'on put accroître le volume d'air lancé, sinon en accélérant la vitesse, du moins en donnant plus de surface au piston. Peu à peu l'on abandonna l'emploi des clapets, et l'on arriva à lancer des quantités beaucoup plus considérables en munissant les cylindres où l'on refoulait le vent de tiroirs

semblables à ceux des cylindres à vapeur. Le même arbre commande à la fois le piston à vapeur, les pistons de la pompe et les tiroirs. De là, dans la course des pistons, une vitesse plus grande, qui peut être portée à près de 4 mètres par seconde. D'autres dispositions varient l'aspect de ces machines soufflantes; les unes comportent un seul cylindre, d'autres en ont deux ou quatre; d'autres, dépassant les dimensions ordinaires, ont des pistons d'un diamètre qui atteint 2 mètres 35 centimètres, et qui constituent de véritables monuments; mais toutes tendent au même but: lancer dans les flancs du vaste fourneau, en l'espace d'une minute, un volume d'air égal à sa capacité.

La modeste chute d'eau qui actionnait la soufflerie est remplacée par des moteurs dont la puissance va jusqu'à 600 ou 700 chevaux-vapeur.

Dans certaines contrées et dans plusieurs usines, l'on emploie encore des cloches en tôle en tout point semblables à nos gazomètres; leur poids refoule l'air préalablement amassé dans le récipient en élevant le plus possible la calotte retenue par des contrepoids. Ce sont, en réalité, de simples soufflets perfectionnés, d'un effet plus prolongé et plus énergique. Ailleurs, on a gardé une machine, appelée *cagnardelle*, du nom de son inventeur, M. Cagnard de la Tour, ingénieur distingué de la fin du siècle dernier. Cet appareil est une vis d'Archimède commandée par un moteur quelconque: plongée dans une caisse à moitié remplie d'eau, ses ailes emprisonnent dans leur rotation l'air saisi au passage, et le refoulent au fond de la caisse à travers le tuyau qui alimente les tuyères. Cette machine modifiée se rencontre aussi dans plusieurs forges d'Allemagne. Enfin l'on a recours aux ventilateurs: ce sont des palettes renfermées dans un tambour et montées sur un axe animé d'une vitesse de rotation qui atteint 1,000 à 2,500 tours par minute; l'air est aspiré par de petits trous, entraîné par les palettes et chassé par un orifice qui alimente la soufflerie. Malgré leur faiblesse relative, les ventilateurs sont fort appré-

ciés dans les mines n'exigeant pas une énorme dépense de force; en outre, la simplicité de leur construction et le peu de place qu'ils exigent les font rechercher.

Pompes, cagnardelles ou ventilateurs, ces divers engins transmettent l'air au moyen de tubes toujours placés dans les fondations du haut fourneau. Ces conduits restent toujours accessibles, de façon à permettre leur vérification et la réparation immédiate des fuites s'il venait à s'en produire. Enfin elles se terminent par des tuyères ou orifices placés à la base de l'ouvrage, où elles viennent concentrer leur action.

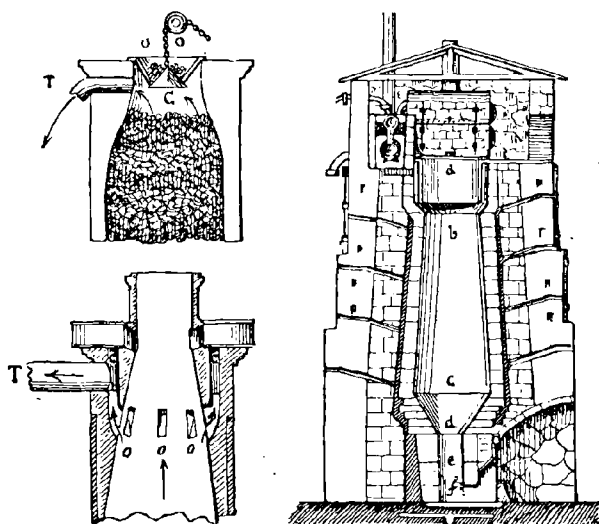
Longtemps on s'en tint à un courant froid pour alimenter la combustion, et l'on ne comptait pour activer les feux que sur la plus grande quantité d'air projeté, lorsque, vers 1828, on imagina, en Angleterre, de chauffer le vent de la soufflerie. L'on reconnut promptement les avantages du système; de tous côtés on l'appliqua. Non seulement on atteignait une plus haute température, mais encore on réalisait une économie de combustible variant du tiers au quart.

C'est en 1832, à Vienne, que ce système fut appliqué pour la première fois en France. Il consistait à faire circuler le vent destiné aux tuyères dans une longue suite de tuyaux renfermés dans un four; au lieu d'arriver froid, l'air possédait déjà une température de 300 à 500 degrés en arrivant aux tuyères. Pour éviter la fusion de ces dernières, elles sont défendues contre l'excessive chaleur par une double enveloppe dans laquelle circule constamment un courant d'eau froide.

Ce progrès en appelait un autre, qui consistait à utiliser la chaleur s'échappant en pure perte du fourneau. En effet, une immense quantité de calorique se répandait sans profit dans l'atmosphère; à sa sortie de la cheminée, la colonne des gaz venant du fond de l'ouvrage garde encore une température de 360 degrés au moins, malgré l'emploi judicieux qu'on en fait aujourd'hui.

Pour recueillir cette chaleur, on a imaginé plusieurs appareils se rapportant tous à deux types principaux.

Dans le premier, des ouvertures latérales sont ménagées dans les parties supérieures du haut fourneau, vers le point où commence la chaleur rouge sombre. Sollicités par un tirage, les gaz se glissent à travers ces caniveaux, se réunissent dans un espace circulaire et s'échappent par un tuyau qui les conduit où leur



Systèmes divers pour la récolte des gaz du haut fourneau.

usage est réclamé. Mais une grande partie des gaz se dissipe dans l'air et l'on ne recueille guère par ce système que les gaz produits sur la circonférence du foyer. Cet inconvénient a conduit à la construction d'appareils où la cheminée du haut fourneau se trouve complètement fermée par un cône venant s'emboîter dans un entonnoir de vaste envergure. La charge est jetée dans ce couvercle évasé; par son poids elle abaisse le cône et se précipite dans le gueulard; à son tour le cône est ramené à sa position première par des contre-poids. Avec ce système, les gaz sont tous retenus à l'in-

térieur et forcés de se rendre dans un conduit placé au sommet de l'appareil. Les gaz ainsi recueillis sont si abondants, qu'ils fournissent un jet lumineux quand on les allume à l'orifice de la conduite où ils circulent; mais ils développent surtout une chaleur intense.

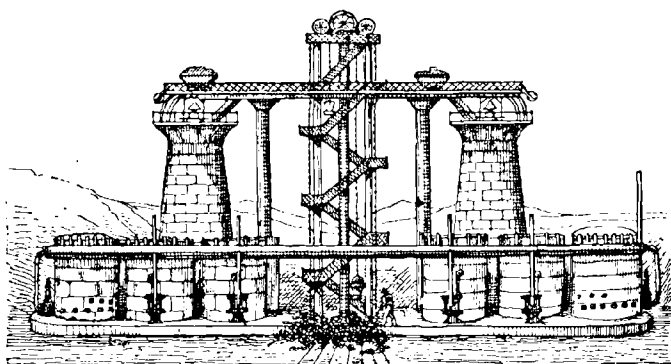
L'économie de combustible résultant de leur emploi est de moitié sur la dépense occasionnée par le brûlage à l'air libre. Malgré cet avantage, il est à remarquer que l'Angleterre est le pays d'Europe où l'on rencontre le plus de hauts fourneaux dans lesquels on laisse sans emploi la puissante chaleur des gaz. Calculateurs habiles dans toutes autres circonstances, les métallurgistes anglais ont pendant longtemps dédaigné une économie qui leur semblait au-dessous de leur haute position. Toutefois, devant la concurrence étrangère, il leur a fallu changer d'allure, et les fourneaux nouvellement construits sont à présent munis d'appareils à recueillir et à récupérer la chaleur perdue.

Les usages auxquels on peut appliquer les gaz ainsi emmagasinés sont nombreux et s'indiquent d'eux-mêmes. L'on a fait des applications multiples de cette chaleur; mais il a fallu en abandonner la plupart à cause de leur incommodité ou du tort qu'ils causaient à l'opération principale. Celles qui ont persisté, les plus ordinaires, consistent dans le chauffage des chaudières produisant la vapeur nécessaire aux moteurs divers de la forge; on s'en sert pour griller les minerais qui exigent cette préparation; ils servent surtout au chauffage de l'air alimentant les tuyères.

Ce dernier emploi des gaz a malheureusement une limite imposée par le degré de résistance des tuyaux de fonte dans lesquels passe l'air à échauffer. Pour ne pas perdre une partie notable de cette chaleur bien-faisante, il a fallu en dériver une partie; on la divise et on l'applique à plusieurs services en même temps. La pratique n'a pas tardé à démontrer qu'il était préférable de reporter toute la force d'action du courant gazeux sur le chauffage de l'air; mais, comme les tuyaux de fonte ne pouvaient supporter sans être brû-

lés une température un peu élevée, on leur a substitué les briques réfractaires; l'on a été ainsi amené à construire des appareils spéciaux dont l'invention est d'origine anglaise.

Le principe de ces appareils repose sur la grande capacité calorifique de la brique. On dispose près du haut fourneau des constructions dont l'intérieur se



Hauts fournaux accouplés, avec monte-charge et récupérateurs Wheeler et Wilson.

compose d'une multitude de petits espaces environnés de briques et communiquant entre eux: les gaz sont dirigés à travers cette masse et y brûlent en abandonnant aux briques leur chaleur. Lorsqu'on juge celles-ci suffisamment échauffées, l'on suspend l'arrivée des gaz pour les diriger sur un autre appareil, et l'on fait passer sur cet amas de briques rougies le vent de la soufflerie. Il se charge de chaleur et arrive dans le fourneau à une température de 700 à 800 degrés. Chaque partie de l'appareil fonctionne alternativement; pendant que l'une se charge de calorique, l'autre restitue sa chaleur au vent qui la traverse. L'application de ce système se traduit par une économie d'un cinquième sur la dépense du combustible; mais ce bénéfice ne s'obtient qu'au prix de gros sacrifices d'installation.

Des appareils plus puissants encore, amenant une utilisation complète du combustible et agissant sur le métal par la combustion des gaz eux-mêmes, ont été créés depuis quelques années. Comme les appareils à réchauffer l'air, ils agissent en emmagasinant de la chaleur à travers de nombreux lits de briques. Ce sont les fours Siemens, lesquels ont doté la métallurgie d'une énergie de température précédemment inconnue. Leur usage s'appliquant surtout à la fabrication de l'acier dont nous aurons bientôt à parler, nous les décrirons en traitant ce sujet.

Nous avons jusqu'ici fait connaître la partie théorique de notre sujet, puis l'histoire de son passé; nous venons de voir de quels outils la métallurgie moderne était pourvue pour la préparation du métal; nous allons présentement suivre ses opérations et assister aux transformations successives du minerai sous les trois formes essentielles que recherche l'industrie.

TROISIÈME PARTIE

LES TROIS ÉTATS DU MÉTAL

I

LA FONTE

Lorsque le minerai traité dans un haut fourneau arrive au fond du creuset, le charbon a réduit les oxydes de fer en absorbant leur oxygène; mais une partie de ce charbon s'est allié au métal dans des proportions variant entre 2.50 et 6 pour 100. En cet état, le produit de la fusion est de la fonte.

Nous disons avec intention qu'il s'est allié, non combiné. En effet, suivant l'aspect sous lequel se présente cette alliance des deux corps, nous avons sous les yeux deux fontes différentes, d'où dérivent toutes les variétés de ce métal: la fonte blanche et la fonte grise. Dans la première, le carbone forme un corps homogène avec le métal; il est réellement combiné, tant il est intimement répandu dans sa masse. Dans la fonte grise, l'alliance est moins parfaite; le carbone est seulement mélangé au métal; il y est irrégulièrement distribué et manifeste sa présence par une multitude de petites paillettes semblables à celles du graphite, réunies en groupes plus ou moins compacts.

La présence de ce carbone change complètement la nature du fer ainsi combiné. En cet état, il a une densité inférieure à celle du fer forgé. Loin d'avoir cette docilité, cette malléabilité si précieuse du fer, la fonte est dure, cassante, dépourvue d'élasticité; le burin et la lime ont peu de prise sur elle; elle ne se laisse ni forger, ni souder. En revanche, la fonte est fort résistante à l'écrasement; elle supporte jusqu'à 150 kilogrammes par millimètre carré; soumise à une température de 1,200 degrés, elle entre en fusion et possède une plasticité que l'industrie met largement à profit par le moulage.

Simplement portée au rouge, elle ne peut se forger ainsi que le fer; mais elle est amollie au point de se débiter avec une scie de menuisier, comme on le ferait pour du bois.

Elle présente aussi cette curieuse particularité de se décomposer par un séjour prolongé dans l'eau contenant des sels en dissolution. L'on peut en citer quelques exemples; les tuyaux qui servent à la conduite des eaux dans les mines doivent être changés fréquemment; au bout de quelques années ces eaux, chargées de vitriol, ont amolli la fonte au point qu'elle peut être taillée au couteau. A plusieurs reprises, on a retiré du fond de la mer des débris en fonte, des boulets de canon qui, une fois débarrassés de leur enveloppe de sable et de coquilles cimentée par la rouille, ne présentaient point de trace d'altération; cependant avec un simple couteau on les perçait et on les taillait à volonté, même après dessiccation.

Des canons provenant de naufrages remontant à plusieurs siècles, une fois sortis de l'eau, s'échauffaient au contact de l'air de façon à ne pouvoir y maintenir la main, ou bien rougissaient et se brisaient en minces éclats.

Ainsi que l'attestent les écrits d'Aristote et de Pline, les anciens connaissaient la liquéfaction de la fonte mais ils n'en firent point d'application. Les premières traces qu'on en saisisse sont des plaques de foyer que

l'on coulait dans les Ardennes, au XII^e ou au XIII^e siècle. Au XIV^e siècle, le comté de Sussex, en Angleterre, avait emprunté cette industrie aux Pays-Bas. L'Alsace connaissait déjà, vers 1500, l'usage des poêles en fonte.

On obtenait alors la fusion du métal dans ces fourneaux à loupe qui donnèrent naissance aux fourneaux à grandes dimensions.

Comme pour le fer forgé, le bois était le combustible employé; l'on n'en connut pas d'autre avant 1620. Il fallut la pénurie du bois et le stimulant de la concurrence pour faire abandonner, dans la pratique générale, l'usage du bois dans la production de la fonte.

Néanmoins, chaque fois que les conditions d'établissement de la forge le permettent, les métallurgistes préfèrent produire des fontes au bois. Elles sont d'une pureté que ne peuvent égaler les fontes au coke. Le charbon de bois, étant un combustible très pur, laisse la fonte exempte de soufre, de phosphore, d'arsenic, tous éléments nuisibles qui se rencontrent plus ou moins dans les fontes au coke.

De même qu'on dit: tel père, tel fils, pour exprimer l'influence de l'origine sur les qualités morales d'un individu, de même l'on peut dire: telle fonte, tel fer. Or, la fonte au bois donne un fer et un acier supérieurs; par cela même sa valeur commerciale est plus haute et l'on continue à la produire malgré l'élévation de son prix de revient. Néanmoins les fontes au coke occupent le premier rang dans la consommation générale. Elles seules, en effet, peuvent être produites avec l'abondance que nécessitent les besoins actuels. Malgré les nombreuses manipulations nécessaires à leur transformation en fer, leur prix de revient est considérablement inférieur à celui des fontes au bois; d'ailleurs, leurs qualités répondent suffisamment aux usages auxquels on les applique. Nous verrons un peu plus loin par quelle suite de transformations elles passent avant de devenir du fer.

Coke ou bois, quel que soit le combustible employé, il en résulte toujours, avons-nous dit, de la fonte

blanche ou de la fonte grise. Suivant l'intimité de combinaison du carbone, cet état qui différencie les deux espèces n'a d'autre cause que le refroidissement plus ou moins rapide du métal en fusion. Si le refroidissement est rapide, le carbone n'a point le temps de suivre sa tendance naturelle à se séparer du fer, et ses atomes restent emprisonnés dans la masse sans avoir eu le loisir de se dissocier; l'on a obtenu alors de la fonte blanche. Si le refroidissement est lent, les atomes de carbone se recherchent, se groupent et présentent l'aspect qui caractérise la fonte grise.

Ceci est tellement vrai, que l'on obtient de la fonte blanche en faisant refroidir rapidement de la fonte grise refondue; de même que l'on produira de la fonte grise avec de la bonne fonte blanche lentement refroidie.

Ces phénomènes, base du travail métallurgique, une fois bien compris, on conçoit dès lors les dénominations de fonte truitée, lamelleuse, grenue, fibreuse ou noire, qui dérivent toutes de la forme et de l'abondance du groupement des atomes de carbone dans la fonte grise.

La fonte blanche, étant mieux combinée avec les éléments de carbone duquel elle reçoit ses qualités, est réservée pour être convertie en fer et en acier: d'où son nom de *fonte à fer*.

La fonte grise, ou fonte à moulage, est réservée pour le moulage: elle sert à la fabrication de toutes ces pièces de charpente ou de machines qui doivent supporter un poids considérable à l'écrasement. Elle fournit aussi la matière de ces mille objets de ménage et de construction que l'industrie multiplie chaque jour: balcons de fenêtres, bornes, chenêts, marmites, tuyaux, etc. etc.

Selon qu'elle est immédiatement conduite dans des moules ou réservée pour des usages ultérieurs, la fonte est dite de première ou de deuxième fusion.

Dans tous les cas, lorsque le creuset du haut fourneau contient une quantité suffisante de métal, on pratique l'importante opération de la coulée.

Les laitiers élaborés dans les flancs du haut fourneau débordent par-dessus la *dame* du creuset. Ils ruissellent en sillons éblouissants, qui vont se perdre dans un trou profond, où ils se figent en une masse terne et vitreuse. Sous la halle de la forge, les hommes se hâtent de prendre les dernières dispositions, et justifient par leur aspect fantastique l'image terrible que l'on se faisait des ateliers de Vulcain; suivant les jeux de lumière issus du fer qui brûle en étoiles jaillissantes des parties obscures s'éclairent subitement et laissent entrevoir des profondeurs pleines de mystères, où l'œil entrevoit un enchevêtrement de grues, de poulies, de chaînes et d'engins formidables.

Cette opération de la coulée a toujours quelque chose d'un peu solennel; elle cause toujours une certaine anxiété au personnel de l'usine, malgré la grande habitude qu'il en a. Il s'agit, en effet, de délivrer le métal de la prison où il s'agite furieusement, de procéder rapidement, mais sans hâte, avec précision, sous peine de perdre une partie du produit ou d'occasionner des accidents.

La coulée a lieu une, deux ou trois fois par jour, à heures fixes, selon les dimensions du haut fourneau. Sous la halle qui abrite le pied du colosse les ouvriers sont à leur poste, armés des divers engins avec lesquels chacun doit participer à l'opération. Le maître fondeur et ses aides rangés près de la *tympe* attendent le signal. L'on s'est assuré que les moules où doit couler le métal sont parfaits, que les rigoles de circulation ont la pente convenable et les parois lisses, que les grues et les chaînes destinées au transport de la fonte liquide dans les *poches* manœuvrent bien.

L'ingénieur donne un ordre; aussitôt le vent des tuyères s'arrête et cesse de gronder; le fondeur, armé d'un fort ringard, attaque le tampon d'argile durcie qui obstrue le *trou de coulée* placé au bas de la *dame*. A coups redoublés il la brise et découvre une lueur de plus en plus vive; à mesure que pénètre la pointe du ringard, la fonte se fait jour en un mince filet qui gros-

sit en même temps que le trou s'élargit. Le métal ruisselle et projette des myriades d'étincelles sur les hommes que leur poste place près du creuset; il dégage des torrents de chaleur impuissants à les faire reculer. Le devoir les enchaîne à cette place pour diriger et surveiller le ruisseau incandescent dont l'éclat les aveugle. Tout le long des rigoles sont disposés de petits tas de sable fin destinés à modérer la course du métal s'il menace de déborder. Bientôt, tout le sol de la halle présente l'aspect d'un vaste gril rougi : le sable dont il se compose a été façonné de manière à former une série de cuvettes oblongues se reliant l'une à l'autre. La fonte se glisse de canal en canal jusqu'au dernier de ces compartiments qu'elle remplit. Lorsqu'elle est froide, on donne un coup de marteau sur chacun des étranglements qui séparent les cuvettes, et l'on extrait de chaque cavité un lingot ou *gueuse* destiné soit à une seconde fusion, soit à l'affinage, suivant la nature du métal.

Quand on utilise immédiatement l'état de fusion du métal, et s'il s'agit de grosses pièces, on dirige directement le jet dans des moules enfouis dans le sable. Lorsque les pièces à produire sont de dimensions restreintes, les moules, toujours enfouis dans le sol, sont disposés de façon à présenter une ouverture en forme d'entonnoir. La fonte, dont il faut pouvoir suspendre à volonté l'accès, au lieu de s'écouler par des rigoles tracées à terre, est reçue dans une *poche*, sorte de chaudron en fer solidement rivé, revêtu intérieurement d'une épaisse couche de terre réfractaire. De chaque côté, la poche est munie d'oreilles formées par une longue tige de fer se terminant par une double branche. Lorsque la poche a reçu son contingent de métal liquide, une grue s'avance et présente deux crochets auxquels on suspend le chaudron incandescent. La grue pivote et va déposer l'éblouissant fardeau juste au-dessus du moule à remplir; les ouvriers s'emparent des branches, inclinent la poche portée par les chaînes et en versent le contenu dans chacun des moules dont

le sol est garni. Une poche succède rapidement à l'autre jusqu'à épuisement de la fonte du creuset. A ce moment, le sol n'est plus qu'un vaste noyau de feu; avec une chaleur intolérable il se dégage de l'orifice de chaque moule un jet de flammes bleuâtres qui font ressembler la halle à quelque marécage peuplé de feux follets. C'est l'oxyde de carbone qui brûle à la surface du sable et empoisonne l'atmosphère.

La fonte est épuisée; il faut préparer le creuset pour une autre opération, et le débarrasser des laitiers qu'il contient.

A grands coups de ringard le trou de coulée est encore élargi; les ouvriers plongent dans le creuset leurs longues barres de fer qui rougissent; les scories, brassées, réunies, amenées auprès de l'orifice, lancent des éclats plus vifs que jamais; enfin une dernière pesée les jette hors du brasier dans le trou qui leur est destiné, et elles s'éteignent en crépitant. Puis un tampon d'argile humide fixé sur un ringard à tête ronde est fortement tassé dans le trou de coulée: tout est prêt pour un nouveau travail.

Le vent est rendu aux tuyères, le gouffre incandescent recommence à rugir avec cette violence dont un ouragan peut seul donner l'idée, le fourneau est rechargé avec activité; dans quelques heures l'opération se renouvellera avec la même activité, avec la même précision dans la manœuvre de ces masses de métal en fusion.

S'il s'agit de pièces délicatement découpées ou de formes compliquées, la coulée se pratique presque toujours dans des usines spéciales, qui transforment les gueuses obtenues dans les hauts fourneaux, et y ajoutent les vieilles fontes de toute provenance et de qualités diverses permettant d'obtenir les compositions voulues.

Ce travail est précédé de l'exécution des moules, opération toujours délicate, qui nécessite une main habile et des soins spéciaux.

Dans des chassis de fonte, le mouleur tasse fortement une sorte de sable, humide ou sec selon la pièce à pro-

duire, composé d'une argile spéciale et de houille, le tout pulvérisé, mélangé, criblé avec soin. Quand il a ainsi un fond à sa disposition, il y dépose le modèle, c'est-à-dire une reproduction exacte en bois léger de l'objet à obtenir.

Nous ne devrions pas dire une reproduction exacte, car, la fonte subissant une contraction en refroidissant, on augmente toujours d'un pour cent les dimensions du modèle. A cet effet, les règles dont se servent les modelleurs sont toujours de 101 centimètres pour représenter un mètre. La pratique a consacré la justesse de cette observation.

Le modèle est ensuite noyé jusqu'à moitié de son épaisseur dans le sable soigneusement comprimé jusque dans les moindres saillies et dépressions. A ce point du modelage, on répand sur le tout une couche de sable absolument sec destiné à empêcher les deux parties du moule de se souder ensemble. Un second châssis est posé sur le premier et rempli à son tour avec les mêmes soins; de cette façon, le modèle se trouve complètement caché dans le sable. Les deux châssis sont ensuite séparés avec les plus grandes précautions et portés, s'il y a lieu, dans une étuve, où le moule se sèche et durcit. Quand la dessiccation du sable est suffisante, les deux parties du moule sont rapportées l'une sur l'autre, et maintenues rapprochées au moyen de clavettes passées dans des œilletons. Dans un coin est ménagée une entrée par laquelle le métal liquide ira remplir le vide qui l'attend.

C'est dans un haut fourneau de dimensions restreintes et à cuve cylindrique que l'on met en fusion la fonte destinée aux œuvres de dimensions réduites. Ce fourneau, désigné sous le nom de *cubi'ot*, se compose comme l'autre de matériaux réfractaires soutenus par une forte armure métallique. Son diamètre intérieur, qui va de 1 à 2 mètres, règle dans la proportion de 1 à 3 la hauteur de l'appareil.

Dans le bas s'ouvre le trou de coulée, avec une gouttière sous laquelle on place les poches à remplir; par

derrière, une buse pénètre dans la cuve et y projette l'air fourni par une machine soufflante.

La fonte brisée en morceaux et le combustible, jetés par l'orifice supérieur, forment des lits alternatifs. Une fois en fusion, le métal est reçu dans des poches manœuvrées, suivant leur capacité, à la main ou avec des appareils, puis réparti dans les moules préparés. Quelquefois aussi l'on entreprend au cubilot la fonte de pièces importantes. Quand il en est ainsi, la fonte de plusieurs cubilots est dirigée directement au moyen de rigoles jusque dans le moule, comme nous l'avons vu faire lors de la fonte en première fusion. Enfin, après un refroidissement suffisant, le moule est enlevé, et la pièce est débarrassée des bavures du métal et du sable qui s'y est attaché.

La seconde fusion offre encore la précieuse ressource de pouvoir tremper la fonte au moyen du procédé dit coulage en coquille.

Le lecteur se rappelle assurément que la fonte refroidie rapidement se transforme en fonte blanche d'une dureté considérable, tandis que la fonte lentement refroidie a plus de ténacité et donne la qualité dite fonte grise. Or, on a fréquemment besoin de réunir dans la même pièce les qualités qui distinguent les deux espèces de fonte; on veut trouver la dureté à la surface en même temps que la ténacité dans le corps de l'objet. L'on y parvient aisément par la trempe de la fonte, c'est-à-dire en refroidissant la surface de la pièce coulée plus promptement que le cœur.

Au lieu d'être exclusivement composé de sable, le moule employé en cette occasion est formé de plaques de fer garnissant les parties à tremper, à durcir, et de sable pour le reste. Quand la fonte se trouve en contact avec le sable, mauvais conducteur de la chaleur, elle reste longtemps molle et rouge, tandis que toutes les parties contenues par le fer lui transmettent rapidement leur chaleur en vertu de sa haute capacité calorifique, et, se refroidissant promptement, sont trempées, durcies.

Telle est la fonte dite en coquille.

On se sert encore d'un appareil particulier pour le moulage en seconde fusion des grosses pièces auxquelles on veut donner des soins spéciaux ou une qualité déterminée. Cet appareil, qui porte le nom de four à réverbère, est un fourneau dans lequel le feu est séparé du métal à fondre, où il n'existe point de contact entre le métal et le combustible. Le combustible est placé sur une grille; la flamme, rabattue par un abaissement à angle droit de la cheminée, passe au-dessus d'une sole légèrement concave. La fonte, réduite en menus fragments rangés sur la sole, ne tarde pas à entrer en fusion sous l'action du feu activé par un fort tirage, et s'amasse dans une poche formant le fond du fourneau. C'est de là qu'elle est conduite dans le moule à remplir au moyen d'un trou de coulée semblable à celui du cubilot.

II

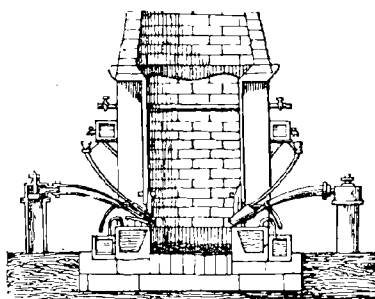
LE FER

I. *L'affinage*. — Le haut fourneau a vomi ses torrents de fonte liquide et nous a donné du métal, mais il ne nous a pas donné de fer. Contraste piquant avec les primitives méthodes métallurgiques, son produit nous est d'une utilité moins immédiate que ne l'était le produit des fourneaux rudimentaires des premiers âges. Mais alors intervient la méthode indirecte avec ses opérations complémentaires et savantes qui ont fait de la métallurgie la reine des industries.

Il s'agit de transformer en fer propre à notre usage ces montagnes de fonte, c'est-à-dire de chasser l'excès de carbone qui ne permet au métal ni de se souder ni de se forger. Il faut l'en débarrasser au point qu'il ait

perdu la faculté de se tremper, si l'on veut du fer; mais il faut lui en laisser suffisamment pour qu'il possède les qualités de résistance qui le distinguent autant que son extrême docilité.

Jusqu'à 0,30 pour cent de carbone, l'on a du fer se pliant aux nombreuses exigences de l'industrie, offrant des degrés de résistance en rapport avec sa faible teneur carbonique. Au delà il devient de l'acier,



Feu de finerie. Système anglais.

A droite : Vue des tuyères. A gauche : Coupe des tuyères montrant la disposition du système rafraîchissant.

dont le rôle, de plus en plus étendu, fera le sujet d'un chapitre spécial.

Il faut également débarrasser la fonte de ces corps étrangers, soufre, phosphore ou manganèse, qui s'y rencontrent.

C'est à ce but que tend l'affinage.

Deux méthodes permettent d'atteindre cet important résultat : l'affinage au petit foyer, dans lequel le combustible est du bois, et le *pudlage* ou affinage anglais, qui se fait à la houille.

Le premier opère sur de petites quantités avec un outillage simple, et traite de préférence les fontes au bois; le second s'attaque à de grandes masses à la fois, il est devenu le complément obligé de toute usine à fer munie d'un outillage perfectionné.

L'affinage au petit foyer se fait dans des appareils

ressemblant à la forge catalane. Suivant la contrée, les détails de l'opération se signalent par des différences fort peu appréciables, portant sur la quantité de métal ou de combustible employée dans chaque feu, et sur la durée de séjour du fer dans le foyer; c'est ainsi que l'on a été amené, par une sorte d'amour-propre régional, à désigner ces différences sous les noms de méthode comtoise, galloise, bourguignonne, allemande, champenoise, etc. Au fond elles se ressemblent absolument, mais la forge dite comtoise est celle qui a servi de type et de modèle aux autres.

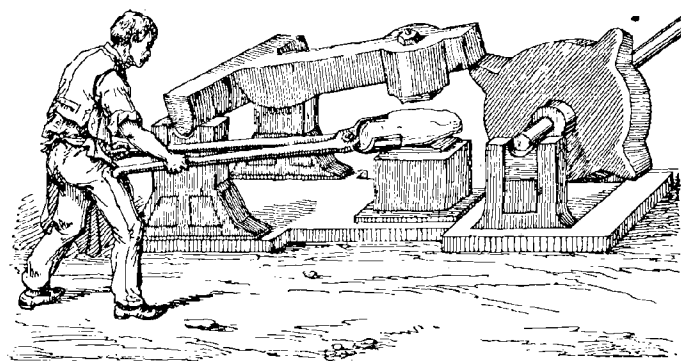
La première partie de l'opération consiste dans le *mazéage*, ou refonte du métal dans une sorte de *cubilot*. De ce premier fourneau où la fonte subit déjà un commencement d'affinage par le jet d'oxygène qu'elle traverse en fondant, elle est coulée en plaques sur lesquelles on projette de l'eau. On obtient ainsi une fonte blanche, dont les fragments brisés et jetés dans le foyer d'affinage se présenteront mieux combinés sous la tuyère. La seconde partie de l'affinage exigera aussi moins de temps pour être menée à bonne fin.

Ces préliminaires, il faut le dire, ne sont guère employés que pour obtenir des fers de qualité supérieure. Dans la généralité des cas on les néglige, et la fonte est livrée directement au foyer d'affinage.

La forge comtoise a son creuset rectangulaire de dimensions plus restreintes que la forge à la catalane. Au lieu d'un revêtement de briques, il est complètement doublé intérieurement de plaques de fonte, dans le fond et sur les côtés.

L'air lui est fourni par une trompe au moyen d'une tuyère inclinée vers le fond. Comme dans le foyer catalan, un chio existe sur le côté pour débarrasser le creuset des laitiers qui s'y forment. Le métal à fondre est en contact direct avec le feu; les gueuses sont enfoncées à même le monticule de charbon qui comble le foyer; au fur et à mesure que la fusion s'opère, les gouttelettes de fer se glissent à travers le charbon et arrivent sous le vent de la tuyère. L'oxygène qui les frappe

abondamment met en liberté le carbone qu'elles contiennent; celui-ci remonte dans la masse du combustible à l'état d'oxyde de carbone, et y forme dans des proportions moindres le courant ascensionnel qui facilite les réactions du haut fourneau. Les corps étrangers encore contenus dans le fer sont également dissociés et se réunissent en laitiers, qui protègent le fer contre une action trop vive de l'oxygène et l'empêchent de brûler.



Le marteau frontal.

Cette action bienfaisante est aidée par un brassage énergique au moyen du ringard et par l'adjonction des *battitures*, ou oxyde de fer qui provient des déchets produits par le choc du marteau.

En se débarrassant de ses impuretés, le fer devient moins liquide, il est spongieux, ses molécules acquièrent de l'adhérence. A ce moment les ouvriers pétrissent avec leurs ringards cette pâte incandescente. Quand ils en ont bien réuni les fragments, ils la roulent sous la tuyère et l'exposent quelque temps à un fort *coup de vent*. On brasse de nouveau pour donner de la fermeté à la *loupe*, et, quand elle est *suante*, c'est-à-dire arrivée au blanc éblouissant, on la retire du brasier dont la température, à ce moment, est de 1,500 degrés.

Après quelques instants, pendant lesquels la pâte métallique s'est *ressuyée* contre le feu, on la jette sous le marteau pour y être *cinglée* absolument comme dans la forge catalane.

Néanmoins, le marteau employé n'est plus le même; son poids varie entre 300 et 800 kilogrammes, suivant l'importance des loupes qu'il doit frapper. Au lieu d'appuyer sur la queue du marteau, les cames de l'arbre viennent en soulever la tête; les tourillons sur lesquels bascule l'appareil sont placés à l'extrémité et non plus au milieu du manche; la tête du marteau se prolonge par devant en un *front* que la rotation des cames soulève de 100 à 120 fois par minute. On désigne ce marteau par le nom de frontal. Quand la sudation du fer est complète, on sépare la masse en deux lopins, qu'on réchauffe sur le foyer d'affinage, où ils sont repris, puis *étirés* sous un marteau moitié moins lourd.

La forge d'affinerie tient dans l'industrie métallurgique le même rang que la forge catalane. Comme elle, il lui faut réunir pour vivre la double condition de proximité de la forêt qui lui fournit son combustible, et d'une force motrice économique. L'eau seule peut lui donner ce moteur. C'est essentiellement une usine à production fort limitée, mais qui donne, par contre, des produits d'une qualité exceptionnelle, surtout quand elle traite des fontes au bois. Cette supériorité des produits est la meilleure garantie de son existence, comme elle est celle du fourneau au bois.

Telle était la méthode uniquement employée jusqu'en 1774, époque à laquelle les Anglais inventèrent par nécessité l'affinage à la houille. Dès 1786, la nouvelle méthode, pratiquée au moyen d'appareils appelés fours à puddler, était répandue dans toute l'Angleterre et y amenait une révolution dans le monde des métallurgistes. Cependant la France restait obstinément fidèle aux vieux procédés. Ce fut seulement en 1822 que l'on construisit, dans les forges de la Loire, le premier four à puddler. Pour obtenir ce résultat il fallut souoyer des ouvriers anglais et les payer des sommes

énormes, tant il y avait ignorance ou aversion de nos métallurgistes.

L'affinage à la houille comporte, comme l'affinage au bois, une double opération : l'une, analogue au mazéage, pour préparer le traitement du métal, l'autre pour achever la décarburation de la fonte.

Pour la première, on emploie un foyer spécial appelé feu de *finerie*. C'est un vaste creuset en plaques de fonte surmonté d'une puissante cheminée d'appel. Vers le bas débouchent de quatre à huit tuyères de forte dimension. Les gueuses de fonte sont placées entre deux lits épais de coke. Sous la température effroyable que provoque la quantité d'air lancée sur le combustible, la fonte se liquéfie ; tout fondrait, le contenant aussi bien que le contenu, si l'on n'avait soin de loger les tuyères dans une double enveloppe où circule un courant d'eau et de doubler les parois du creuset d'auges également remplies d'eau. Cette température excessive n'est pas produite dans le seul but de liquéfier le métal ; elle a surtout pour objet de provoquer la combustion des corps étrangers au fer. Après un séjour de deux heures dans ce foyer ardent, la fonte est coulée en plaques minces et refroidie par un jet d'eau, afin de la rendre dure et cassante.

Le produit de cette première épuration, désigné sous le nom de *fine metal*, est ensuite repris et traité définitivement dans le four à puddler.

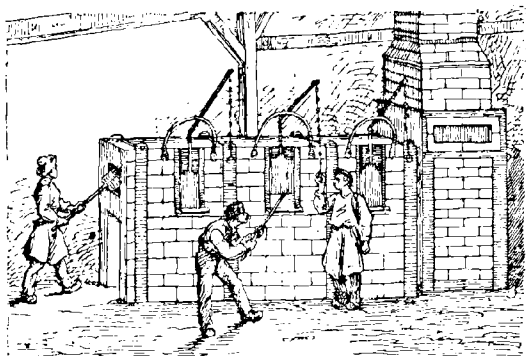
Néanmoins, pour plus de rapidité et d'économie dans la main-d'œuvre, il arrive fréquemment de mettre directement dans le four à puddler la fonte qu'il s'agit d'affiner. Cette pratique n'offre pas d'inconvénient lorsqu'il s'agit de produire des fers de qualité ordinaire ; d'ailleurs, on corrige son insuffisance par un brassage plus prolongé et par un cinglage énergique.

Le puddlage, mot qui s'est introduit avec la chose, vient de l'anglais *puddle* qui signifie brasser, pétrir ; en effet, il exprime bien la manœuvre essentielle de l'ouvrier qui conduit l'affinage à la houille.

Le foyer dans lequel s'accomplit l'opération complé-

mentaire est allumé dans un four à réverbère alimenté non par du coke, mais par de la houille produisant une flamme aussi longue que possible. Au moyen d'un tirage énergique activé par une cheminée haute d'une dizaine de mètres, on allonge encore cette flamme de façon à lui faire lécher toute la couche du métal étendu sur la sole.

Ce four à réverbère se distingue par sa disposition



Four à puddler.

intérieure de celui dans lequel on coule la fonte: le métal est séparé du combustible par un petit mur appelé *l'autel*; la sole est plate et terminée du côté opposé à l'autel par une petite saillie au-dessus de laquelle débordent les laitiers, qui tombent dans un espace ménagé au pied de la cheminée. Sur le côté du four sont pratiquées des portes à bascule qui servent à la surveillance du travail et aux manipulations nécessaires.

La fonte cassée en morceaux est répartie sur la sole du foyer, dont la température est celle du blanc soudant, 1,500 degrés. Chaque four a son ouvrier en titre, un maître en son art, que l'on désigne sous le nom de *puddleur*, plus un aide ou deux pour le gros de la besogne. Sur lui repose la réussite de l'opération. Aucune tâche n'est plus rude que la sienne; il faut que le puddleur soit un homme robuste, habile et adroit;

aussi est-il chèrement payé, tant à cause de la réunion de ces qualités qu'à cause de la rapidité avec laquelle son pénible travail arrive à l'épuiser.

La qualité et la quantité du fer qui sortira du four dépendent de son coup d'œil, de sa vigueur, de son adresse. Il faut qu'en dégageant la fonte des matières impures, il ne laisse rien perdre de ce qui peut utilement entrer dans la composition du fer. Le voici à l'œuvre devant les portes à demi soulevées qui dégagent une intolérable chaleur; la chemise défaite, à peine vêtu, armé du ringard, il brise les morceaux de fonte à moitié liquéfiés, il réunit les parcelles de métal bouillant, il remue sans cesse la masse incandescente. C'est un véritable pétrissage, comme celui du gindre sur la pâte qu'il brasse à grand effort. L'attention de l'ouvrier ne peut s'en détourner; haletant, couvert de sueur, à peine a-t-il quelques instants pour étancher la soif qui le dévore. Il lui faut ne pas perdre de vue ce bain de métal dont l'éclat l'aveugle, qui bout sous la flamme et qui ne parviendra à l'état d'amalgamation que par l'effort incessant de son bras. Peu à peu l'œuvre s'accomplit; de toute la masse s'échappent comme des bouillons liquides, qui crèvent et laissent s'élever des flammes bleues; c'est l'oxyde de carbone qui se forme et qui brûle; puis la matière prend de la consistance, le ringard se charge de particules ferreuses comme un noyau sans cesse grossissant. De temps à autre, le puddleur se débarrasse de ces petites balles et les pousse contre l'autel, où il les reprendra quand l'opération générale sera terminée. Enfin les réunissant en une loupe, il les jette sur un chariot, que l'aide conduit près du marteau à cingler.

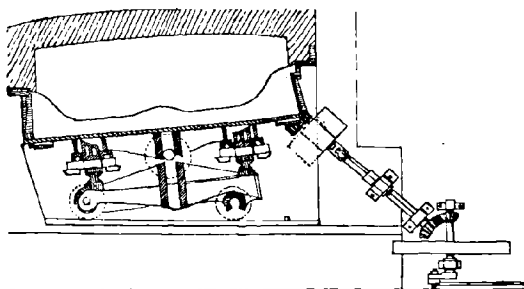
Les premiers fours à puddler avaient leur sole garnie d'une couche épaisse de sable; ce système donnait des fers inférieurs et un déchet considérable. Pour corriger ces inconvénients, la sole fut composée de fonte qu'on chargea de vieux fers très oxydés et de *battitures*. C'est un moyen d'activer énergiquement l'oxygénation de la fonte à purifier; l'on en obtient des produits

presque purs dans un temps plus court; le soufre, le phosphore lui-même ont été à peu près expulsés par un puddlage bien fait.

La difficulté de rencontrer de bons puddleurs, le désir d'éviter à l'homme un travail excédant la mesure de ses forces ont fait rechercher les moyens de procéder mécaniquement au puddlage. Divers essais entrepris vers 1853 ont donné des résultats partiels. On faisait tourner la sole autour d'un axe légèrement incliné, et le puddlage se faisait automatiquement. D'autres systèmes la portaient sur un chariot mobile. Néanmoins la pratique ne consacrait point ces tentatives, lorsqu'un ingénieur américain, Danks, eut l'idée de donner une forme nouvelle au four à puddler mécaniquement. Son appareil, passé dans la pratique depuis quelques années seulement, se compose d'un foyer qui envoie sa flamme dans un tambour de briques garni intérieurement de minerai et de scories de fer. Le tambour est muni extérieurement d'une roue commandée par un pignon; le métal à affiner, continuellement brassé par la rotation de l'appareil, présente sans arrêt la fonte à la flamme; les produits de la combustion s'échappent par le gros tuyau qui forme l'axe du tambour et aboutit à la cheminée de tirage.

La puissance de cet appareil est incontestable, car il manœuvre de 400 à 500 kilogrammes à la fois, c'est-à-dire cinq fois plus que dans le puddlage à bras; mais il entraîne à des frais considérables les usines qui l'adoptent, parce que le matériel ordinaire de forge n'est plus assez puissant pour le martelage efficace d'une loupe de 400 kilogrammes. Les métallurgistes se trouvent entraînés à renouveler tout leur ancien outillage, et beaucoup reculent devant une transformation radicale que ne comportent ni leurs ressources ni leur situation commerciale. L'installation de ces appareils se trouve en quelque sorte réservée aux nouvelles usines, ou à celles qui ont déjà à leur disposition les puissants marteaux-pilons et les presses gigantesques dont nous verrons tout à l'heure le rôle.

Frappé de ces difficultés, M. Pernot, un ingénieur français, combina la rotation de la sole avec son déplacement facile. Son four fait le puddlage mécanique en agissant sur une charge atteignant jusqu'à 1,000 kilogrammes; lorsque l'opération est à point, la sole, montée sur un chariot, est sortie du foyer et on lui emprunte à volonté des petits lopins de 40 à 50 kilo-



Four rotatif Pernot.

grammes en rapport avec la force du matériel des usines.

D'autres inventeurs rendent le foyer mobile tout en maintenant à la sole sa rotation mécanique. Dans divers systèmes on dirige sur le bain de fonte un véritable chalumeau analogue à celui des soudeurs, mais un chalumeau gigantesque alimenté par l'action combinée du foyer et des gaz réchauffés qui s'échappent de la sole. Pour retirer la loupe on éloigne le chalumeau.

Que le puddlage soit fait à bras ou à la machine, les difficultés de l'opération restent les mêmes et nécessitent, pour être évitées, une extrême attention, une grande expérience. Si on puddle trop chaud, les phosphates se dissocient, et le laitier qui avait absorbé le phosphore l'abandonne : ce corps nuisible et d'humeur vagabonde retourne dans le métal; si on puddle à trop basse température, on s'expose à laisser figer le métal sans avoir laissé au silicium, au phosphore et au car-

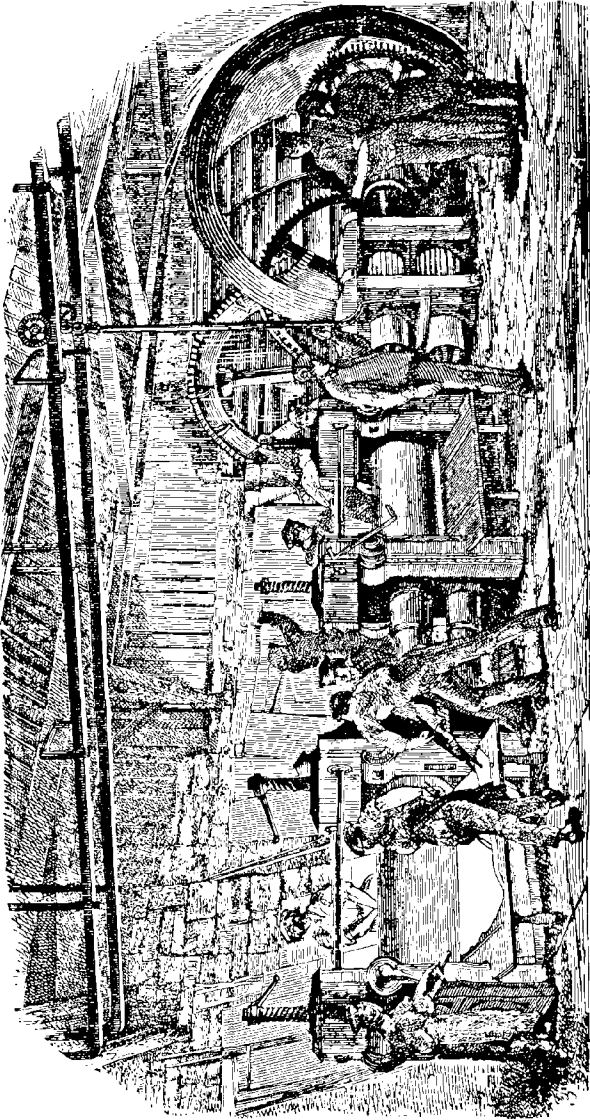
bone un délai suffisant pour se combiner avec l'oxygène. Il faudrait pouvoir produire des températures excessives ou modérées, à la volonté du métallurgiste. Hâtons-nous de le dire, la voie est ouverte, et c'est par là que la sidérurgie moderne semble devoir trouver la solution de ses principales difficultés.

II. *Les petites usines.* — Le puddlage mécanique étant une exception, nous n'avons pas encore à examiner quels engins on emploie pour la manipulation des monstrueux outils de l'industrie métallurgique; nous restons à suivre les opérations complémentaires qui s'accomplissent dans la plupart des usines pour la préparation des fers du commerce.

Le frontal est l'instrument le plus employé pour le cinglage de la loupe sortant soit du foyer comtois, soit du four à puddler; cependant quelques usines ont adopté aussi l'usage d'un instrument anglais nommé *squeezer*. Au lieu de frapper, cet engin agit par compression; semblable à une énorme pince dont les mâchoires sont hérissées de creux et de reliefs, il mâche littéralement la loupe de fer, la pétrit, en fait sortir toutes les scories, qui ruissellent en bavures sortant d'une gueule monstrueuse; aussi les ouvriers ont-ils surnommé cet engin le *crocodile*.

Le fer est loin d'être parfait en sortant de ces terribles mâchoires; il a encore besoin d'être *étiré*. L'usage du martinet est conservé seulement dans les plus petites forges; les usines ordinaires se servent à présent du laminoir.

C'est encore une importation anglaise, comme l'est, d'ailleurs, la plupart des procédés métallurgiques. Il fut inventé en 1784 par Cort, le même qui avait inventé le puddlage. Composé de deux ou de trois rouleaux montés sur des axes d'une solidité à toute épreuve, il est retenu dans un solide bâti. En marche, les rouleaux tournent en sens inverse l'un de l'autre, si bien que tout objet livré à leur action est entraîné dans leur course et forcé de passer entre eux. La compression produite



La grande forge. — Les laminoirs à tôle.

est effroyable, rien n'y résiste : aussi le laminoir est-il un des plus puissants auxiliaires du métallurgiste.

En sortant du marteau ou du *crocodile*, le bloc de fer est porté sous les rouleaux du laminoir ; son extrémité un peu amincie est engagée entre les deux cylindres ; toute la masse franchit ce passage et se comporte en cette circonstance absolument comme une pâte ferme sous le rouleau du pâtissier ; elle s'étale, s'allonge en gardant son homogénéité. Après ce premier passage, on donne un tour à la vis qui règle la distance des rouleaux, et l'on renvoie aussitôt la masse de fer. Ce va-et-vient se renouvelle tant que la température du métal le permet. Mais les rouleaux chargés de comprimer le fer étiré ne sont pas tous unis ; leur surface est sillonnée de creux suivant un profil déterminé qui correspond exactement sur les deux rouleaux. Ces cannelures vont en diminuant progressivement, et seront successivement franchies par le fer jusqu'à ce qu'il ait atteint la forme méplate, la plus favorable pour les préparations qu'il doit encore subir. Il en résulte que toute usine possède plusieurs *équipages*, dont la réunion forme ce qu'on nomme un train de laminoirs. Ceux qui reçoivent la loupe fraîchement cinglée sont nommés équipages dégrossisseurs ; les autres, destinés à compléter l'opération, sont les équipages finisseurs.

L'efficacité du laminoir est telle que son rôle n'a pas tardé à grandir, et qu'il est maintenant seul chargé de produire tous les fers du commerce en tringles, en barres, les fers de construction à double et à simple T, les rails pour chemins de fer, en un mot, toutes les pièces métallurgiques devant avoir un profil uniforme sur une grande longueur.

En sortant de ces énergiques morsures, le fer n'est rien encore que du fer brut. Il a besoin d'être parachevé pour être du fer fini, c'est-à-dire du fer privé de pailles, bien soudé, propre aux travaux de la forge. En style de forgeron, il faut qu'il soit *corroyé*. Pour cela, les barres produites par le laminoir sont coupées

en plaquettes d'un pied de long à l'aide d'une cisaille, gigantesque paire de ciseaux dont l'axe placé entre les deux lames semble l'œil de quelque fantastique animal. Si le squeezer ressemble à une gueule dévorante, la vue de la cisaille en fonction éveille l'idée d'un de ces monstres dus à l'imagination des poètes ou des historiens mythologiques. Reliée par une tige à une bielle puissante, la cisaille coupe sans cesse, tranquillement, d'un mouvement automatique, si facilement qu'elle semble trancher le fer comme s'il n'offrait aucune résistance.

Tous ces morceaux sont réunis en paquets retenus avec du fil de fer, puis plongés dans un four à réchauffer, appareil à peu près semblable au four à puddler. Au bout de quelques minutes le métal a atteint la température du recuit (700 degrés), il est à la *chaude rouge brun*. A 1,000 degrés, à la *chaude rouge cerise*, on le surveille de près; il ne tarde pas à être à la *chaude suante* ou *blanc soudant* (1,500 degrés). C'est le moment convenable pour le retirer du feu, car un séjour plus prolongé le brûlerait. En cet état il est porté sous le marteau pour y être vigoureusement *corroyé*; lorsque la soudure du paquet est parfaite, on le confie de nouveau au laminoir, qui lui donne sa forme définitive avant de le livrer à la circulation commerciale.

III. *La grosse forge*. — Les opérations auxquelles nous venons d'assister n'ont pour objet que la préparation des fers marchands. Mais la société actuelle a de telles exigences que l'industrie a dû créer un matériel capable de satisfaire aux besoins les plus imprévus et les plus considérables: d'où les usines qui fabriquent spécialement les plus grosses pièces de la métallurgie. A celles-là l'outillage ordinaire ne suffit pas, surtout si l'on songe qu'il s'agit parfois de pièces métalliques atteignant souvent 25,000 ou 30,000 kilogrammes et allant parfois jusqu'au poids invraisemblable de 80,000 et de 100,000 kilogrammes. Pour enfanter de pareils colosses, que peuvent les pauvres petites forges com-

toises avec leur frontal et leur unique équipage de laminoirs ?

Il a fallu inventer, combiner des engins d'une irrésistible force, pliant les masses énormes de fer suivant le capricieux génie de l'homme. Aussi est-ce un des plus beaux spectacles qu'il soit donné de contempler quand on assiste à quelqu'une de ces grosses opérations métallurgiques. La puissance intellectuelle de l'homme éclate aux regards les plus prévenus, confond le spectateur. Dans cette lutte contre la nature, l'esprit se rit des résistances de la matière aussi bien que de la faiblesse des bras humains, il sort vainqueur de toutes les difficultés.

La préparation du métal nécessaire aux pièces qui doivent sortir de la forge des œuvres subit des modifications. Le fini du travail est remplacé en grande partie par la puissance de l'outillage. Ici, le laminoir joue un rôle considérable en compagnie du marteau-pilon et de la presse.

Dans la grosse forge, le laminoir est de deux sortes, selon qu'il sert au corroyage du fer ou à lui donner ses profils définitifs. Pour le corroyage, c'est un engin qui participe à la fois du squeezer, du laminoir et de la presse. Il ne bat pas, il *comprime* avec une force irrésistible la loupe de 500 kilogrammes fournie par le puddlage mécanique. L'instrument se compose de trois cylindres roulant autour de leur axe ; placés horizontalement, ils sont garnis de cannelures sur toute leur longueur et occupent la même position que dans les appareils à broyer les corps peu résistants. La pâte incandescente, prise dans cet irrésistible engrenage, est serrée vigoureusement, en même temps qu'un marteau lancé horizontalement par la vapeur refoule contre une enclume le métal qui s'écoule sous la pression.

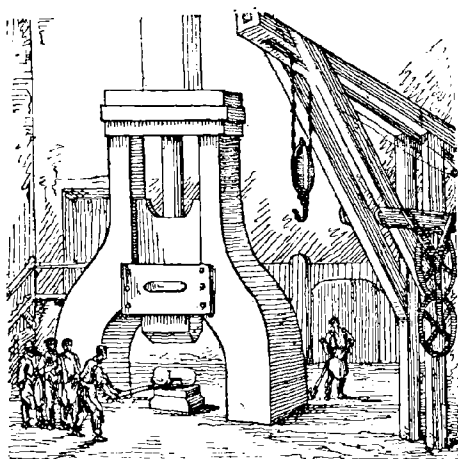
Toutefois l'outil par excellence de la grosse forge, c'est le marteau-pilon, formidable engin dont l'invention, presque simultanée en France et en Angleterre, remonte à 1840. Les Anglais en revendiquent la priorité en faveur de l'ingénieur Nasmyth et ne désignent cet



Une forge dans le pays de Calles. Les fours à réchauffer.

outil que sous le nom de marteau Nasmyth. En réalité, c'est M. Bourdon, ingénieur en chef du Creuzot, qui construisit le premier marteau à vapeur. Ses brevets sont, tout au moins, antérieurs de quelques mois aux brevets anglais.

Le marteau à vapeur, plus communément appelé



Marteau - pilon.

marteau-pilon, se compose d'un bâti en fonte formé de deux montants entre lesquels monte et descend un lourd mouton fixé par une tige dont l'autre extrémité forme le piston d'un cylindre à vapeur. Au moyen d'un levier, la vapeur est admise dans le cylindre, elle soulève le piston et le marteau avec lequel il fait corps; un tiroir s'ouvre, la vapeur s'échappe et laisse retomber de tout son poids la masse de fer. La violence du coup dépend à la fois de la hauteur de la chute, qui est en rapport avec la longueur du cylindre, et du poids du marteau, qui est proportionné au diamètre du piston. L'enclume, la *chabotte*, placée dessous, au niveau du sol, est une masse de fonte concordant avec les dimen-

sions de l'appareil et boulonnée solidement ou noyée dans un inébranlable massif de maçonnerie. On conçoit sans peine l'écrasement formidable produit par le choc d'un tel outil. Aussi le marteau-pilon n'a-t-il pas tardé à prendre place dans toutes les grandes forges, tant pour le cinglage des loupes que pour le forgeage des grosses pièces. Où trouver ailleurs que dans le marteau-pilon la force voulue pour pétrir, réduire, aplatis, pour fabriquer des pièces d'un seul morceau, comme des arbres d'hélice, pesant 30,000 kilogrammes et plus, des plaques de blindage du poids de 28,000 kilogrammes, ou des pièces d'artillerie comme les canons de 100 tonnes de la marine italienne ?

Pour ces œuvres colossales les plus forts marteaux à vapeur ne suffisaient plus, il fallait des engins spéciaux. L'on en fit successivement qui pesèrent 15,000, puis 25,000 kilogrammes ; on les citait avec admiration. Pour accroître encore la force de ces colosses, on les construisit à double effet, c'est-à-dire qu'au lieu de borner son action à soulever le mouton pour le laisser retomber, la vapeur fut introduite dans la partie supérieure du cylindre, en même temps qu'elle s'échappait de la partie inférieure : la force de tension de la vapeur projette le marteau avec une énergie qui triple l'effet de l'outil.

On ajoutait à ces qualités éminentes une précision et une docilité incomparables. Le mécanisme qui fait mouvoir ces monstres est si parfait que, d'un mouvement presque imperceptible, l'ouvrier chargé de leur conduite les met en mouvement avec la lenteur ou la rapidité qui lui conviennent. Au moment où il martèle à coups précipités, la chute du marteau est subitement suspendue au milieu de sa course ; chez ce géant, la douceur des mouvements est telle qu'il enfonce un bouchon dans une bouteille jusqu'au point fixé d'avance, non au delà, et qu'on peut lui faire casser une noix sans endommager l'amande.

Ce n'était pas encore assez pour répondre aux créations sans cesse croissantes de l'industrie. L'Allemand Krupp, le directeur de la célèbre usine d'Essen, en

Prusse, donna l'impulsion. Pour être à la hauteur des exigences de l'artillerie dont il est le créateur, il résolut de se munir d'un marteau-pilon de 50,000 kilog. Malgré la difficulté d'une pareille entreprise, il réussit admirablement. C'est avec ce formidable engin que fut forgée l'artillerie prussienne qui nous causa tant de mal pendant la désastreuse guerre de 1870-71.

D'autres l'imitèrent : la Russie, dans les usines du prince Demidoff, à Perm, les Anglais à Woolwich se munirent de marteaux semblables. Aucun pourtant n'approche de ceux que nous possédons en France. On a pu admirer, à l'exposition de 1878, le spécimen en bois de celui qui possède le Creuzot. Son marteau pèse 80,000 kilog., la *chabotte* juste dix fois autant; son poids total atteint 1,300,000 kilogrammes! Le piston, dont le diamètre est de 1,90, a une chute de 6 mètres de haut. Il en existe un autre, de construction toute récente, plus puissant encore; il fonctionne aux forges de Saint-Chamond, dans la Loire. Le poids de son marteau ne dépasse point celui du Creuzot, mais il est à double effet, ce qui accroît énormément son action utile. Se figure-t-on l'ébranlement produit par le choc de ces masses de 80,000 kilog., lancées par la force irrésistible de la vapeur!

De pareils engins ne sont pas à la portée de tous; il faut dépenser plusieurs millions pour les installer; il faut, en outre, faire état des ruptures qui se produisent quelquefois.

C'est par douze ou quinze que se comptent les marteaux à vapeur dans les grandes usines. Nous ne mentionnons que pour mémoire ceux de faible échantillon qui remplacent maintenant, dans beaucoup de forges, les marteaux à la main : il en ont dix fois la force et la vitesse sous le même volume.

Aussi bien est-ce un spectacle saisissant que de voir fonctionner cet admirable outil. Dans un four de dimensions colossales rugit un foyer énorme, qui chauffe la pièce à façonner. Pour la dégrossir, on a formé un énorme paquet de barres de fer, dont l'extrémité est en-

gagée dans une griffe colossale emmanchée au bout d'une longue tige terminée par des leviers. Entre le feu et le marteau se voient de gigantesques grues, dont les efforts combinés ne seront pas de trop tout à l'heure pour transporter la pièce à forger. C'est à elles qu'est confié le soin de placer sur l'enclume, au moyen d'une double manœuvre, le bloc éblouissant sortant du four. Tout autour, rangés à leur poste, une centaine d'ouvriers se préparent ; les uns disposent la chaîne, énorme collier auquel doit être suspendue la pièce ; d'autres saisissent les treuils qui doivent soulever la masse ; ceux-ci s'arment de leviers avec lesquels le bloc, placé sur l'enclume, sera tourné et retourné ; ceux-là enfin se rangent le long de l'énorme tige et s'appêtent à peser de tout leur poids pour aider au mouvement de sortie du feu. Tous doivent manœuvrer avec un ensemble et une précision tout à fait militaires.

Un signal est donné ; aussitôt la porte du foyer est soulevée, les briques qui en complètent la fermeture tombent ; un énorme jet de flammes fait irruption dans la halle et repousse les hommes les plus proches. Sous l'effort combiné des machines et des hommes, la masse incandescente sort du four chauffée au blanc éblouissant, et, par une évolution habile, est couchée sur l'enclume, comme un vaincu. La vapeur est admise sous le piston du marteau, et la puissante machine s'abat à coups redoublés sur le bloc incandescent, qui remplit l'atelier d'étoiles jaillissantes. Le chef forgeron dirige le travail, et d'un simple signe fait ralentir ou augmenter la force des coups, avancer ou retourner le bloc.

Dans quelques ateliers c'est mieux encore : pour forger un arbre d'hélice qui a quelquefois 2 mètres de circonférence et pèse jusqu'à 37,000 kilogrammes, une équipe de douze hommes suffit ! Quand on voit ce petit groupe aux prises avec cette masse monstrueuse, l'effort semble en disproportion avec la tâche. Et pourtant, grâce à tout un agencement mécanique, la manœuvre se fait rapide, précise, silencieuse ; la pièce énorme est

portée, retournée, maniée dans tous les sens par d'ingénieuses et puissantes machines.

Il faut plusieurs chaudes pour amener de fortes pièces au point voulu; lorsque la température de la masse décroît, elle est reconduite par une manœuvre inverse dans le four à réchauffer. Enfin, après un forgeage suffisant, elle est directement envoyée aux ateliers d'ajustage. Souvent les fours ne pourraient, malgré leurs proportions, contenir certaines pièces, comme les arbres de couche des machines à vapeur qui comptent deux ou trois manivelles; en ce cas, on a recours tout simplement aux procédés de la plus primitive industrie, et les blocs de métal sont enfouis dans d'énormes amas de houille embrasée.

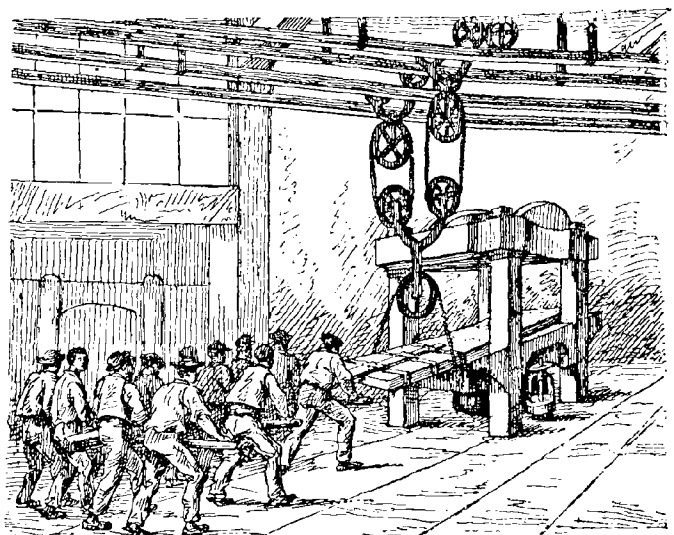
A côté des marteaux-pilons viennent se placer les presses, dont il est fait aujourd'hui un usage de plus en plus répandu. Si le marteau-pilon étonne par ses dimensions et par son énergie, la presse des grosses forges nous plonge dans la stupéfaction par la tranquillité avec laquelle opère son incomparable puissance.

Pour animer ces vigoureux instruments la vapeur ne suffit plus, il faut un agent plus fort encore. Ici, c'est l'eau agissant par compression qui donne à l'outil l'action irrésistible.

L'organe essentiel de la presse à forger est un piston descendu contre une enclume ou remonté contre un plateau supérieur par la force de l'eau refoulée au moyen d'un corps de pompe. C'est, en un mot, une presse hydraulique dont le piston descend ou remonte suivant les exigences du travail.

Les physiiciens ont, plus d'une fois, fait ressortir l'analogie existant entre le fer à l'état soudant et la glace ou la neige. Leur manière de se comporter est la même. Deux morceaux de glace à la température de fusion, rapprochés et pressés, se soudent; il y a regel immédiat: deux morceaux de fer au blanc soudant, soumis à une pression, ne font plus qu'un: voilà un premier point de ressemblance. En voici un second: la glace cristallisée est le fait de la congélation lente,

régulière des eaux, tandis que la glace amorphe provient du rapprochement, du mélange des cristaux de neige et des débris de glaçons; la glace artificielle est généralement de la glace amorphe. Or, la cristallisation du fer n'a lieu que par suite de la précipitation normale, de l'agglomération naturelle des particules



Presse à forger.

provenant de la fusion; frappées, heurtées, forgées en un mot, ces particules prennent une texture qui varie suivant la force créant cette texture. Leur surface revêt les allures d'un corps liquéfié par suite de la transformation en chaleur du choc produit.

Partant de ces principes et s'appuyant aussi sur les remarquables phénomènes qui président à l'écoulement des solides, l'on a supposé que le fer (non la fonte) étant moulé, présenterait à l'usure une résistance inconnue jusque-là. L'on fut ainsi tout naturellement

amené à essayer la compression du fer voisin du point de fusion. Les résultats obtenus ont été si concluants, que le procédé n'a point tardé à passer dans la pratique industrielle.

Au moyen de la presse à forger, dont nous venons de faire connaître sommairement les organes, on produit toutes les pièces à formes détaillées ou délicates, exigeant en même temps une très grande résistance.

Ces mêmes pièces forgées au marteau demandent un temps et des soins beaucoup plus prolongés, sans être toujours affranchies des défauts résultant d'un manque d'homogénéité parfaite.

Sur le bloc fixe constituant l'enclume on pose un moule extrêmement résistant; la tête du piston reçoit la contre-partie de ce moule. Au moment où le fer, porté au blanc éblouissant, est apporté sur le moule, une machine refoule l'eau, actionne la presse et fait descendre le piston avec une pression de 1,500,000 kilogrammes sur un tiers de mètre carré, c'est-à-dire avec une force de 460 atmosphères. Sous cette effroyable pression, le fer se comporte comme s'il était du mercure, c'est-à-dire que ses molécules s'insinuent, se glissent jusque dans les recoins les plus aigus du moule. S'il y a des obstacles comme les tiges destinées à ménager des trous, le métal les contourne et présente à ces points une résistance infiniment plus élevée que si la pièce avait été perforée après coup. Le fer ainsi forgé a l'aspect d'une pièce moulée, et n'a plus qu'à recevoir les façons de l'ajustage.

C'est encore avec la presse que l'on cintre les énormes plaques de blindage suivant la courbe qu'elles doivent affecter d'après la commande des gabarits.

Toutes les usines, cependant, ne se livrent pas à la confection des gigantesques blocs de fer et d'acier; si nombreuses que soient aujourd'hui les machines réclamées pour les transports ou la fabrication, elles sont des exceptions dans l'ensemble des travaux de grosse forge. Les usines métallurgiques se livrent pour la plupart à des opérations moins compliquées: la con-

fection des rails, des fers du commerce et de construction forment leur régime habituel. Mais la concurrence est telle que la rapidité et la perfection du travail dues à un outillage de grande puissance peuvent seules assurer la vie de ces grandes usines.

Les métallurgistes en sont arrivés à ce point de précision dans les diverses phases de leur travail, qu'un rail de 12 mètres de long est fabriqué en quelques minutes. Le paquet composé de barres de fer de diverses qualités est sorti du feu, soumis au laminoir, où il subit jusqu'à dix ou douze passages successifs; puis il est porté devant un essieu armé de deux scies rotatives distantes de la longueur désignée pour le rail. Le fer encore rouge est encastré dans une sorte d'étau, qui en épouse le *profil*, et par un mécanisme ingénieux se trouve poussé contre les scies. Animés d'une vitesse de 1,000 tours à la minute, ces deux disques rognent le métal avec la facilité d'une motte de terre glaise, et projettent de toutes parts de la sciure de fer, que l'extrême chaleur fait brûler avec un éclat incomparable. C'est un *soleil* qu'aucun feu d'artifice ne saurait reproduire. Mais, comme l'extrême chaleur produirait la détrempe de l'outil, sa partie inférieure baigne constamment dans une auge remplie d'eau où elle se retrempe sans cesse. Depuis le moment où le paquet a été jeté sous le laminoir jusqu'au moment où le rail est prêt à servir, il s'est écoulé huit minutes!

Les roues de bandages de locomotives, ayant jusqu'à trois mètres de diamètre, sont obtenues d'une *seule* pièce *sans* soudure! Un poinçon est introduit dans la masse martelée pendant qu'elle est blanche; le trou est agrandi mécaniquement, et le bandage amené au diamètre voulu, sans une soudure, et avec une précision telle, qu'il entre immédiatement en service.

Dans un genre moins relevé, nous citerons comme remarquable la production de fers à double T, ayant une longueur de vingt à vingt-cinq mètres, et celle de tôles atteignant jusqu'à trois mètres de largeur.

III. *Les feuilles et les fils.*— A côté des fers qui forment le fond de l'industrie métallurgique, il faut placer à un rang des plus honorables la tôle et la tréfilerie. Ce sont aujourd'hui les éléments de travaux considérables.

Aux tôles est dévolue la tâche d'alimenter la construction et la grosse chaudronnerie, laquelle fournit le corps des machines et un outillage des plus variés à mille industries : chaudières de toutes sortes, réservoirs, cuves, gazomètres, tonnellerie, etc.

La tréfilerie alimente surtout les télégraphes et donne la matière première des toiles métalliques, des grillages, des pointes et d'articles aussi variés que possible.

Le laminoir est encore l'agent principal, quant aux tôles. Les paquets ou *bidons* de fer sont aplatis entre des cylindres lisses qu'on resserre de plus en plus. Mais, comme à ce travail souvent répété le fer refroidit vite, la feuille est mise à recuire, à plusieurs reprises, dans des fours à faible tirage. Pour assurer un bon produit, la plaque est passée tantôt en travers et tantôt en long; autrement le fer s'écrouirait et ne garderait pas la résistance recherchée pour la chaudronnerie de fer.

Les tôles minces destinées aux nombreux usages de la fumisterie, de la quincaillerie, de la ferblanterie, sont produites avec les fers les plus purs. Il ne serait pas possible de recuire ces feuilles légères qui sont sujettes à un refroidissement presque instantané; arrivées à un certain degré d'épaisseur, le laminage s'achève à froid.

Ce qu'on nomme communément fer-blanc n'est que de la tôle étamée. Pour éviter l'oxydation de ces feuilles métalliques, on les plonge dans un bain d'étain après un *dérochage* (nettoyage) soigneusement fait.

Non moins importante que la tôlerie est la tréfilerie, ou fabrication du fil de fer. Autrefois, on découpait patiemment de fines lanières de fer dans des feuilles martelées aussi minces que possible. Plus tard, on arrondit ces fils en les tirant à travers un oillet, et l'on en faisait des cottes de mailles qui protégeaient le buste

des guerriers. Le moyen âge nous a laissé, comme spécimens de cette industrie, des œuvres fort intéressantes et curieusement travaillées.

Ce fut, dit-on, un mécanicien français du nom d'Archal qui découvrit la méthode actuellement employée dans la tréfilerie; aussi le produit, devenu promptement populaire, fut-il longtemps appelé fil d'Archal, et beaucoup de personnes désignent encore le fil de fer sous cette dénomination.

La tréfilerie ne peut employer que les fers les plus ductiles. Le laminoir est chargé tout d'abord de convertir des barres de fer d'un mètre en tringles dix fois plus longues et du diamètre du petit doigt.

Amenées à cet état, les tringles étaient introduites dans une filière, c'est-à-dire dans un trou conique, percé dans une plaque d'acier fort dure; la pointe en était saisie avec des tenailles, et la tige, violemment tirée, passait en s'amincissant; quand l'ouvrier était au bout de sa course, il reprenait les tringles à l'orifice de la filière et opérait une nouvelle traction; mais, à chaque reprise, la morsure des tenailles paraissait et dépréciait le produit.

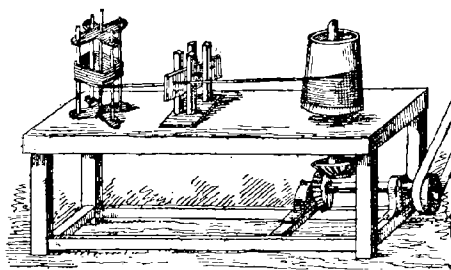
Ce procédé primitif est maintenant remplacé par le banc de tirage.

L'on nomme ainsi une table solide, garnie à son extrémité d'une sorte de dévidoir sur lequel on enroule le fil destiné à traverser la filière. Au milieu, solidement fixée dans des montants, est la filière, qui se compose d'une série décroissante de trous coniques pratiqués dans une plaque d'acier dur.

À l'autre extrémité est un cylindre affectant soit la forme d'une large roue à gorge, soit celle d'une grosse bobine. Ce cylindre ou bobine est monté sur un axe qui traverse la table et se termine par un pignon ou roue dentée mise en mouvement par un moteur quelconque. Le bout du fil est introduit dans la filière, tandis qu'une pince solide, dont la bobine est munie, s'empare de son extrémité; le mouvement est donné au pignon, la bobine tourne et entraîne avec elle le fil qui

fait résistance, mais qui finit par céder et sort à un diamètre inférieur; à mesure que l'opération s'avance, le fil s'enroule sur la bobine, d'où il est repris pour renouveler l'opération.

Cette violence, ainsi que nous l'avons vu au début de cette étude, a pour effet d'écrourir le fer; et pour peu



Banc de tirage.

que le calibre à obtenir soit de minces dimensions, le métal romprait net; pour lui rendre toute sa souplesse, le fil est recuit de temps à autre, et la finesse qu'on parvient à lui donner est telle, qu'avec certains fils de fer on peut tresser jusqu'à quatre-vingts mailles dans un centimètre carré.

Afin d'éviter son oxydation, on a pris l'habitude, pour une multitude d'applications, de le *galvaniser* avant de le livrer au commerce. Cette galvanisation n'est autre chose qu'un étamage au zinc. Il se fait en plongeant le fil bien décapé dans un bain de zinc fondu qui se dépose en une couche plus ou moins épaisse, suivant la durée de l'immersion. Le même étamage se pratique également sur la tôle.

Chose curieuse, et qui se rencontre dans l'histoire d'une multitude de faits industriels, ce procédé, d'application relativement récente, est d'invention ancienne. Il remonte à 1740, et fut donné par Réaumur. L'illustre savant nous offre cette particularité remarquable d'a-

voir pressenti et indiqué, bien longtemps d'avance, plusieurs des méthodes qui ont porté la métallurgie au rang qu'elle occupe aujourd'hui. Ces idées, fécondées plus tard par des génies moins puissants, avaient le tort commun à beaucoup d'autres : elles arrivaient trop tôt, n'ayant à leur service ni l'outillage, ni la sanction de la pratique, dans un siècle qui n'était pas encore mûr pour la vie industrielle.

Sans entrer dans le détail de toutes les applications auxquelles la tréfilerie apporte son concours, il convient cependant de citer parmi les plus importantes : les fils pour la télégraphie électrique, la fabrication des câbles télodynamiques, les suspensions de ponts, et la confection des câbles plats qui servent dans les fosses à charbon à l'extraction des bannes, enfin les aiguilles, qui compensent par la quantité du produit le peu de volume de chaque objet.

III

L'ACIER

I. *Sa nature.* — Un peu plus de carbone que dans le fer, un peu moins que dans la fonte, voilà tout ce qui caractérise l'acier aux yeux du chimiste. Pour lui, du fer combiné avec quelques millièmes de carbone n'est plus du fer, c'est de l'acier ; il lui maintient cette dénomination tant que la proportion flotte entre 0,30 et 1,50 pour cent.

Ce n'est pas un métal spécial ; c'est un intermédiaire entre la fonte non affinée et le fer trop pur. Cet état particulier donne des qualités en quelque sorte personnelles à l'acier, lui communique certaines vertus et le délivre de plusieurs défauts de ses collatéraux. Il a le

précieux avantage de pouvoir échanger instantanément tout un ensemble de propriétés contre des propriétés contraires, de les quitter et de les reprendre à volonté. Selon les besoins, il est doux, liant, flexible, très tenace en même temps; il se laisse façonner au marteau, au laminoir, à la filière, si on l'a fait lentement refroidir au sortir du feu. Qu'on le refroidisse brusquement, et aussitôt ce métal, si docile tout à l'heure, oppose une résistance invincible aux transformations qu'on veut lui imposer : le marteau, la lime, le burin deviennent impuissants contre lui; il est cassant, élastique et tenace, au point d'avoir à son tour raison des corps les plus durs.

Toutefois il est difficile de bien déterminer la ligne de séparation du fer et de l'acier. L'on connaît des fers qui prennent la trempe presque comme l'acier et acquièrent de ses qualités; ils sont appelés fers acie-reux. Par contre, certains aciers, soumis à la trempe, sont réfractaires aux modifications qui en résultent.

Ces différences qui se manifestent à des degrés très divers, se traduisent, tant du côté du fer que du côté de l'acier, par les dénominations de fer doux, fer acie-reux, acier très doux, doux, moyen, demi-dur, dur, très dur et sauvage.

Dans la pratique on apprécie la sonorité des deux métaux afin de les distinguer; l'acier a un son plus argentin que le fer. On se sert couramment aussi de l'épreuve à l'acide : si le métal est verdâtre au contact d'une goutte d'acide sulfurique, c'est du fer; sur l'acier, la tache produite est noire. Il s'aimante plus facilement que le fer et garde bien sa propriété magnétique. Le porte-t-on à une température élevée, il devient translucide.

Comme les diverses qualités de force sont indépendantes des conditions de la fabrication, il a bien fallu en rechercher la cause dans la nature des minerais employés. Ce sont les tentatives faites pour éviter ou pour corriger ces erreurs du fourneau qui ont amené la découverte successive des lois qui président de nos jours à la fabrication de l'acier, soit par les procédés

directs, soit par les procédés perfectionnés qui en ont fait un métal presque aussi commun et à aussi bas prix que le fer.

II. *Le passé.* — Ces hasards, aussi anciens que le travail du fer, ont fait donner à la connaissance de l'acier une très haute antiquité : les premiers forgerons ont dû s'en apercevoir, mais on ignore quand ils les mirent à profit.

Les Égyptiens connurent certainement l'acier à peu près 2,000 ans avant l'ère chrétienne. Les Indiens, qui le connaissaient déjà 1,000 ans avant eux, le leur révélèrent, et ils le transmirent à leur tour aux Grecs. Homère le désigne nettement et l'attribue, comme les autres arts métallurgiques, aux Chalybes, d'où le nom de χάλυβς qui lui fut donné par les Grecs.

Plus tard, les Romains, si longtemps arriérés dans la pratique de la sidérurgie, surent produire à volonté des fers doux ou de l'acier. Ils remarquèrent aussi l'influence particulièrement heureuse de certaines eaux sur le produit.

Nos ancêtres, dont l'habileté comme forgerons était pourtant grande, avaient des connaissances métallurgiques cependant moins étendues. Ils ne connurent l'acier que par les Romains; mais ils apprirent bien vite sa fabrication. Les Césars, profitant des aptitudes particulières des Gaulois pour les travaux métallurgiques, les employèrent en grand nombre dans les fabriques d'État qu'ils établirent à Strasbourg, à Mâcon, à Autun, à Amiens, à Reims, à Soissons.

L'acier devenait d'un usage général, et ses qualités, hautement appréciées, prenaient une place dans le langage figuré. C'est ainsi qu'on arrivait à dire fin comme l'acier, pour désigner un homme à l'esprit subtil et solide en même temps. Il a des muscles d'acier, se disait d'un cheval réunissant la finesse des formes et la résistance à la fatigue. Fort et souple comme l'acier indique la condition heureuse d'un athlète.

La plus belle époque de l'acier fut le xvi^e siècle, où le

luxe des armes rendait indispensable la haute qualité de la matière. Les forgerons du temps apportaient un soin minutieux à la fabrication de l'acier; ils en connaissaient déjà les diverses qualités, les classaient et les fondaient pour obtenir un tout homogène.

Le Piémont, l'Allemagne et la Hongrie avaient le privilège de fournir tout l'acier consommé dans le monde européen. La France ne fut affranchie de ce tribut que par Henri IV. Il fit établir la première aciérie française presque en même temps que les premières plantations de mûriers destinées à développer l'industrie de la soie, en excitant l'émulation des producteurs.

A toutes les époques et dans tous les pays régnait à l'égard de l'acier une ignorance des causes qui faisait attribuer le succès des opérations au mérite seul de l'ouvrier, à la possession de certains secrets professionnels qu'on défendait jalousement. L'impossibilité de produire avec les mêmes ouvriers des aciers d'égale qualité dans des pays différents, fit ouvrir les yeux et comprendre qu'il s'accomplissait pendant le travail certaines réactions dont le mystère devait résider dans le choix des matières employées.

L'esprit des savants fut de bonne heure sollicité par l'intérêt de ces recherches, et l'on vit, à certains moments, surtout au siècle dernier, surgir les formules les plus variées pour arriver à convertir en acier les minerais jusqu'alors réfractaires à cet emploi. La science était si peu éclairée encore, il y a moins de quarante ans, sur les causes présidant à la formation de l'acier, qu'on en était réduit à expliquer la réussite dans l'emploi de certains minerais, par le plus ou moins de *propension acièreuse* de ces minerais. Il a fallu arriver jusqu'à ces dernières années pour établir d'une manière certaine que la pureté ou l'impureté du minerai est la seule ou tout au moins la cause essentielle de la conversion possible du fer en acier.

Entre le lingot minuscule des temps anciens et les torrents d'acier liquide qui sortent chaque jour du creuset, la distance est considérable et les étapes ont

été nombreuses. Le spectacle des efforts tentés par de nombreux savants, les tentatives faites pendant cette longue incubation valent bien qu'on s'y arrête.

III. *Les méthodes.* — Les divers procédés mis en œuvre pour obtenir l'acier peuvent tous se résumer en deux méthodes : la carburation du fer et la décarburation de la fonte; en d'autres termes, adjonction de carbone au fer qui en manque par lui-même, ou enlèvement à la fonte du carbone qu'elle contient en excès.

La première de ces deux méthodes est celle des âges passés; la seconde tend de plus en plus à remplacer la première.

En procédant chronologiquement, nous reconnaitrons d'abord l'acier de forge ou acier direct. Il s'obtient dans le foyer catalan, et résulte réellement du plus ou moins d'habileté de l'ouvrier conduisant le feu. Suivant le point jusqu'auquel il poussera l'opération, le forgeron obtiendra du fer, doux ou fort, ou de l'acier; mais on conçoit sans peine combien sont inégaux et variés les produits directs, puisque, suivant le hasard des réactions ou les soins de l'ouvrier, le même bloc est souvent partie fer et partie acier. Ici, l'intelligence de l'ouvrier est un agent principal non moins que le choix des minerais.

L'irrégularité inévitable des aciers directs oblige à un corroyage énergique, pour lequel on procède comme pour le fer.

IV. *La cémentation.* — On avait remarqué promptement l'action bienfaisante du charbon lorsqu'il baignait abondamment le fer, et l'on ne tarda pas à tenter d'en faire bénéficier le fer déjà fabriqué. C'était, avant même d'en connaître les causes, vouloir ajouter du carbone au fer, afin de le durcir.

Ce procédé, connu depuis de nombreux siècles, est la cémentation. Il consiste à placer des barres de fer, avec de la poussière de charbon de bois, dans un four spécial se composant de deux grandes caisses en briques

réfractaires. Les barres sont déposées par lits alternant avec une couche de poussière de charbon.

L'expérience ayant démontré que le carbone s'introduisait mieux dans le fer quand il était associé à l'azote et à une certaine proportion de potasse, on ajouta au bain de charbon des matières azotées, telles que suie, cendres de bois, cornes, os, sang d'animaux ou rognures de cuir. Le mélange dans lequel on ensevelit le fer à transformer, se nomme *cément*. En principe, toute substance susceptible de dégager du carbone peut être employée comme ciment.

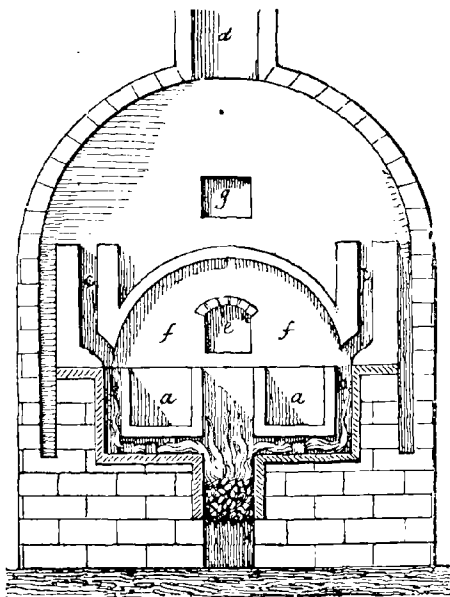
Le tout est soumis à l'action d'un feu placé sur une grille, qui, de proche en proche, porte rapidement la masse jusqu'au rouge cerise. Suivant l'usage auquel il est destiné, le fer ainsi traité est maintenu à la même température pendant une durée de huit, quinze, vingt ou trente jours. Quand il est défourné, il présente sur toute sa surface une multitude d'ampoules qui l'ont fait surnommer *acier poule*. Il a, en outre, augmenté de poids aux dépens du carbone dégagé par le ciment; il a généralement acquis 1 pour cent.

L'action plus ou moins rapide du ciment sur le métal a donné lieu de tout temps aux recettes les plus variées.

Le célèbre Réaumur, cherchant le moyen d'aciérer les fers français jusqu'alors intraitables, était tombé lui-même dans l'erreur commune, en attribuant des vertus particulières à certains ciments. Entraînés par l'autorité de sa parole, nombre d'industriels français entreprirent de travailler les fers indigènes et se ruinèrent; il fallut revenir aux fers de Suède, de Prusse et de Styrie, qui avaient seuls fourni l'acier avant l'époque actuelle.

La cémentation a pour effet ordinaire d'aciérer beaucoup plus la surface que le cœur de la pièce de fer; il faut donc qu'un corroyage plus ou moins répété rende homogène l'acier ainsi produit. D'autre part, si l'on se souvient que le forgeage de l'acier est plus difficile que celui du fer, si l'on considère que souvent la dureté du

métal est nécessaire à la surface de certaines pièces tout en maintenant au centre les qualités du fer, on devait ne pas tarder à chercher l'application de ces particularités. Une multitude d'objets, surtout les articles de quincaillerie et de serrurerie, sont fabriqués en fer,



Coupe d'un four à cémentation.

a. a. Caisses à cémentation. — *b. b.* Canaux de circulation de la flamme. — *c. c.* Cheminées d'échappement. — *d.* Cheminée de tirage. — *e. g.* Ouvreaux pour le service du four. — *f. f.* Ouvertures pour le placement des fers.

puis aciérés par la trempe en paquets, qui n'est autre chose qu'une cémentation superficielle. Comme pour les barres de fer à cémenter, les objets sont enfouis dans des caisses remplies de ciment; ils y séjournent, en contact avec le carbone, un temps plus ou moins long variant avec leurs dimensions et la profondeur à laquelle on veut les aciérer. Ce procédé communique à

la surface la résistance à l'usure de l'acier, et permet la fabrication à bien plus bas prix que si l'on employait de l'acier.

V. *L'acier d'affinage*. — La seconde méthode de fabrication de l'acier est la décarburation de la fonte : c'est une méthode indirecte, et tous les procédés modernes sont basés sur ce principe.

Elle se pratique, soit dans des forges d'affinage d'une façon analogue à l'affinage de la fonte, soit au moyen de feux *rivois*. Ces foyers diffèrent peu du foyer d'affinage, mais ils offrent cette particularité d'employer, pour le dégagement du carbone, une proportion importante de ferraille. Ces fers de rebut, profondément oxygénés, on le sait, se combinent aisément avec le carbone. Il résulte de leur présence au fond du creuset une sorte de partage du carbone, dont la partie en excès dans la fonte va se combiner avec l'oxygène de la ferraille : la réaction donne un métal doux, fort recherché pour de nombreux usages.

L'acier ainsi produit exige une grande main-d'œuvre; il se réduit considérablement par les déchets résultant des corroyages nombreux qu'il doit subir; il dépense énormément de combustible. Cependant sa fabrication se maintient à cause de la simplicité de l'outillage nécessaire aux usines qui le traitent. C'est une compensation aux frais de combustible et de main-d'œuvre.

VI. *L'acier puddlé*. — Les forges d'affinage au petit foyer n'étant possibles que dans de rares localités, et se trouvant impuissantes pour une production un peu importante, on eut l'idée de fabriquer l'acier dans les fours servant à l'affinage de la fonte. Aujourd'hui le procédé s'est généralisé pour la fabrication des aciers de seconde qualité. Le four à puddler est appelé ici four bouillant; l'on y traite surtout des fontes blanches et chargées de manganèse. Il faut surveiller le point convenable de décarburation et favoriser avec un soin

tout particulier le départ du silicium. L'oxydation est provoquée, aidée par l'adjonction sur la sole de scories pilées, de battitures, de bioxyde de manganèse, de fluorure de calcium, de sel marin, toutes substances dégageant facilement l'oxygène.

La fonte ainsi épurée est un métal que les chimistes n'élèvent pas au rang d'acier, mais qui reçoit cependant des métallurgistes le nom d'acier puddlé. Il participe aux défauts du fer sans en avoir les qualités, mais son bon marché lui assure de nombreux débouchés. Il forme, d'ailleurs, un intermédiaire fort convenable entre le fer et l'acier.

VII. *L'acier fondu.* — Tous ces métaux divers pèchent par le manque d'homogénéité; le martelage ne confond qu'imparfaitement les parties diversement aciéreuses et n'est pas susceptible d'application sur de grandes masses.

Pour faire disparaître complètement ces défauts, il faut recourir à la fusion : c'est le seul moyen d'avoir un acier pur homogène. Le résultat de l'opération est de l'*acier à outils*, de l'*acier fondu*.

C'est en 1740 seulement, près de Sheffield, en Angleterre, et par Benjamin Hunstman, que fut établie la première fonderie d'acier. L'industrie créée par lui donne le plus beau de tous les aciers, le plus fin, celui qui réunit véritablement toutes les qualités requises dans ce métal. Les Anglais se sont attachés à la production spéciale de ce métal, qui fait vivre une multitude de petits fabricants. Certaines villes d'Angleterre, Sheffield principalement, sont en quelque sorte une agglomération de petites aciéries. Presque tous les habitants y possèdent une usine minuscule, dont les produits sont revendus aux innombrables couteliers et fabricants d'outils de toutes sortes, qui inondent l'univers de leurs produits.

L'acier que l'on veut fondre est mis par fragments dans des creusets de terre réfractaire, pouvant contenir chacun de 20 à 40 kilogrammes. Les creusets sont

ensuite placés sur la sole d'un four, par groupes de quatre à dix. Ce four, d'une construction spéciale, a sa voûte fermée par une dalle au niveau du sol; sa fumée se rabat dans un canal, tout le long duquel on accole des fours semblables; une cheminée commune sert au tirage d'un plus ou moins grand nombre d'éléments. Quand le four est chauffé avec du coke, on le porte à la chaleur blanche; puis on y plonge les creusets fermés d'un couvercle, et la température est maintenue jusqu'à fusion complète. Lorsqu'on emploie la houille, le creuset est éloigné du combustible et chauffé par la seule action de la flamme. Dans un cas comme dans l'autre, il faut produire une température excessive, maintenue généralement pendant quatre heures.

Au moment convenable on débouche la voûte du four, les creusets sont tirés de la fournaise au moyen de pinces. Leur contenu est versé avec mille précautions dans une lingotière préalablement flambée. Pour éviter les soufflures résultant de l'action des gaz contenus encore dans le métal, la lingotière, aux trois quarts pleine, est obturée par un lourd bouchon de fonte, qui comprime les gaz, fige la surface du métal et permet un refroidissement progressif évitant la déformation du lingot.

Ceux qui fabriquent eux-mêmes l'acier destiné à leur usage retirent du moule le lingot encore rouge et le portent immédiatement sous le marteau pour être façonné; ils économisent ainsi du combustible et de la main-d'œuvre. La plupart livrent leurs lingots au commerce sous la forme de fers carrés ou méplats.

Quand il s'agit d'obtenir une pièce d'une certaine importance, l'on réunit les creusets de plusieurs fourneaux, et leur contenu est versé dans le même moule, en observant soigneusement de déverser les creusets à la même température.

Les qualités qui font de l'acier fondu un métal sans rival ont provoqué, depuis une vingtaine d'années, son application à une foule d'usages auxquels on ne songait pas auparavant, et amené la construction de

pièces d'un poids colossal qu'il faut produire d'un seul jet. Les petites usines, avec leurs quelques creusets, ne pouvaient suffire à de telles œuvres, et les grands ateliers tels que le Creusot, Wolwich ou Seraing, se sont organisés pour répondre aux exigences de la consommation actuelle. Ces usines sont capables de couler des blocs d'acier atteignant le poids de 37,000 kilog. Mais aucune d'elles n'égale sous ce rapport l'usine d'Essen, en Prusse, appartenant à l'Allemand Krupp, qui a été, il faut le reconnaître, le propagateur de l'acier fondu appliqué à l'outillage moderne, et qui a produit des blocs pesant jusqu'à 120,000 kilogr.

Pour donner une idée de l'imposant spectacle présenté par la coulée d'une grosse pièce, nous ne pouvons faire mieux que d'en emprunter le récit à un témoin oculaire.

À Essen, la halle dans laquelle se font les grandes coulées peut contenir jusqu'à 1,200 creusets, placés dans des fours par 4, 8 ou 12, suivant leurs dimensions. Les massifs des fourneaux sont, pour ainsi dire, ensevelis; leurs grilles s'ouvrent dans un sous-sol où se tiennent les chauffeurs, et les plates-formes des fourneaux sont à peu près au niveau du sol. Quand on veut couler une de ces grosses pièces qui sont comme la spécialité de l'usine, tous les fourneaux *mis en feu* à la fois sont conduits de telle sorte que la fusion arrive partout au moment convenable. Au centre de la halle est disposé le moule à demi enterré dans le sol et surmonté de l'immense poche ou cuvette centrale qui doit recevoir le contenu des creusets.

Tout a été calculé et vérifié : la place du moule, la pente des rampes descendant vers la tranchée où sont creusés les canaux aboutissant à la cuvette. Quatre cents hommes sont là prêts à agir : à un signal donné, ils se mettent en mouvement avec une précision militaire; chacun sait quelle manœuvre il a à faire. Simultanés ou successifs, venant d'un homme ou de plusieurs, aucun mouvement, aucun geste n'est laissé au hasard ou à l'arbitraire. Armés de pinces et divisés par

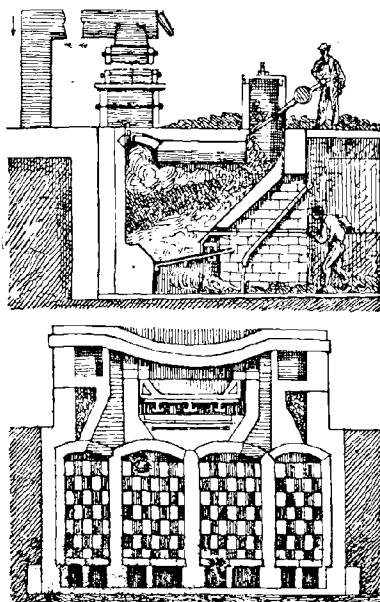
équipes, les hommes ont leur poste et leur consigne minutieusement réglés.

Un fourneau est ouvert : les creusets, retirés un à un, sont portés sur une pince, deux par deux, au moyen de relais, en réglant le pas de manière que la charge reçoive le moins d'ébranlement possible et perde également le moins possible son degré de déliquescence. Les creusets arrivent à la file sans interruption, l'un après l'autre, dans un canal qui en conduit le contenu à la poche; puis, pour éviter l'encombrement, chaque creuset vide est immédiatement précipité dans une cave située au-dessous. Quand le flot incandescent s'est étendu et calmé, on ouvre une valve fermant le fond de la cuvette, et l'immense bol de feu s'abîme dans le moule comme par un entonnoir.

Quelques heures après, le bloc solidifié, mais rouge encore, est retiré de son moule; en attendant son tour d'emploi, il est déposé sous un hangar spécial, où est emmagasiné tout ce qui n'est pas immédiatement employé. Là il est couvert de cendres brûlantes, de fraisil, de combustible sans valeur, qui le maintiennent des mois entiers à une température élevée qu'une chaude peu prolongée suffira pour amener au degré convenable pour la forge.

VIII. *L'acier sur sole.* — Toutes les usines, on le conçoit, ne produisent pas elles-mêmes leur acier, comme celle d'Essen, et les moyens que nous avons fait connaître jusqu'ici ne peuvent alimenter qu'une consommation restreinte : il faut des moyens plus puissants, et surtout moins coûteux pour fournir les quantités d'acier ordinaire réclamées par l'industrie. En 1845, on appliqua le procédé de fusion dans le four à réverbère plus connu sous le nom d'acier sur sole. L'acier puddlé ne subissant pas la fusion, il s'agissait de fondre, dans le même four, l'acier qu'on se contentait de produire par la décarburation de la fonte. A cet effet, l'on garnit la sole d'une couche de verre à bouteille et de scories provenant de hauts fourneaux au

bois. Lorsque, sous l'action de l'effroyable température, le métal entre en fusion, il se trouve caché sous une nappe liquide le protégeant contre l'oxydation exagérée. Par ce moyen l'on peut fondre de grandes quantités d'acier avec des dépenses bien inférieures à celles du creuset.



Fours Siemens.

En haut : Coupe du foyer et de l'appareil conducteur des gaz.
En bas : Coupe des régénérateurs et de la sole.

IX. *Le chauffage Siemens.* — Presque en même temps on cherchait à mettre en pratique une théorie déjà signalée en 1722 par Réaumur et consistant à remplacer le puddlage par une réaction de fer sur de la fonte liquide. Pour cela, il fallait obtenir des températures presque illimitées, afin d'amener le fer à l'état de fusion.

Cette pratique, considérée longtemps par les chimistes comme irréalisable, est résolue d'une manière industrielle depuis la création d'un système de chauffage à haute température, imaginé par les frères Siemens.

Ce procédé est basé sur la chaleur produite par la combustion des gaz. Les services immenses qu'il a rendus, et qu'il est appelé à rendre aux industries exigeant de hautes températures, sont inappréciables. Ici, le combustible n'agit pas directement, il est réduit au rôle de producteur du gaz oxyde de carbone. Les gaz ainsi produits sont mélangés à l'air, amenés à une température qui s'accroît par une condensation extrême, et sont ensuite dirigés sur les matières à traiter.

L'appareil se compose essentiellement d'un foyer, dans lequel le combustible est admis par la partie supérieure. Le tirage qui a lieu sur la grille forme de l'acide carbonique, bientôt changé en oxyde de carbone par son passage à travers la masse du charbon. Cet oxyde, reçu dans une conduite, est dirigé vers les régénérateurs, où il va se réchauffer avant de brûler.

Les régénérateurs employés se composent d'une quadruple masse de briques réfractaires, laissant entre elles de nombreux espaces. Les briques s'échauffent progressivement, par l'envoi alterné d'un courant de gaz brûlants et d'un courant d'air, sans cesse renvoyés de l'un à l'autre régénérateur, jusqu'à production d'une température suffisante.

Cette élévation pourrait s'accroître d'une façon en quelque sorte illimitée, au point d'amener la fusion des matériaux eux-mêmes, si l'on n'avait soin, à un moment donné, de modérer l'arrivée des gaz et de l'air.

X. *L'acier Martin.* — Armés de cet engin d'une puissance illimitée, produisant une chaleur moins coûteuse que par l'emploi direct du combustible, évitant les cendres et la fumée, les métallurgistes ont repris l'application du principe signalé par Réaumur, et l'on obtient, depuis une vingtaine d'années, de l'acier

provenant d'une fusion simultanée de fonte et de fer doux.

Ce sont MM. Martin qui, les premiers, ont résolu industriellement le problème, grâce aux régénérateurs Siemens, d'où le nom d'*acier Martin* donné au métal produit par leurs procédés.

On peut les caractériser en disant que c'est une cémentation et un affinage successifs, suivis d'une fusion immédiate sur la même sole; ils réunissent en un seul les trois autres systèmes de production que nous avons fait connaître.

Leur grande supériorité consiste dans la manipulation facile du produit, auquel on donne tous les caractères désirés, depuis celui de fer doux jusqu'à celui de l'acier sauvage.

A cet effet, l'on charge de fonte amenée au blanc un four porté à une température de 1,800 degrés. Au fur et à mesure de la fusion, l'on ajoute de petites charges de fer déjà chauffé, qui disparaissent dans le bain liquide, comme du sucre dans un verre d'eau.

Pour apprécier la marche de l'opération, on extrait un petit lingot qu'on martèle, séance tenante, que l'on plie, que l'on casse, que l'on trempe, que l'on soumet, en un mot, à toutes les épreuves décisives sur la qualité d'un fer. S'il est jugé satisfaisant, l'on procède immédiatement à la coulée. S'il renferme encore trop de carbone, on ajoute de nouvelles charges de fer; est-il, au contraire, trop décarburé, on ajoute de la fonte très graphiteuse, jusqu'à ce que les échantillons successivement prélevés donnent une entière satisfaction.

XI. *L'acier indien*. — Cette méthode n'est autre que la production industrielle des réactions qui s'opèrent dans la fabrication du célèbre acier indien ou acier Wootz, et dont le secret, légué par une longue tradition aux Indiens actuels, a toujours été considéré comme impénétrable.

L'Indou, immuable dans ses procédés comme dans

ses idées, accomplit inconsciemment dans son petit creuset les mêmes opérations que celles indiquées par la science. Il est le producteur de cet acier avec lequel sont fabriquées les fameuses lames de Damas, si fines, si tranchantes.

Ces aciers sont marqués par un moirage, des veines claires et foncées, fines ou rubanées, parallèles, dont la présence est due au carbure de fer, et que l'on fait ressortir en plongeant la lame dans un bain d'acide étendu.

Les détails de cette fabrication peu connue sont assez curieux, et nous les empruntons à un métallurgiste habile, M. Delon. On y retrouve ce mélange d'empirisme, de pittoresque et de précautions minutieuses qui caractérise l'antique industrie.

Le forgeron hindou s'est d'abord procuré du fer très doux et très pur, qu'il divise en plaquettes.

Dans un tout petit creuset d'argile réfractaire mêlée de paille de riz hachée, on introduit d'abord 500 grammes de fer et 50 grammes de bois sec coupé menu. On recouvre ensuite la charge de deux ou trois feuilles fraîches de liseron bleu ou d'une autre plante sarmenteuse. On achève de remplir le creuset avec de l'argile fortement tassée, pour constituer une obturation complète. Vingt ou vingt-cinq creusets semblables sont empilés dans un petit fourneau chauffé au charbon de bois. Un violent tirage active le feu et lui fait atteindre une haute température. Le fer rougit au contact des matières charbonneuses; il se cimente, puis l'acier fond. Après deux à trois heures, on laisse tomber le feu; les creusets sont extraits, et, après refroidissement, on les brise. Au fond de chacun on trouve un tout petit culot d'acier dont la surface est sillonnée de stries rayonnantes, indices d'une opération parfaitement réussie. La quantité est minime; mais c'est un acier de qualité exceptionnelle, dont la supériorité dépend toutefois bien plus des mérites du minerai que du mode de traitement.

Hâtons-nous d'ajouter que l'acier indien ne peut

suffire à la consommation, et que la majeure partie des lames damassées sortent de nos fabriques des Bouches-du-Rhône. L'acier employé à cet usage est un métal dans lequel on introduit quelques centièmes de platine ou d'argent et que l'on produit par la fusion de fer découpé en plaquettes, mélangé à une certaine proportion de suie. Le même métal s'emploie pour la confection des instruments de chirurgie, à cause de l'extrême finesse de tranchant dont cet acier est susceptible.

XII. *Aciers divers.* — Au cours des innombrables expériences nécessitées par leurs études spéciales, les métallurgistes ont été amenés à retenir certains alliages à cause de la supériorité qu'ils reconnaissaient à l'acier qui en résultait.

Le chrome communique à l'acier une dureté fort recherchée pour les instruments tranchants : aussi la fabrication des aciers chromés s'est-elle beaucoup développée depuis quelques années. Le tungstène, ou wolfram, dont le minerai n'est pas rare, durcit l'acier à ce point que l'acier fondu et trempé est lui-même entamé par ce rigide métal.

Ces deux sortes d'acier n'ont pas besoin d'être trempées, mais elles se travaillent difficilement.

XIII. *Déphosphoration de l'acier et emploi du manganèse.* — L'on doit se souvenir que la présence du phosphore, recherchée jusqu'à un certain point pour les fontes à moulage, est une cause de disqualification pour l'acier, puisque la faible proportion d'un millième suffit pour empêcher les réactions qui président à la transformation de la fonte en acier. Ignorant la cause réelle de leurs insuccès, les sidérurgistes en étaient réduits, il y a peu de temps encore, à recourir, pour tout ou partie de leurs opérations, à certains fers particulièrement purs, venant de Suède, de Styrie ou de Prusse. Ils n'avaient encore pu constater sûrement la présence, sensible pourtant, du phosphore, cause

principale des mésaventures dont on se plaignait depuis longtemps. Une fois la cause connue, l'on sut de quel côté diriger ses efforts, et, depuis cette époque, c'est-à-dire depuis à peine quarante ans, l'on travaille avec des alternatives de succès et de revers à transformer en acier les fontes jusque-là réfractaires, et même les fers phosphoreux.

C'est l'usage du manganèse qui a délivré la sidérurgie du tribut exorbitant qu'elle payait chaque année aux fers suédois.

En 1839, Heath introduisit dans la fabrication de l'acier une certaine quantité de manganèse; il put ainsi modérer, dans une certaine mesure, la consommation de fer suédois en y mélangeant du fer puddlé. Depuis, l'emploi du manganèse est devenu la base des réactions indispensables aux dernières méthodes de production de l'acier. Il permet surtout l'usage de températures moins élevées pour la fusion des corps étrangers au fer.

L'industrie des chemins de fer prenait, au même moment, un accroissement qui n'est pas encore calmé, et nécessitait, pour répondre aux exigences d'un bon service, l'emploi d'un métal plus résistant que le fer. Les rails produits ordinairement étaient d'une durée fort limitée; ils se dessoudaient ou s'aplatissaient sous le poids et les secousses des trains de plus en plus pesants; ils s'usaient par le frottement des roues. Les ingénieurs ne pouvaient songer à l'emploi de l'acier: son prix élevé le rendait inabordable. La cémentation, à laquelle on recourut pour durcir la surface des rails, donnait des produits d'un prix encore trop élevé et surtout d'une teneur irrégulière.

On revint, en conséquence, à cette idée émise et abandonnée plusieurs fois de traiter les minerais abondants, mais inférieurs, pour les convertir en acier; toujours les fontes se refusaient à cette transformation, toujours le phosphore et le soufre venaient dominer le produit de leur fatale influence. Pour les fontes phosphoreuses, divers procédés chimiques plutôt qu'indus-

triels ont été essayés : le plus efficace est celui de Heath, basé sur l'action de l'oxygène emprunté au nitre pour effectuer le départ du phosphore, du soufre et autres ennemis de l'acier ; mais il assujettissait l'industrie à des irrégularités d'approvisionnements inacceptables, résultant du peu de gisements exploités. Le manganèse associé à la fonte résout ces difficultés, mais il en laisse subsister une autre : pour obtenir du manganèse tous ses effets utiles, il faut opérer à une température aussi basse que possible, et alors le départ du carbone se fait insuffisamment. Il en résulte un acier trop riche en carbone, cassant, impropre à une multitude d'usages. Or, l'objectif de l'industrie était, à cette époque, la production à bas prix d'un acier doux, remplaçant le fer sur lequel il présentait de nombreux avantages.

XIV. *Le métal Bessemer.* — Une découverte merveilleuse devait bientôt donner satisfaction aux exigences et bouleverser l'industrie métallurgique par la rapidité, par la sûreté, par l'économie avec laquelle on transforme directement la fonte de fer à un degré d'aciéation quelconque ou bien en fer doux. Nous avons nommé le procédé Bessemer.

Cet ingénieux système consiste à brûler l'excès de carbone contenu dans la fonte, au moyen d'un simple jet d'air : c'est la transformation rapide, abondante, directe, de la fonte en acier, par un affinage et une fusion simultanés.

Est-ce réellement de l'acier qu'il faut appeler ce produit ? car le métal obtenu par le procédé Bessemer présente toutes les qualités de l'acier, sauf une, la plus caractéristique : il ne se trempe pas.

L'importance de la découverte et la beauté du spectacle de l'opération méritent quelques détails.

En 1856, M. Bessemer, métallurgiste anglais d'origine française, essayait de produire la décarburation de la fonte et sa transformation en acier dans un creuset spécial où le métal, fortement agité, empruntait à l'air

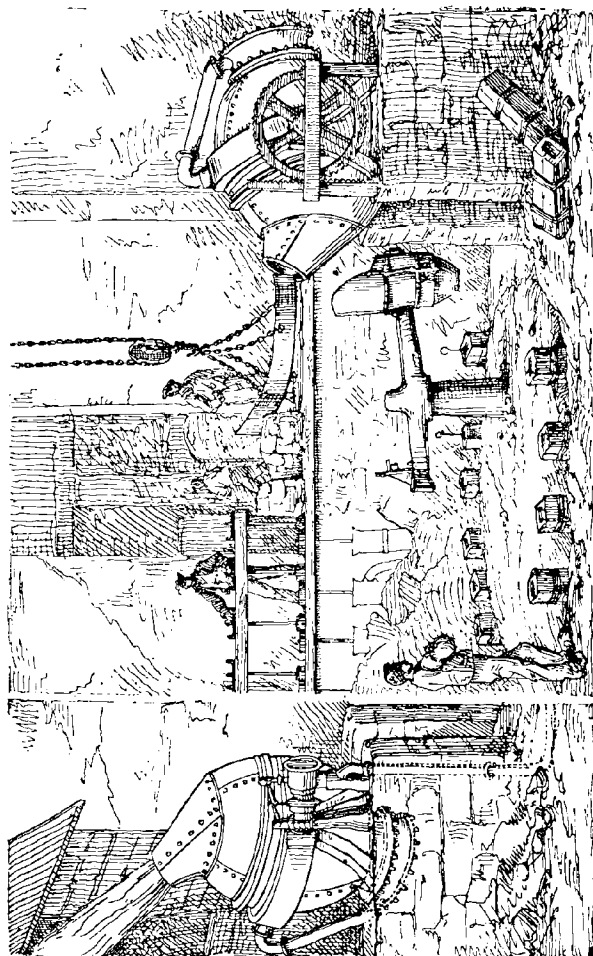
son oxygène pour la combustion du carbone. Les tâtonnements durèrent quelque temps; mais il était fixé sur le rôle, sur la puissance de l'oxygène arrivant abondamment dans un bain de fonte liquide.

En 1859, il avait réalisé pratiquement son invention, et une usine munie de son ingénieux appareil fonctionnait en Suède.

Par les chiffres suivants, on peut juger de l'accueil fait à ce procédé depuis sa propagation :

L'Angleterre, qui fabriquait, en 1867, 100,000 tonnes d'acier Bessemer, en a fabriqué, l'an dernier, 1,441,000 tonnes ! Ces documents indiquent sur quelles puissantes bases sont organisées les usines fabriquant l'acier Bessemer. Pour arriver à cette énorme production, elles possèdent plusieurs creusets, dont la contenance varie de 3,000 à 10,000 kilogrammes. Il y a loin de là au creuset ordinaire, qui contient au plus 40 kilogrammes !

Le creuset employé dans la fabrication Bessemer est un appareil d'une forme spéciale, qui porte le nom de convertisseur. Il a l'aspect d'une énorme cornue en tôle, d'une capacité de deux mètres cubes, basculant sur un axe, et dont le col serait tranché un peu après la naissance. Cette cornue est munie d'un double fond percé de petites tuyères par lesquelles arrive l'air nécessaire à l'opération, et d'un gros bourrelet creux entourant la panse. Cette ceinture est reliée au double fond par une sorte d'anse formée d'un tube. L'un des tourillons qui supportent l'appareil est creux et communique, par son axe, avec la ceinture et avec une soufflerie dont la puissance est parfois de 600 chevaux. Les convertisseurs sont généralement organisés par batteries de deux et placés en face l'un de l'autre. Au milieu, se trouve une poche montée sur un pivot, qui lui permet d'atteindre une série de moules disposés circulairement et qu'on remplit en ouvrant une valve placée au fond de la poche. A la hauteur du bec de la cornue, sur un des côtés de l'espace réservé à l'appareil et suspendue par des chaînes, apparaît une longue



Batterie Bessemer, actionnée par la pression hydraulique.

A droite : le convertisseur incliné pour recevoir la fonte. — A gauche : le convertisseur brûlant sous l'action de l'oxygène (la tuyauterie de la soufflerie est figurée par les lignes pointillées). — Au fond : le mur ouvert laisse apercevoir l'appareil hydraulique.

gouttière qu'on dirige à volonté vers l'un ou l'autre des convertisseurs. Cette gouttière est destinée à conduire la fonte des cubilots jusque dans les appareils.

Quant il s'agit d'opérer, on a d'abord pris soin de chauffer, avec un feu de houille, l'intérieur de la cornue garnie d'une épaisse couche de terre réfractaire. L'énorme cornue est retournée au moyen d'engrenages et débarrassée de tous les débris de la combustion. Puis, on l'incline, et la gouttière est posée à son orifice; le trou de coulée est vivement pratiqué au bas du cubilot et un rapide ruisseau de fonte vient se précipiter dans les flancs de l'appareil. Parfois aussi, le métal incandescent est fourni directement par un four à réverbère, ou même par le haut fourneau. Lorsqu'il est près d'atteindre le niveau des premières tuyères dont est garni le fond du convertisseur, on arrête la coulée, le vent est donné; l'appareil, relevé avec lenteur, se redresse sous le manteau d'une vaste cheminée qui emporte dans l'atmosphère tous les résidus de la combustion qui va se produire.

Sous l'action puissante de l'air projeté, la fonte est agitée, bouleversée, retournée avec une force irrésistible comme par des milliers de ringards infatigables. Dans les flancs se produit un grondement qui va toujours croissant. La masse d'oxygène qui s'élançe à travers les molécules de la fonte se combine avec le carbone, et produit bientôt de l'oxyde de carbone qui brûle avec une impétuosité sans pareille, après avoir amené le départ du silicium et du manganèse qui entre en fortes proportions dans la fonte employée.

De l'orifice sort un large panache de flammes entremêlées d'étincelles qui sont des scories brûlantes. Rouge d'abord, le jet se calme un moment, comme pour prendre de nouvelles forces; il devient rapidement d'un blanc éblouissant au fur et à mesure que le fer, débarrassé de tout corps étranger, se met à brûler lui-même. En même temps, la température du métal s'accroît au point d'atteindre jusqu'à 2,000 ou 2,500 degrés. Et, chose admirable, cette température, jugée jusqu'alors

impossible à produire industriellement, a lieu sans combustible ! C'est le manganèse, le silicium, le carbone et enfin le fer lui-même qui alimentent ce fantastique foyer.

A ce moment, la flamme baisse ; quand son aspect indique le moment favorable, on arrête le vent, on reverse la cornue, et des milliers de kilogrammes d'acier vont tomber dans les lingotières.

Toutefois, toute rapide qu'elle est, ou plutôt à cause de sa rapidité même, l'opération présente un côté délicat ; c'est la détermination exacte du moment où il convient d'arrêter la réaction. Prolongée après la combustion du carbone, le fer brûle, avons-nous dit ; par conséquent, il est *écreinté*, pour employer le langage des forgerons ; il est sans nerf, sans force ; c'est du fer doux, pur ou presque pur, suivant la durée de sa combustion. Suspendue trop tôt, l'opération ne donnera plus qu'un acier dur et cassant. Un écart d'une demi-minute, dans un sens ou dans l'autre, suffit pour dénaturer le métal.

La difficulté de saisir le moment précis où la combustion doit s'arrêter a fait adopter un procédé fort simple pour se mettre à l'abri des inconvénients résultant d'une combustion insuffisante ou trop prolongée : on brûle tous les corps étrangers capables d'élimination, et quand le fer s'enflamme à son tour, l'on suspend l'opération ; puis la cornue se relève, et la conduite d'alimentation, placée sous le trou d'un autre cubilot, lui apporte une certaine proportion d'une fonte de choix très carburée. Le vent est donné de nouveau pendant un instant, et un second jet de flammes s'élanche du convertisseur ; en quelques secondes s'est accomplie une réaction tumultueuse, qui a eu pour effet de restituer au fer le carbone nécessaire pour être de l'acier, et d'enlever l'excès d'oxygène produit par la combustion précédente.

La transformation est accomplie ; le vent est définitivement arrêté, et l'immense cornue, inclinant sa gueule embrasée au-dessus de la poche de coulée, y déverse le métal destiné aux lingotières.

La gigantesque opération a duré en tout moins de vingt minutes !

Dans les grandes usines, du moins dans celles où toute opération, si minime qu'elle paraisse, est le résultat d'un calcul, où rien n'est admis dans les combinaisons sans un dosage préalable, l'on a remplacé la fonte d'addition par un alliage ferro-manganésé contenant 75 pour cent de manganèse. L'on y arrête l'opération au point précis et convenable en observant la flamme du convertisseur au moyen du spectroscopé : dès que la raie caractéristique du carbone disparaît du spectre, on suspend l'opération pour faire l'*addition*. En outre, la manœuvre de l'énorme engin se fait au moyen d'appareils d'une précision et d'une puissance surprenantes. Un seul homme suffit pour déplacer le convertisseur qui, chargé de fonte, pèse cependant près de 15,000 kilogrammes. Debout sur une plate-forme, d'où il embrasse d'un coup d'œil toutes les phases de l'opération, il a sous la main un clavier dont chaque touche commande une série de valves et de robinets appartenant à un système d'engins hydrauliques, dont la puissance laisse bien derrière elle la force de la vapeur. Le principal auxiliaire de ce travail est un accumulateur de pression, cylindre d'une solidité à toute épreuve, dont le piston est chargé de poids à raison de 400 ou 500 kilogrammes par centimètre de surface. Plusieurs corps de petites pompes actionnées par la machine à vapeur de l'usine refoulent avec énergie sous le piston un mince filet d'eau qui, peu à peu, soulève la pesante masse jusqu'en haut du cylindre. Quand le conducteur de l'appareil veut faire mouvoir le convertisseur, il manœuvre une des touches de son clavier ; un robinet s'ouvre : refoulée par les lourds contrepoids de l'accumulateur, l'eau arrive sous un piston dont la lige, armée d'une crémaillère, actionne, soit en se relevant, soit en s'abaissant, le pignon placé sur le côté du convertisseur, et aussitôt l'énorme appareil s'incline, se relève plus ou moins, au gré de l'ouvrier, et semble un

monstre docile obéissant à un nain. Il en est de même pour la poche et pour les autres parties de l'appareil.

Il ne fallait rien moins que l'énorme puissance et l'incroyable rapidité de production de l'appareil Bessemer pour parvenir à répondre aux besoins sans cesse croissants de métal aciéreux. Il fallait des procédés infailibles comme ceux de Martin, pour donner des aciers de bonne qualité obtenus à un prix réduit tout en répondant aux besoins variés de l'industrie.

A l'heure présente, ces deux systèmes occupent le premier rang dans la fabrication de l'acier; et, si l'on voulait les caractériser d'un mot, apprécier rapidement leurs différences, on pourrait dire que le procédé Martin agit chimiquement, et le procédé Bessemer mécaniquement. Le premier agit par la seule force de réactions lentes, calculées, précises; le second opère par l'irrésistible puissance d'un agent multiplié à l'infini. Aux avantages du Bessemer on peut opposer la nécessité d'employer des fontes plus pures que pour le Martin. Cette nécessité a eu pour effet de perfectionner considérablement les connaissances chimiques des métallurgistes et de les amener à des efforts considérables. Il en est résulté encore une quantité de systèmes venant se greffer en quelque sorte sur le Bessemer et sur le Martin dans le but de les améliorer. Les décrire tous serait sortir de notre cadre; nous n'en retiendrons que deux : le procédé Thomas Gilchrist pour la déphosphoration des fontes dans le convertisseur, et l'application du four Pernot au procédé Martin.

La découverte de Thomas Gilchrist est capitale parce qu'elle permettra de traiter avantageusement les fontes phosphoreuses abondantes en France, et qu'on peut les obtenir dans les conditions économiques qu'offre le métal Bessemer. Il suffit pour cela de remplacer l'enduit réfractaire habituellement appliqué au convertisseur par une garniture en chaux de magnésie. La magnésie se combinant avidement avec le phosphore permet le traitement de minerais jusque-là répudiés.

L'emploi du four Pernot complète admirablement le procédé Martin, et devient un procédé intermédiaire fort apprécié entre le système Martin et le système Bessemer.

Le four Pernot peut se décrire en quelques mots. Il travaille les fers par le procédé Martin, mais sur une sole rotative. Il s'y accomplit un brassage continu qui active singulièrement les réactions oxydantes demandées d'abord à la seule action chimique de l'oxygène.

XV. La chimie métallurgique. — Pour conclure, on peut dire qu'aujourd'hui l'on produit l'acier soit Bessemer, soit Martin, sans emploi de combustible, nous voulons dire, sans emploi *direct* de combustible, tant la connaissance des réactions chimiques a été poussée loin. En effet, l'on voit des usines produire le Bessemer sans autre dépense qu'une diminution de 30 pour cent sur le poids de la fonte traitée. Cette perte représente exactement le poids des matières à expulser converties en combustible par l'action énergique de l'oxygène, c'est-à-dire le silicium, le manganèse, le carbone et une petite quantité de fer. De son côté, l'acier Martin s'obtient par le chauffage Siemens, c'est-à-dire en convertissant, au préalable, un combustible quelconque en gaz dont la température est surélevée au point de produire la fusion des corps les plus durs.

Une autre conclusion ressort également de l'emploi de ces deux merveilleux procédés : c'est que l'on fait absolument l'acier qu'on désire obtenir et à un degré quelconque d'aciération. Par l'analyse chimique, telle qu'elle est conduite aujourd'hui, l'on est complètement maître de son métal. Nos ingénieurs possèdent si bien le secret de ses manipulations que, dans les grandes forges, chaque bloc d'acier produit dans l'usine ou provenant du dehors est pourvu d'une sorte d'état civil, c'est-à-dire qu'après prélèvement d'échantillons auxquels on fait supporter toutes les épreuves imaginables, ses qualités, son emploi possible sont consignés sur un registre. Aucune erreur, aucune fausse application

ne sont possibles; en prenant un bloc d'acier on sait d'avance et sûrement par quelles qualités se distinguera la machine dont il aura été l'élément.

La situation industrielle créée par ces deux procédés est modifiée à ce point qu'avant leur propagation, l'acier était un produit relativement rare, par conséquent d'un prix élevé. En 1846, au moment où l'on se préoccupait déjà de produire l'acier industriellement, c'est-à-dire en grandes masses et d'une façon économique, l'acier fin valait jusqu'à 2 francs le kilogr.; vingt-cinq ans plus tard, le Bessemer était entré dans la pratique courante, et les usines livraient des rails pour chemins de fer, en acier fini, prêts pour la pose, au prix de 25 centimes le kilogr.; les statistiques dernières nous apprennent que le même produit est descendu maintenant au prix à peine croyable de 15 centimes, non par suite d'une dépréciation des produits, mais par suite des progrès réalisés dans la fabrication.

XVI. *La fonte malléable.* — Cette connaissance profonde des réactions, la pratique consommée de la cémentation et de la décarburation, ces deux pôles de la métallurgie, ont fait tomber l'industrie dans l'emploi exagéré d'un produit qui n'est ni fer, ni fonte, ni acier, et qui, grâce à son bas prix, entre pour une part considérable dans les produits de la quincaillerie et de la serrurerie. Nous voulons parler du métal nommé fonte malléable.

L'expédient est dû à Réaumur, dit-on. Il consiste à couler en fonte de menus objets et à en décarburer la surface, à lui donner les caractères superficiels de l'acier, en chauffant les pièces de fonte dans une caisse remplie d'hématite rouge ou oxyde de fer. C'est l'opération inverse de la cémentation : grâce à elle, la fonte cède son excès de carbone à l'oxyde dans lequel elle plonge; il s'accomplit un affinage partiel. Le métal ainsi obtenu participe à la fois du fer et de la fonte; sous le marteau il s'aplatit, mais le martelage prolongé

l'écrase; il se fond et se laisse entamer par la lime et par le burin.

Cette industrie qu'on pourrait nommer la contre-façonnage de l'acier s'exerce principalement à Paris, en Picardie et en Normandie; le Wurtemberg et la Westphalie s'y adonnent avec ardeur.

XVII. *Travail de l'acier.* — Délicat à produire, l'acier n'est pas moins délicat dans ses applications. Il exige des précautions minutieuses pour donner tous les résultats qu'on en attend, surtout lorsqu'il est soumis à la trempe.

Livré au forgeron, il ne supporterait pas impunément des chaudes aussi répétées ni d'une température aussi élevée que le fer; il y perdrait ses qualités distinctives. Uni au fer, il se soude mal si son tempérament est peu aciéreux, si la teneur en carbone des deux métaux présente un écart élevé. Généralement l'acier fondu ne se soude pas et doit s'employer seul.

D'ailleurs, on renonce de plus en plus à la fabrication des outils de fer garnis d'une lame d'acier à leur partie tranchante. Ils sont remplacés par des outils en acier fondu, auquel on donne le degré de dureté voulue par une trempe et un recuit convenables.

XVIII. *La trempe.* — Nous l'avons vu en parlant de ses propriétés physiques, l'acier trempé, c'est-à-dire refroidi brusquement, devient d'une grande dureté, sec et cassant, par suite d'un arrangement moléculaire spécial du carbone. De plus, cet arrangement moléculaire est modifié, selon la rapidité du refroidissement, selon la température et la nature du corps refroidissant, car l'eau n'est pas seule douée de la propriété d'influencer le carbone de l'acier.

Lorsqu'il y a lieu de croire que l'eau donnerait une trempe trop dure à l'acier, on plonge la pièce chaude dans un corps susceptible de la *saisir* moins vivement: tels sont l'huile, le suif, la cire en fusion, la résine. Pour les très petites pièces, il suffit parfois de les agiter

rapidement dans l'air pour obtenir une trempe convenable.

Quel que soit le corps employé pour la trempe de l'acier, il est souvent difficile de suspendre juste au point voulu la réaction qui s'opère. Afin de remédier à cet inconvénient, on utilise la merveilleuse propriété qu'a l'acier de quitter ou de reprendre à volonté un état déterminé. On y parvient le plus aisément en trempant l'acier au delà du point cherché, puis en le ramenant par le *recuit* au degré nécessaire.

XIX. *Le recuit*. — On nomme *recuit* la modification subie par l'acier trempé lorsqu'il est ensuite exposé à une température plus ou moins élevée. Une lame d'acier poli convenablement chauffée passe par une succession de teintes allant du jaune paille au jaune d'or, puis au brun pourpre, au violet intense, au bleu clair et au bleu foncé, enfin au vert d'eau, suivant la température subie. Chacune de ces teintes correspond à une température différente et à un degré d'atténuation de la trempe. C'est comme une échelle graduée d'une certitude complète, à laquelle se réfèrent les ouvriers treppeurs.

Après la trempe, on enlève avec soin la légère couche noirâtre formée par l'oxyde, afin de pouvoir surveiller attentivement les phases du recuit, puis on réchauffe progressivement; quand la teinte voulue est atteinte, la pièce est plongée dans l'eau froide afin d'arrêter la marche du recuit.

A la teinte jaune paille, la température est de 220 degrés; c'est le recuit des instruments tranchants délicats, des bistouris et des rasoirs. A 240 degrés on a le jaune d'or qui est adopté pour les couteaux, les canifs et les outils à travailler les métaux; à 253 degrés, le brun pourpre s'obtient pour les armes blanches, les outils à bois ou à métaux tendres, et certaines pièces d'horlogerie. Chauffé à 265 degrés, l'acier se colore en violet intense; c'est la couleur voulue pour la trempe de la coutellerie en général, de divers outils à bois et

de pièces d'horlogerie variées. En poussant à 285 degrés, on a le bleu clair nécessité par les ressorts et les vis. A 300 degrés, le bleu intense s'applique à la taillanderie et à plusieurs catégories d'objets de carrosserie. Enfin, à 325 degrés, on a la dernière teinte du recuit, le vert d'eau, réservée aux faux et aux gros ressorts.

XX. *La trempe par compression.* — Ce procédé n'est pas aisément applicable aux fortes pièces; et cependant l'on recherche de plus en plus, même pour ces objets, les précieuses qualités de l'acier trempé. Depuis peu, l'on a écarté les difficultés qui s'opposaient à cette opération en adoptant la trempe par compression. L'objet à pourvoir des propriétés de la trempe est forgé à la presse, puis réchauffé et soumis sous une couche d'eau à une pression calculée, qui fait pénétrer l'action réfrigérante du liquide jusqu'aux parties les plus intimes du métal.

XXI. *La tôle d'acier.* — L'énorme résistance dont l'acier fait preuve dans toutes les applications qui en sont faites a engagé les ingénieurs à le substituer à la tôle de fer dans la construction des machines à vapeur. Là encore, il montre une telle supériorité, que la tôle d'acier tend de plus en plus à remplacer la tôle de fer. Son prix, plus élevé, est le seul obstacle à sa généralisation; mais elle offre une résistance tellement supérieure aux pressions les plus insolites, son état de conservation, après un service prolongé, est tellement satisfaisant, que l'on s'étonne à bon droit de la lenteur des progrès accomplis dans cette voie.

En traitant des emplois généraux du fer, nous présenterons en même temps les curieuses applications de l'acier.

QUATRIÈME PARTIE

LES USAGES DU FER.

I

L'OUTILLAGE MODERNE

Après avoir assisté, en quelque sorte, à la naissance du fer entre les mains de l'homme, nous avons suivi, pas à pas, les progrès de sa fabrication; nous trouverons le même intérêt à suivre les développements qu'a reçus son application aux besoins de l'humanité. Cet autre aspect du même sujet est une seconde étude, solidaire de la première, un complément nécessaire, et la confirmation de cet axiome économique énoncé au début de cette étude : la prépondérance des nations les mieux pourvues de fer.

Dès que ce précieux métal paraît, nous le voyons exercer aussitôt une action marquée sur les destinées des peuples, constituer partout un agent d'une valeur sans cesse croissante, devenir la base essentielle de l'outillage humain.

Rare, conséquemment précieux tout d'abord, nous pouvons aisément suivre les variations de sa valeur. A l'époque lointaine du bronze, il servait à orner les armes des riches, et nos classiques nous apprennent que Lacédémone avait des monnaies de fer.

C'était, à l'époque du siège de Troie, un métal encore si rare, qu'Achille promettait un disque en fer au vainqueur du tournoi qu'il donna en l'honneur de Patrocle. Priam, dont le trésor, récemment retrouvé à la suite de fouilles célèbres, comportait de nombreux vases de métaux précieux, Priam mettait à une place d'honneur les quelques objets de fer qu'il possédait. Plus tard, les Romains choisissaient l'acier comme matière des vases consacrés à Mars.

De nos jours, les peuplades arriérées apprécient hautement les objets en fer. Pour devenir possesseurs d'un mauvais couteau, d'une hache dont la valeur est pour eux inestimable, nous voyons les sauvages modernes se dépouiller de leurs objets les plus précieux, donner leur poudre d'or, leur ivoire, les pierreries les plus rares. Comme dans toute société à l'état rudimentaire, c'est l'usage à en faire, non sa valeur, qui rend une chose précieuse et recherchée. Imitateurs des Lacédémoniens, qui leur sont assurément bien inconnus, les Bongos, peuple puissant vivant sur les affluents du fleuve des Gazelles, ont une monnaie de fer qui est l'instrument des échanges entre le haut Nil et les contrées riveraines.

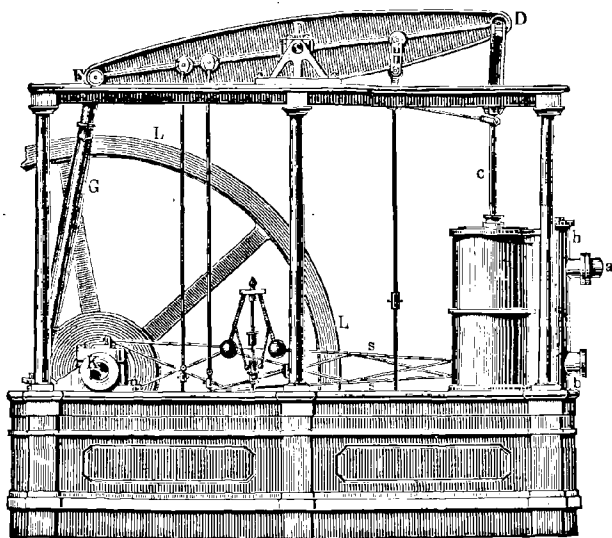
A Bouny, à l'embouchure du Niger, la monnaie commerciale consiste en boucles de fer d'une certaine forme : les Laotiens du Nord emploient de petits lingots de fer façonnés en losange.

Dans nos pays si fiers de leur industrie, de leur commerce, les débuts ont été analogues. C'est en appréciant chaque jour davantage la puissance du fer que son usage, généralisé, développé, a conduit progressivement nos sociétés modernes au degré de prospérité matérielle qu'elles occupent aujourd'hui.

En effet, le fer pouvait seul nous fournir sous ses trois états, de fonte, de fer et d'acier, les matériaux des innombrables et admirables machines qui sont les auxiliaires indispensables de la vie moderne.

Le temps n'est pas loin où prirent naissance, pour la première fois, ces monstres de métal auxquels

l'homme devait bientôt tant demander. Ils sont les fils de cette admirable découverte de l'action de la vapeur. Au même moment où fut reconnue la puissance du nouvel agent, il devint évident aussi que le fer pouvait



Machine à condenseur ou machine de Watt, à basse pression.

A. Cylindre. — a. Admission de vapeur. — b. Tiroir. — c. Tige du piston. — D. Jonction du parallélogramme et du balancier. — E. Axe du balancier. — F. Point d'attache de la bielle. — G. Tige de la bielle. — K. Arbre de la machine. — L. Volant, ss. Tringles manœuvrant le tiroir. — Au centre: le régulateur à force centrifuge. — A gauche: tiges des pompes d'alimentation et de condensation. — A droite: tige de la pompe d'épuisement.

seul lutter de puissance avec lui, le contenir. Désormais, leurs forces combinées allaient s'unir pour asservir, au profit de nos besoins, tous les produits de la nature. Par une coïncidence vraiment providentielle, l'homme se trouvait armé d'une force irrésistible, nouvelle pour lui, en même temps que l'art de produire le fer prenait les développements indispensables pour utiliser le concours de ce précieux serviteur.

C'est, en effet, de James Watt que datent les premières tentatives modernes pour mettre l'outillage industriel en mesure de satisfaire aux besoins croissants. Le premier, il eut des ateliers pour la construction des machines employées dans les usines et dans les forges. On sentait déjà, en Angleterre, la nécessité impérieuse, pour la prospérité nationale, d'établir une étroite solidarité entre les produits du fer et ceux des mines de houille. On y comprenait l'intérêt pour le producteur de devancer ses concurrents sur les marchés du continent. N'ayant pas encore pu primer, dans la production du fer, les nations plus privilégiées, l'on résolut de les primer dans cette voie nouvelle de l'outillage industriel qui s'ouvrait largement.

De fait, l'Europe (nous pouvons aussi bien dire le monde entier) a été longtemps tributaire de l'Angleterre pour la construction des machines de tout genre employées dans l'industrie. Pour des peuples encore nombreux, cette dépendance, vassalité de notre âge, dure toujours. Notre pays n'y a pas échappé; mais, plus heureux que d'autres, il a été l'un des premiers à s'en affranchir. En France, la plus ancienne usine de constructions mécaniques fut installée en 1780, à Chaillot, alors banlieue de Paris. Transformée en fonderie de canons pendant la période révolutionnaire, depuis en machine élévatoire pour les eaux de la Seine, elle ne garde plus, de son ancienne origine, que son nom de pompe à feu de Chaillot.

Bien des progrès ont été accomplis à la suite de cette tentative; notre pays est aujourd'hui sinon le plus fort producteur d'instruments mécaniques, du moins l'un des plus habiles dans les travaux de ce genre. Nous ne demandons plus à l'étranger que faute de produire en quantité suffisante pour nos besoins. A cet égard, nous pourrions être rassurés par un simple coup d'œil sur les produits variés de nos usines.

Envisageant la question à un point de vue général, on est frappé d'admiration par le spectacle d'un grand atelier. Au premier rang, se trouvent les machines-

outils, dociles serviteurs employés à façonner de mille manières et avec une facilité stupéfiante le rigide métal. L'homme ne s'épuise plus en efforts infructueux ou pénibles, indignes de son intelligence ; de robustes machines lui ont livré un métal brut ou dégrossi ; d'autres machines-outils, d'une ingénieuse complication, vont continuer et achever l'œuvre des premières, percer, raboter, limer ou polir ces blocs énormes, ces feuilles de grandes dimensions.

S'agit-il d'une de ces grandes roues remplaçant dans une locomotive le volant des machines à vapeur, un tour proportionné, précis comme un rouage d'horlogerie, va recevoir ce cercle de trois mètres de diamètre, parfois ; de robustes ciseaux vont enlever les quelques millimètres de métal qui dévient de la circonférence parfaite, et l'immense roue sera rendue irréprochable. D'autres outils perforent ou rendent cylindriques à l'intérieur des blocs de fer, de fonte ou d'acier, qu'il s'agisse des cuiviers employés pour la teinture des fils ou des monstrueux canons dont on établit l'âme. Les machines à raboter le métal comptent parmi les plus indispensables auxiliaires du constructeur : par leur concours puissant, des surfaces métalliques de deux mètres de large sont dressées, aplanies, nivelées avec la rigueur d'une table de billard. Mille engins puissants ou ingénieux domptent le métal, le ploient, l'entaillent, le polissent, le rivent, lui imposent les formes les plus capricieuses, sans que la main de l'ouvrier ait à peine besoin d'intervenir.

Tout le travail du constructeur se fait mécaniquement, depuis la plus forte jusqu'à la plus petite et la plus délicate pièce de machine, grâce au rôle prépondérant du fer.

Le bois, dont les caprices semblaient ne pouvoir être domptés qu'avec des outils conduits par la main de l'homme, le bois se travaille économiquement ; chaque jour, on perfectionne les outils qui lui sont destinés et la beauté du travail lutte avec celle de la main. Avec l'outillage dû au fer, on défriche mécaniquement les

forêts ; le bois est équarri, débité, raboté, entaillé, mouluré, découpé ; l'arbre tout à l'heure debout, menaçant le ciel de sa cime imposante, est amené jusqu'à l'état de la plus fine dentelle, par l'emploi exclusif des machines.

L'usage de ces dociles et puissants, mais parfois dangereux serviteurs est poussé à un tel point, que rien de ce qui nous est nécessaire dans la vie n'échappe à leur action, ne peut être produit sans leur secours : notre pain, nos vêtements, nos habitations, tout, peut-on dire, est leur œuvre.

Songe-t-on au prix élevé qu'il nous faudrait payer le pain sans le secours des machines agricoles qui creusent la terre, la retournent, la pulvérisent, l'ensemencent, l'entretiennent en bon état de fécondité, moissonnent et engrangent les récoltes ? Sans elles, qui combattrait les effets de la désertion des campagnes, la rareté des bras, par contre, la cherté des produits de la terre ?

Sans les machines qui filent le coton, la laine et le fil, ou qui les tissent, combien d'entre nous porteraient de chauds et confortables vêtements, du linge frais et sain ? Combien auraient des appartements garnis de meubles et de tentures les défendant contre le froid ?

Est-il rien de plus saisissant que l'aspect d'une filature ? Les ingénieux métiers, dont les mouvements les plus précis semblent réglés par une invisible main, remplissent l'air du ronflement criard de leurs fuseaux. Devant un d'eux, merveille du génie moderne, se tient un seul homme et deux jeunes filles ; à eux trois, ils suffisent à conduire les plus grands appareils de ce genre. Au travail qu'une fileuse produisait à grand'peine nous opposons aujourd'hui des machines portant jusqu'à 400 fuseaux infatigables, faisant la besogne, non de 400 fileuses, mais d'un nombre quintuple.

Et le pauvre tisserand, courbé sur les bretelles de son grossier métier, à demi enfoui dans le sol humide et malsain, que peut son agile navette contre les coups dix fois plus rapides du métier mécanique ? A l'exemple de tant d'autres, il lui faut changer d'état ou se mettre au service de son concurrent de fer.

Partout, les bras, vaincus par la machine; ont dû s'utiliser différemment. Dans toutes les industries a été produite une révolution économique qui en change absolument la face. Ces bouleversements font des victimes sans doute; mais, dans toute révolution de ce genre comme dans toute guerre, comme dans toute invasion; le bien-être général, la victoire de la patrie, la suprématie des peuples s'achètent toujours au prix de quelques sacrifices.

Tous ces instruments du travail humain ont, à leur tour, suggéré mille combinaisons diverses pour être mis en œuvre. Par une conséquence fatale et nécessaire de la concurrence dans la production, le génie de l'homme s'est exercé à demander aux forces variées de la nature le moyen d'actionner de plus en plus économiquement les innombrables machines dues à son invention.

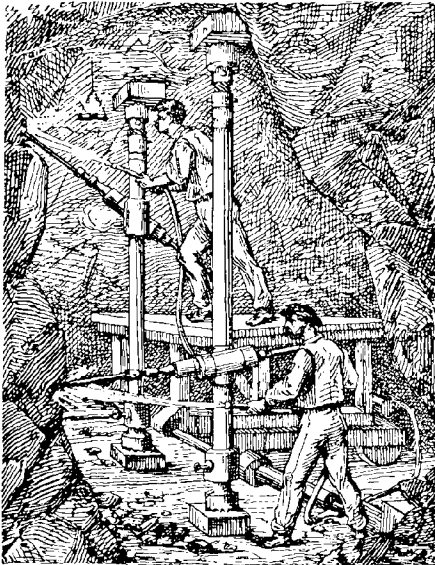
Des effets on est remonté aux causes. C'est ainsi que la vapeur étant issue de la chaleur, on en a conclu que la chaleur était une force, et l'on a voulu l'obliger à agir directement sur nos machines, comme moteur. L'air, fortement comprimé, contenu dans des réservoirs résistants, a dû se plier au service qu'on exigeait de lui; assez puissant pour sortir, comme un ouragan, des machines soufflantes du métallurgiste, il devait être assez fort pour vaincre les résistances d'organes mécaniques.

Dans ces dernières années, deux agents, sinon nouveaux, du moins peu employés encore, ont été mis à contribution: le gaz et l'électricité.

Le gaz d'éclairage n'est plus seulement employé à éclairer ou à chauffer les villes; au moyen de moteurs appropriés, il actionne les outils, le matériel mécanique d'une multitude de petites industries n'exigeant pas une grande dépense de force.

L'électricité, dont l'essence constitutive est encore un mystère pour nos savants les plus sagaces, indique, par ses progrès rapides, tout ce que l'avenir en attend. Née d'hier, cette force à la fois si facile à produire et

si difficile à conduire, si économique et en même temps si coûteuse, est depuis peu le sujet d'études remarquables, profondes, ingénieuses au dernier point, ouvrant à l'intelligence humaine un si vaste horizon, qu'on la présente comme devant prochainement dé-



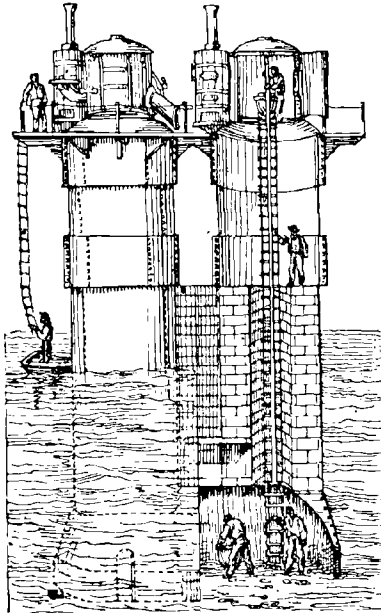
Mach. e perforatrice.

trôner la vapeur: C'est seulement grâce aux machines que cette force, disséminée dans la nature entière, péniblement amassée jusqu'alors par des réactions chimiques, peut maintenant être accumulée presque sans limites et mise à la disposition de nos besoins.

N'est-ce point grâce au roi des métaux que nous pouvons mener à bonne fin les travaux immenses entrepris au sein même de la terre. Privés de notre métal, nos ancêtres devaient limiter à la surface la recherche

des trésors contenus dans les entrailles du sol, et nous, munis du fer, nous avons pu mettre à jour toutes ses précieuses richesses.

Armés de leurs puissants trépan, nos ingénieurs vont jusqu'à des profondeurs de 600, de 900 et même



Fondations tubulaires du pont du Tay.

de 1,000 mètres, chercher soit la houille, ce pain de l'industrie moderne, soit l'eau qui féconde les sols les plus arides. Ils maintiennent, suspendus par un câble d'acier, les hommes et les machines qui travaillent au fond de ces puits immenses.

Ce sont de simples fleurets d'acier garnis de diamants de rebut et manœuvrés par l'action de l'air comprimé dans une enveloppe de fer, qui ont permis d'entreprendre ces travaux d'une immensité sans égale : le

percement des montagnes. Cette petite tige à la main, l'homme a pu éventrer des géants tels que le mont Cenis, le Saint-Gothard. Sans crainte d'être écrasé par les montagnes, il a patiemment tracé son chemin à travers leur masse et introduit dans leurs flancs ses rapides locomotives.

S'agit-il de travaux à exécuter au sein de l'eau, le fer est encore notre plus précieux auxiliaire : il a permis de délaissier, pour les cloches à plongeur et autres engins de ce genre, l'emploi du bois, qui présentait de graves inconvénients, du danger, et fournissait des appareils de dimensions restreintes ou d'une manœuvre difficile. Sans le fer, il serait impossible d'exécuter ces beaux travaux hydrauliques appelés les fondations tubulaires : où l'ouvrier travaille avec une facilité surprenante, bien que placé sous une colonne d'eau d'une hauteur de 15 à 20 mètres.

Le fer seul peut nous donner des appareils capables d'accomplir les immenses efforts nécessaires pour soulever, déplacer, transporter les poids énormes auxquels nos ancêtres employaient des milliers de bras. Les grues en fer, d'une force inouïe, ont remplacé les effets lents et pénibles du plan incliné et du levier ; les vérins, plus puissants encore, et dont les dimensions exigües font sourire d'incrédulité ceux qui en ignorent l'incalculable force, les vérins permettent de soulever de véritables montagnes. Lorsqu'ils ont pour auxiliaires les puissants et ingénieux appareils de levage composés de chaînes et de moufles en fer, l'on arrive à déplacer des masses d'un poids véritablement fantastique.

Faut-il ouvrir le sein de la terre et y tracer, pour nos voies nouvelles, ces gigantesques sillons qui pénètrent jusqu'aux couches profondes du sol ; aussitôt se présentent de formidables engins qui sauront vaincre toutes les résistances du sol. Dans les terres friables ou les sables, des dragues colossales enlèvent, dans leurs puissants godets, des charges énormes qu'elles vont déposer au loin sur le talus de la tranchée. Dans les terres lourdes et compactes, une sorte de main immense ter-

minée par des ongles de fer et emmanchée au bout d'un bras gigantesque, puise le terrain comme l'eau d'une source et se relève, emportant chaque fois plusieurs mètres cubes dans sa concavité.

Nous ne pouvons terminer cet énoncé rapide de notre outillage sans mentionner, au moins, l'importance du fer dans la télégraphie, ce puissant et indispensable moyen de nos communications. Sans le fer, dont la facile production, dont le bas prix se prêtent à une consommation presque illimitée, où trouver une matière permettant de couvrir le monde de ces innombrables fils qui envoient la pensée humaine aux extrémités les plus lointaines ? S'il avait fallu, ainsi qu'aux débuts, s'en tenir à l'usage du cuivre, comment multiplier à l'infini le réseau télégraphique ? L'Europe n'aurait pas déjà 1,500,000 kilomètres de lignes aériennes. On eût été frappé d'impuissance par le prix élevé de la matière première.

Partout, en un mot, sur le sol ou au fond de ses entrailles, sous l'eau comme dans nos ateliers, c'est le fer, encore le fer, toujours le fer qui nous fournit les éléments de notre force et de nos succès.

II

LES VOIES DE COMMUNICATION

La plus importante et la plus populaire découverte de la mécanique moderne est incontestablement le chemin de fer. La voie ferrée est devenue, dans notre vieille Europe, un des besoins essentiels de la société, l'indispensable complément de toute civilisation élevée.

En Amérique, c'est plus encore : le chemin de fer est

la base obligée de tout centre civilisé qu'on veut fonder. Nous attendons que la prospérité d'une contrée nécessite la création d'un de ces chemins modernes. Les Américains tracent une voie ferrée dans la forêt, dans les plaines immenses, pour y amener la vie absente. Dans une multitude de cas, la contrée n'offre pas même la trace d'un sentier; mais elle possède une voie de fer.

Depuis un demi-siècle seulement que la première locomotive a fonctionné, le nouveau mode de transport a fait de rapides progrès. Sa supériorité à tous égards l'a rendu l'indispensable instrument de nos transactions, de notre industrie, de nos déplacements. Aujourd'hui, un vaste réseau de fils parallèles couvre, de ses mailles serrées, l'Europe, l'Amérique, et se dessine sur toutes les terres du monde.

Nos vieillards se rappellent encore l'étonnement et l'incrédulité qui accueillirent la première apparition de ces deux bandes de fer courant sur le sol et supportant les premiers wagons.

En 1825, lorsque le fait se produisit, l'Angleterre était seule dans le monde à posséder des chemins de fer: elle en avait 40 kilomètres! A la fin de l'année dernière, l'on comptait sur la surface du globe plus de 400,000 kilomètres construits! Sur cette quantité, l'Europe en possède plus de 172,000; l'Amérique 160,000, dont les huit dixièmes existent sur le territoire des États-Unis; l'Asie n'en compte que 14,000, l'Afrique 3,000 et l'Océanie, représentée ici par l'Australie seule, un peu plus de 46,000.

Les documents officiels, récemment publiés, nous donnent d'ailleurs, sur le développement des voies ferrées en Europe, depuis 1825, des chiffres dont le rapprochement est plein d'intérêt et que nous croyons utile de mettre sous les yeux du lecteur :

NOMS DES ÉTATS	Époque de la première statistique des voies ferrées.	Étendue kilométrique primitive des voies ferrées.	
		kilom.	kilom.
Grande - Bretagne.	1825	40	29,232
France	1830	50	27,585
Autriche	1835	13	19,126
Allemagne	1835	6	34,314
Belgique	1835	49	4,211
Hollande	1840	17	2,296
Russie	1840	27	23,352
Italie	1845	127	8,774
Suisse	1845	5	2,506
Danemark	1845	31	1,696
Espagne	1850	27	7,839
Portugal	1855	35	1,219
Suède	1855	41	7,431
Norwège	1855	68	
Turquie	1860	66	1,393
Roumanie	1865	37	1,474
Grèce	1865	11	11

Ces chiffres nous montrent que l'Angleterre, promotrice des chemins de fer, est dépassée par l'Allemagne pour l'étendue des voies ferrées, et que notre pays tient, en Europe, la troisième place.

Mais, si l'on voulait apprécier la longueur, par rapport à la surface du sol national et à la rapidité du développement, l'on tirerait de ces chiffres, de curieux enseignements. Nous verrions l'Allemagne perdre le premier rang, pour céder le pas à la Belgique et à l'Angleterre; la France ne viendrait plus qu'en cinquième ou sixième rang. La Grèce, ce foyer de la civilisation antique, morte à tout progrès moderne, occupe la dernière place parmi tous les pays d'Europe.

Les États-Unis, qui comptaient déjà quelques kilomètres (66) en 1830, en ont construit depuis plus de 150,000, c'est-à-dire presque autant à eux seuls que tous les États d'Europe ensemble. Les Américains n'ont

pas hésité. L'audace dont ils avaient déjà fourni tant de preuves allait trouver de nouvelles et nombreuses occasions de s'exercer.

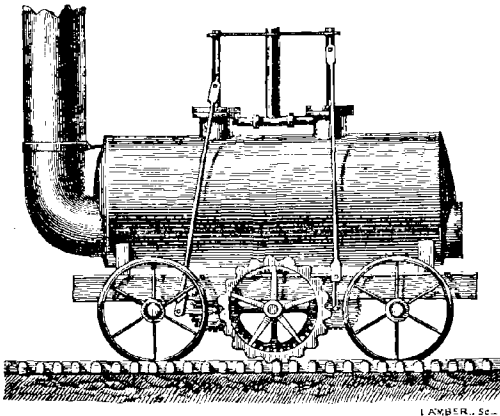
Il convient de dire que, pour tirer de leurs immenses territoires tout le parti possible, il leur fallait en relier les points les plus éloignés ; réunir, par une voie directe, les rivages des deux grands océans qui les enferment. Il fallait surtout ne pas laisser se développer la tendance à s'isoler de l'Union manifestée par les États de l'extrême Ouest, que leur importance et leur prospérité invraisemblable poussaient à l'indépendance. Les Américains n'ont pas hésité : ils ont rattaché l'Atlantique aux rives du Pacifique par le chemin de fer transcontinental, la plus longue voie ferrée qui existe au monde.

Ce projet, depuis longtemps pressenti comme une nécessité devant s'imposer tôt ou tard, obtint l'approbation gouvernementale le 1^{er} juillet 1862. Deux compagnies se partageaient l'entreprise : la compagnie du Central-Pacifique se chargeait de construire la section partant de la Californie ; la compagnie de l'Union prolongeait la voie déjà existante de l'Atlantique à Omaha. Pour relier les deux extrêmes, il fallait construire une ligne complémentaire de plus de 3,700 kilomètres, à travers un désert sillonné par deux chaînes de montagnes aux neiges éternelles, aux plaines déchirées par d'horribles ravins ou séparées par d'infranchissables abîmes.

Les travaux commencèrent en 1863, et ce fut un spectacle merveilleux que de voir cette lutte à outrance entre les deux compagnies pour se gagner de vitesse. La compagnie de l'Union, travaillant sur des terrains moins accidentés, eut une section plus longue à construire ; la compagnie du Central-Pacifique, formée de Californiens, se chargeait de faire passer la voie à travers les formidables défilés de la Sierra-Nevada. On vit là des miracles d'audace, d'ingéniosité et de puissance. Tout l'immense matériel fixe et roulant destiné à la section du Pacifique dut être fabriqué sur les bords de

l'Atlantique, puis embarqué et transporté à Sacramento par le cap Horn.

Sur ces chantiers, qui marchaient à la rencontre l'un de l'autre, travaillaient constamment 30 à 40,000 ouvriers auxquels on fournissait, avec une régularité parfaite, jusqu'aux points les plus inaccessibles, l'habitation, le vivre et les objets d'usage habituel.



La locomotive à crémaillère.

Construite par Blenkinsop, au commencement du XIX^e siècle, pour le service des houillères anglaises.

Quand les deux compagnies furent sur le point de se rejoindre, il s'établit une telle émulation, que les ouvriers parvinrent, par suite de défis successifs, à poser jusqu'à 17 kilomètres de rails en un seul jour ! Au bout de six années seulement, cette ligne colossale était achevée, avec une avance de 7 ans sur le délai accordé aux constructeurs.

L'inauguration de la voie produisit, dans tous les États-Unis d'Amérique, un enthousiasme indescriptible. Grâce à cette ligne, dont la longueur est de 5,412 kilomètres, les voyageurs, placés dans les conditions les plus favorables, peuvent traverser le continent

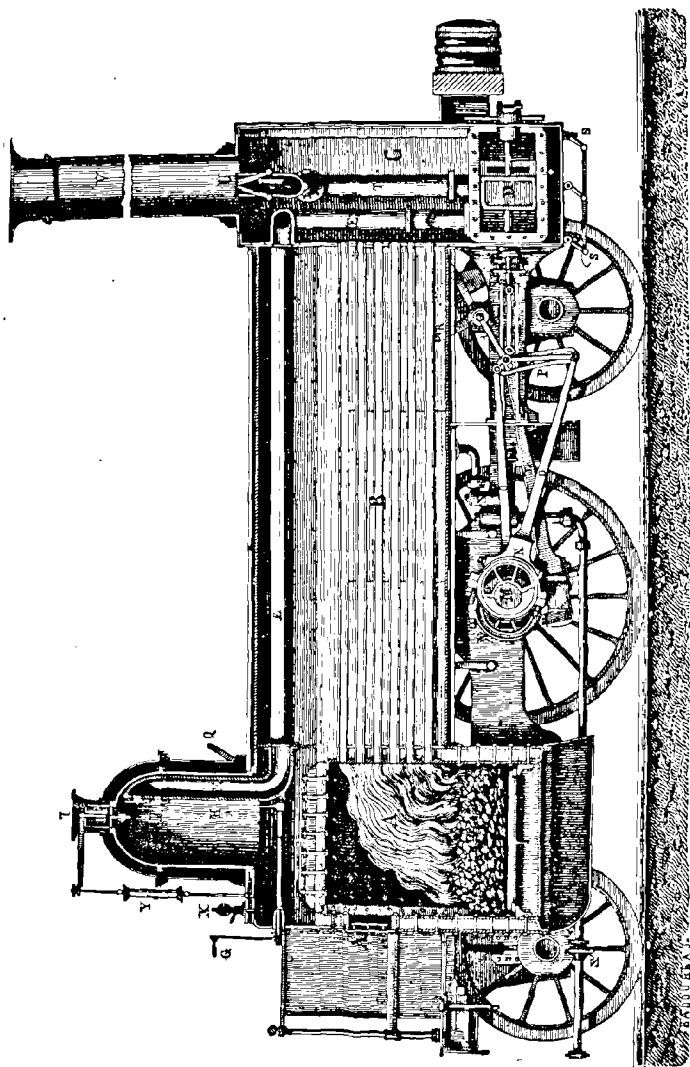
américain en trois jours et demi. Cabeça de Vacca et ses compagnons qui, les premiers, franchirent le désert, des bouches du Mississipi au Pacifique avaient mis huit années !

C'est grâce au gigantesque réseau greffé sur cette artère que les blés de Californie et les viandes d'Amérique viennent, jusque sur nos marchés, faire à nos produits européens une si redoutable concurrence.

Stimulés par un tel exemple, les Canadiens, qui sont bien plus les adversaires que les amis des Américains, ne manquent jamais une occasion d'affirmer leur capacité industrielle et leur supériorité à plus d'un titre. Non contents d'attirer à eux, par des routes d'eau plus courtes, le transit des céréales de Chicago et de tout le centre, ils ont décidé la construction d'une seconde ligne transcontinentale, qu'ils appellent chemins de fer canadiens du Pacifique. Elle continuera la voie qui dessert déjà les régions du lac Supérieur. Les travaux se poursuivent activement et seront complets dans quelques années. La ligne ainsi construite mettra en communication la Colombie anglaise avec Montréal, et offrira un raccourcissement considérable pour le transport des voyageurs et des marchandises de l'extrême Ouest, à moins de frais, aussi vite et avec moins de difficultés que la ligne du Transcontinental.

Non contents d'avoir sillonné les jungles indiennes de près de 15,000 kilomètres de voies ferrées, les Anglais veulent encore mettre au service de leurs intérêts présents et de leurs projets futurs, dans la péninsule indienne, une ligne qui traverserait l'Asie Mineure et descendrait la vallée de l'Euphrate pour venir se relier à leurs lignes de l'Indus.

Imitateurs tardifs et moins pratiques, recherchant l'influence politique et la gloire plus que les profits positifs, des esprits aventureux (on peut même dire irréflechis) ont essayé de lancer la France dans une entreprise aussi hardie et presque aussi grandiose que la ligne du Pacifique. Un vaste projet, dont la malheureuse mission Flatters poursuivait l'étude, consiste à



Locomotive vue en coupe.

- A. Le foyer. — B. Tubes de la chaudière. — C. Boîte à fumée. — D. Tiroir. — E. Tube de distribution de la vapeur. — F. Régulateur. —
 G. Manivelle du régulateur. — H. Réservoir de vapeur. — I. Y. Soupapes de sûreté. — L. Tige de la coulisse de Stopcauson.
 — M. Arbre. — N O P. Organes de la bielle. — Q. Levier de la coulisse. — R S. Coulisse. — T. Condensateur. —
 U. Sortie de la vapeur. — V. Cheminée de tirage. — X. — Sifflet. — Z. Tuyau d'alimentation.

relier nos possessions algériennes à nos possessions du Sénégal, à travers le Sahara, au moyen d'une ligne de fer. S'appuyant sur Timboctou comme point central, le réseau transsaharien, s'il était construit, verrait converger vers lui tout le commerce du Sahara, celui du riche Soudan; les productions du haut et du bas Niger y trouveraient un écoulement facile et avantageux. La ligne se construit déjà le long des rives du Sénégal, et fera bientôt sur son parcours le drainage de tous les articles d'échange entre la métropole et l'Afrique du centre.

Mais ce programme séduisant pêche en un point essentiel : le manque absolu de sécurité pour l'entreprise par suite du fanatisme religieux des pays intéressés. Il faut le déclarer bien haut pour éviter de nouvelles erreurs : les entreprises modernes sont, pour longtemps encore, impossibles dans tout pays mahométan. Les efforts lents et isolés de nos missionnaires et de nos voyageurs peuvent seuls y préparer l'avenir.

Le simple énoncé de ces projets suffit à démontrer le rôle présent, l'avenir du chemin de fer sur la prospérité, sur les mœurs des nations. Immense et puissant instrument d'échange et de progrès, il est, il faut le reconnaître, l'ennemi le plus acharné de tout ce qui constituait jusqu'ici l'individualité des peuples; il est le destructeur implacable des traditions même les plus élevées par le mélange rapide, incessant des idées, par la fusion à longue distance des nations entre elles, par l'affaiblissement dont il frappe, il faut bien le reconnaître, le sentiment de la patrie. Qui sait s'il n'est point, par contre, l'instrument voulu par la Providence pour amener la diffusion de la vérité par tout l'univers ? Les rêveurs le considèrent bien comme un des plus efficaces moyens devant conduire à la réalisation de leur utopie : la fraternité des peuples.

Tandis que ces grandes artères portent la vie jusqu'aux extrémités les plus lointaines des États, les petites lignes entretiennent à l'intérieur une circulation active, sans cesse renouvelée, d'une intensité inconnue

avant leur création. Dans tous les pays pourvus de lignes de fer, le même phénomène économique se produit : le chemin de fer appelle le chemin de fer. Plus il y a de voies ferrées, plus la nécessité de les multiplier s'impose par l'extension croissante des échanges. De toutes parts, les populations invoquent à leur aide cet agent fécond de leur prospérité.

Où les frais d'installation sont trop élevés et les produits du trafic insuffisants pour défrayer ces voies, l'on a imaginé des moyens de s'assurer, malgré tout, les avantages du nouveau mode de transport. Les routes existantes ont été utilisées; des rails ont été posés sur les accotements, et les quelques trains nécessaires aux relations des localités de peu d'importance circulent remorqués soit par des machines, soit par des chevaux.

Répondant d'une manière universelle aux besoins les plus variés, le chemin de fer s'applique dans les proportions même les plus modestes, au moyen des petites voies dites voies étroites et des lignes minuscules appelées *porteurs*. Réduit à ces dimensions, tantôt il relie des villages voisins, tantôt il exécute tous les transports des champs, de la forêt et de l'industrie rurale, dans les conditions de terrains les plus différentes.

Les esprits inventifs ont imaginé des moyens plus simples encore, permettant à tous les véhicules ordinaires de bénéficier des avantages de la voie ferrée. A l'imitation des routes de l'Italie méridionale, où deux lignes de pavés facilitent la traction, les roues des voitures porteraient dorénavant, sur deux bandes de fer légèrement creusées en caniveaux et qui, placées au niveau du sol, réduiraient dans d'énormes proportions les résistances de la charge.

N'est-ce pas encore et toujours à la voie ferrée qu'on a recouru pour supprimer les obstacles accumulés sur la route des touristes qui vont admirer les beautés de la nature? Les cimes les plus célèbres voient peu à peu s'installer sur leurs flancs des lignes spéciales qui franchissent directement les précipices et les torrents.

Au moyen d'appareils spéciaux, câbles remorqueurs, tubes pneumatiques ou locomotives de construction particulière, des trains amènent sans fatigue, et au grand profit des hôteliers, des bandes de voyageurs sur la montagne qui voyait jadis seulement quelques intrépides ascensionnistes. Pourvus de ce mode de transport, le Vésuve, le Righi, le Giesbach, etc., ont leurs curiosités visitées par les moins valides.

Partout dans l'univers, jusqu'au Japon, jusqu'à la Nouvelle-Zélande, chemins de fer à vapeur ou à l'électricité, ou tramways, relie les points en apparence les plus inaccessibles.

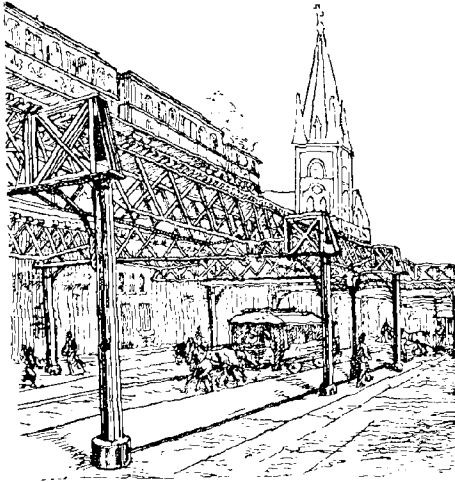
Que dirons-nous donc de ces efforts autrement considérables accomplis pour lancer les locomotives sur les points les plus élevés? Le chemin du Pacifique monte dans les gorges des Montagnes Rocheuses à une altitude de 2,513 mètres; celui que les Péruviens ont construit pour la traversée des Andes, du Callao à Oroya, atteint la hauteur presque incroyable de 4,752 mètres, c'est-à-dire à peine 60 mètres de moins que le point culminant du Mont-Blanc!

La voie métallique, en même temps la plus sûre et la plus puissante, la moins encombrante et la plus solide, se glisse sous le sol dans la traversée des villes: elle est en train de cheminer sous la mer, pour relier l'Angleterre et la France.

Elle supplée à l'insuffisance des véhicules dans nos grands centres de population. Au moyen de tramways ou voies à ornieres, on fait circuler dans nos rues les plus fréquentées des voitures traînées par des attelages ou par des moteurs mécaniques. Si la circulation est trop active dans certaines artères urbaines, la voie ferrée devient aérienne; elle se place à une certaine hauteur, comme à New-York et à Berlin; ou bien elle disparaît aux regards et plonge sous le niveau des rues, comme à Londres, comme à Paris dans un avenir sans doute prochain.

Tantôt ces voies circulent dans des galeries souterraines, s'entrecroisent et se superposent comme les

réseaux de la surface ; dans ce cas, leur matériel est celui des chemins de fer habituels : tantôt les conditions où elles sont établies sont particulièrement difficiles ; et alors la voie est un immense et long cylindre parcouru par un énorme piston devant lequel on fait le vide et qui remorque les trains.



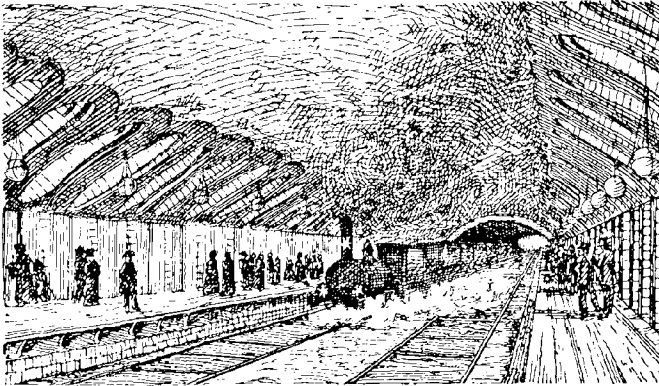
Le chemin de fer aérien de New-York.

Et maintenant, que de merveilles accomplies pour assurer, dans les conditions les plus diverses, le passage de ces deux rubans de fer ! Percement des montagnes, franchissement des fleuves et des vallées, ouverture d'immenses tranchées dans les collines : rien n'a été épargné ; tout a été possible avec le secours du fer, élément primordial de la voie, des machines, du matériel entier, de ce puissant outil !

Qu'il s'agisse des chemins de fer, ou d'une route à prolonger au-dessus d'un cours d'eau : c'est à notre métal, toujours à lui, que s'adressent les ingénieurs modernes lorsque les matériaux ordinaires font défaut ou sont d'un prix élevé, si les difficultés de construction

sont grandes, ou s'il y a nécessité d'opérer rapidement. Les ponts métalliques constituent aujourd'hui l'une des plus intéressantes et des plus hardies applications du fer.

Contenu dans les limites restreintes de cette courte



Une vue du chemin de fer souterrain à Londres.

étude, nous ne pouvons que citer, sans nous étendre jusqu'aux détails, quelques-unes des merveilles dont nous voulons rappeler le souvenir. Le pont d'Arcole, à Paris, l'un des premiers, en même temps l'un des plus beaux monuments de ce genre, non par ses dimensions, mais par ses formes élégantes et par sa hardiesse: il se compose de deux consoles venant s'appuyer l'une contre l'autre, au milieu du pont, et n'offrant pas au point de contact plus de 45 centimètres d'épaisseur. Dans les œuvres de proportions plus grandioses, il faut nommer le pont de Kehl, un des premiers du genre, dont les deux extrémités mobiles interrompent ou établissent à volonté la communication sur les deux rives du Rhin, près de Strasbourg. Ceux de Cologne, de Bordeaux, d'une longueur considérable, sont admirés par les connaisseurs. Celui de Fribourg, qui

plane à une hauteur de 95 mètres, semble une légère tablette jetée d'une rive à l'autre du ravin, au fond duquel coule la Sarine. Nous pouvons citer comme une des œuvres les plus importantes du genre l'immense pont tournant qui relie la ville de Brest à un de ses faubourgs; lancé au-dessus du port militaire, il se déplace avec une aisance parfaite, nécessitant seulement un effort insignifiant.

Sans le secours du fer, comment les ingénieurs auraient-ils pu franchir le Volga à Syzran, dans des terrains inondés, sur une largeur de 10 kilomètres? Un viaduc de 8 kilomètres, et un pont métallique, long de 1,485 mètres, ont eu raison de l'obstacle. Ce pont, l'un des plus longs que l'on connaisse, a treize travées de 111 mètres, composées chacune d'une seule poutre de fer! Quelle construction aurait pu suppléer le fer en cette circonstance?

Il y a deux ans, une crue subite de la rivière Dulas emportait un pont en maçonnerie, et interrompait la circulation sur la ligne de Chester à Holyhead. Trente-cinq jours après (nous disons bien trente-cinq), un viaduc de sept travées en fer le remplaçait et permettait la reprise du service! En ce laps de temps si court, les déblais avaient été exécutés, le pont étudié, bâti et livré à la circulation. Toutes les pièces furent fabriquées en acier laminé, dans les forges de Crewe. Pour opérer plus rapidement, on avait supprimé tous les assemblages et fabriqué d'un seul morceau tous les fers à T des poutres, en leur donnant la longueur de la travée entière. Un pareil exemple montre à la fois toute la puissance de nos usines modernes et toute l'importance du métal dans les constructions de ce genre.

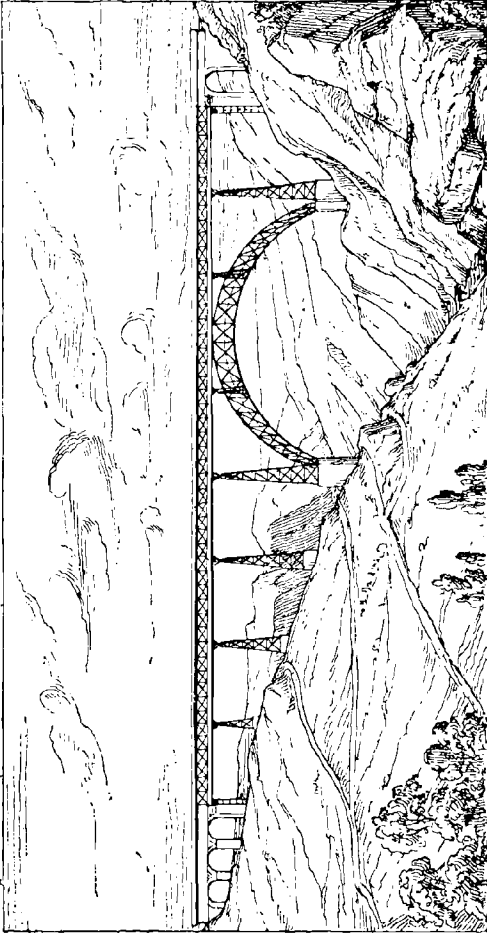
Docile serviteur, le fer a pu donner des démentis éclatants à ceux qui le déclaraient incapable de se prêter, dans les travaux de ce genre, à d'autres formes que celle résultant de la ligne droite. On a construit des ponts entièrement métalliques ayant des voûtes en arc disposées comme celles des ponts en pierre. Ces ponts démontrent même une grande supériorité du métal sur

la pierre, non seulement à cause de leur extrême légèreté de poids et d'aspect, mais aussi par la possibilité d'éviter, pour leur érection, la construction d'échafaudages dispendieux et gênants.

Le plus beau spécimen de ce type était jusqu'alors, sans contredit, le pont de Maria-Pia, jeté sur le Douro. Il se compose d'une seule arche, dominant le fleuve d'une hauteur de 75 mètres, avec une ouverture de 160 mètres. Il est dépassé de beaucoup par le pont-viaduc de Garabit, sur la ligne de Marvejols à Neussargues. Ce viaduc sera le plus élevé du monde entier. Haut de 124 mètres, il dépasse de 32 mètres celui de Kinzua, aux États-Unis, qui, avec ses 92 mètres d'élévation, passait pour tenir le premier rang. L'arche centrale, disposée comme celle du pont Maria-Pia, présente 165 mètres d'ouverture; l'on pourrait superposer Notre-Dame de Paris et la colonne Vendôme sans que le bas du cintre fût même atteint.

Nous ne pouvons négliger de citer, à la gloire du fer, ces ponts aériens, au tablier seulement soutenu par des câbles métalliques, qui traversent, sans point d'appui intermédiaire, des vallées et franchissent des vides que ne peuvent franchir les plus grandes travées des ponts rigides. Les ponts suspendus ont un caractère d'élégance et de légèreté incomparable; ils forment en quelque sorte un mince ruban métallique, oscillant avec les vents à des hauteurs parfois vertigineuses. Tels sont les ponts si hardis jetés au-dessus de l'Ohio, à Cincinnati, et au-dessus du Niagara, près de la cataracte. La portée de l'un atteint 250 mètres, l'autre fait une colossale enjambée de 385 mètres; sur ces minces planchers, qui se balancent à 75 mètres du fleuve, les trains de chemins de fer glissent à toute vapeur. D'autres fois, le même pont comporte deux tabliers superposés: la voie ferrée court sur le plus élevé, tandis que les voitures et les piétons circulent sur le plancher inférieur.

Sans le secours du fer les Américains, si audacieux qu'ils soient, ne seraient jamais parvenus à réunir



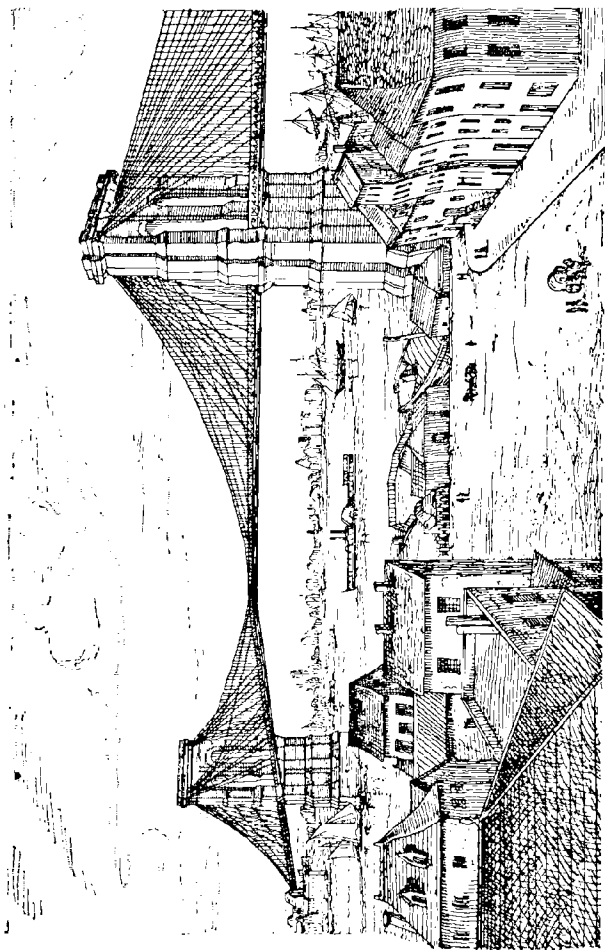
Le viaduc de Garabit, sur la ligne de Marvejols à Neussargues.
(124 mètres, du niveau de l'eau au sol du tablier.)

New-York et Brooklyn. Aujourd'hui, l'on peut admirer le superbe pont suspendu que l'ingénieur Washington Roebling vient de lancer au-dessus de la rivière de l'Est et des deux villes. Les relations entre la métropole américaine et son important faubourg ne pouvaient exister jusqu'ici qu'au moyen d'embarcations. Plusieurs fois l'on avait tenté, mais vainement, de réunir les deux villes ; toujours on se heurtait à deux difficultés du premier ordre : la gêne de la navigation et l'impossibilité de disposer des terrains bordant la rivière. En effet, il fallait que les innombrables navires qui sillonnent les eaux de New-York pussent circuler sans entraves. Roebling a surmonté les difficultés en construisant un pont suspendu, sans pareil au monde et qui probablement ne sera point surpassé de longtemps. Sa longueur est de 1,826^m60, approches comprises, et il repose seulement sur deux piliers placés au milieu de la rivière. Ces piliers comportent un massif de 36,160 mètres cubes de maçonnerie, qui plonge à 30 mètres plus bas que l'eau, et compte 114 mètres de la base au sommet.

Le tablier, dont la largeur est de 26 mètres, est occupé par sept passages : au milieu, une passerelle pour les piétons ; de chaque côté, une voie pour les chemins de fer ; sur les deux bords, un double passage pour les voitures. Il plane au-dessus des maisons et franchit l'East-River à une altitude qui dépasse de 41 mètres les hautes marées, afin d'épargner aux navires la peine d'abattre leurs mâts.

Ce gigantesque tablier est supporté par quatre câbles formés de 6,224 fils d'acier non tressés, réunis en une poignée ayant un diamètre de 48 centimètres. Le poids de chacun d'eux est de 866,000 kilogrammes ; six poutres métalliques et 280 haubans les soulagent du poids de l'appareil et des secousses qu'ils reçoivent.

A ce que nous venons de voir ne se bornent pas les merveilles que les ingénieurs réalisent à l'aide du fer. Le pont tubulaire clôt cette série. Ce que le tunnel est aux tranchées, on peut dire que le pont tubulaire l'est



Pont de Brooklyn.

aux ponts et aux viaducs ordinaires dont les arches sont en maçonnerie ou en fonte. Faire passer un convoi, locomotive et wagons, à l'intérieur d'un vrai tube métallique, est une idée aussi hardie qu'originale, qu'il était donné à notre siècle de pouvoir réaliser. Bien que le passage à l'intérieur du tube ou au-dessus en le transformant en tablier sectionné soit né de la même pensée, le côté grandiose de l'opération n'en saisit pas moins l'imagination.

Les ponts tubulaires se composent de quatre lames de tôle rivées ensemble de façon à former un tube creux rectangulaire reposant sur des piles et des culées. C'est en Angleterre qu'ils furent construits pour la première fois, afin de répondre aux exigences spéciales des communications le long des côtes.

Le littoral de l'Angleterre est, on le sait, découpé, presque dentelé en une quantité de petites baies profondes qui constituent ces ports innombrables auxquels ce pays doit, en partie, sa fortune maritime. Pour parvenir aux nombreuses presqu'îles qui s'avancent ainsi dans les flots, il fallait recourir à des transbordements nombreux ou faire des détours considérables. Les compagnies de chemins de fer n'ont pas reculé devant l'exécution d'immenses ponts jetés d'un bord à l'autre de ces petits détroits. Sur certains d'entre eux, la navigation est trop active pour accepter les entraves apportées par les piles des ponts.

La difficulté a été résolue de la façon la plus curieuse par Robert Stephenson, au détroit de Menay, pour réunir l'île d'Anglesey à la côte de Carnarvon. L'amirauté avait imposé au célèbre ingénieur l'obligation de laisser une hauteur de 30 mètres entre son pont et les plus hautes eaux, de façon à permettre le passage des plus grands navires. On ne lui tolérait, en outre, l'usage d'aucun échafaudage, d'aucun cintre, pour mettre en place les diverses parties de son monument.

Lorsqu'il eut fait construire les tubes en fer qui constituaient l'élément principal de l'œuvre, il fallut les monter sur un rocher placé au milieu du détroit et

qui servait de pile principale. L'éminent ingénieur parvint à hisser successivement, à 100 pieds de hauteur, les quatre tubes pesant chacun 2,000,000 de kilogrammes qui composaient son pont, en employant des presses hydrauliques mues par la vapeur. Ce fut un des plus beaux triomphes de sa superbe carrière.

Un travail analogue, plus important encore, a été exécuté auprès du Canada pour faire franchir le Saint-Laurent à la ligne qui rejoint New-York et Québec.

On se propose également d'employer le fer pour consolider les parties faibles du tunnel qui doit relier les côtes anglaise et française. En cette circonstance, on opérerait comme dans le cuvelage métallique des puits de mines ; sur les parois à soutenir on apposerait des sections de circonférence qu'on relierait ensuite au moyen de boulons rapprochant les bords à cornières de ces sections.

III

LA MARINE

La démonstration des avantages présentés par l'emploi du fer ne pouvait laisser indifférents les constructeurs de navires ; aussi les voit-on essayer l'application de ce métal dès que sa fabrication, abondante et à bas prix, leur assure des approvisionnements faciles. D'ailleurs, ils ne tardèrent pas à être contraints d'employer exclusivement le fer pour leurs constructions, lorsque l'hélice fut adoptée pour la propulsion des navires. Le métal seul permet l'établissement de ce puissant appareil dans le vide nécessaire à l'arrière

du bâtiment; seul, il peut résister à la torsion et aux trépidations que sa course rapide imprime aux vaisseaux.

Habitué à être séparés de l'eau par leurs épaisses murailles de bois, les marins ne pouvaient, au début, s'imaginer qu'ils étaient en sécurité derrière les minces feuilles de tôle qui constituaient la coque des premiers navires en fer. Cette appréhension fut un obstacle sérieux au progrès rapide des nouvelles constructions navales; mais, une fois l'obstacle vaincu, il semble que l'on ait tenu à regagner le retard apporté à l'usage du fer dans la marine.

Les navires en fer offrent des avantages bien concluants : rien ne limite les dimensions qu'ils peuvent atteindre ; à égalité de volume, de poids ou de tonnage, ils laissent plus de place dans l'intérieur, sont plus résistants et coûtent moins cher que les navires en bois ; la construction en est également plus rapide. Les voies d'eau qui s'y produisent sont moins faciles à boucher, mais elles s'y produisent moins aisément ; en vieillissant, le navire ne s'alourdit pas de toute l'eau qui imprègne la masse spongieuse du bois et détermine une destruction dont la marche est toujours une surprise. Le fer, soigneusement recouvert de peinture, est d'une durée presque indéfinie tant que la rouille, son implacable ennemie, n'a pas desserré les boulons d'assemblage et détruit l'adhérence des plaques juxtaposées. Avec les navires en fer, plus de ces épouvantables épisodes d'incendies en pleine mer ; du moins, ce danger est restreint au contenu.

Par contre, le vaisseau en bois est une habitation plus saine ; en été, le navire en fer s'échauffe démesurément ; en hiver, il est glacial et très humide. Sa carène nécessite de fréquents nettoyages à cause des quantités innombrables de coquillages et de végétations qui la chargent, retardent la marche, rongent la peinture protectrice et livrent le métal à l'action corrosive de l'eau de mer. Enfin, pendant longtemps, les navigateurs ont eu à combattre les erreurs de route pro-

duites par l'influence de la coque sur l'aiguille de la boussole.

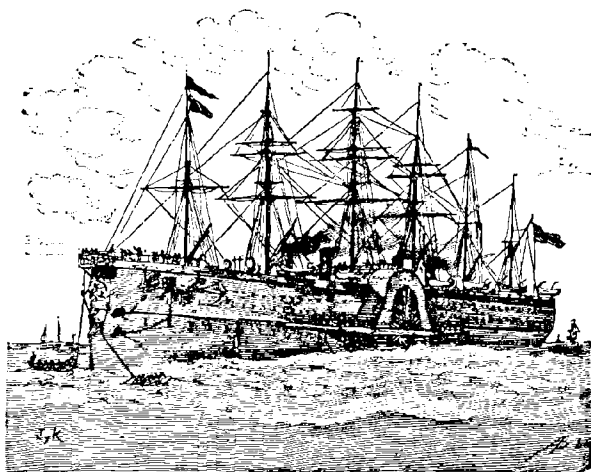
Tous ces inconvénients sont atténués par des moyens appropriés, et la marine moderne emploie aujourd'hui, à peu près exclusivement, le métal pour les constructions de quelque importance.

Dans cette branche considérable de notre outillage industriel et commercial, le fer règne également en maître. Il est la matière qui fournit ces vastes et confortables paquebots pour le transport des voyageurs. Quand ces monuments flottants atteignent des dimensions considérables, on superpose deux et trois cloisons pour former la muraille. Séparées l'une de l'autre par des cornières et des écoinçons qui ménagent des vides entre elles, l'immense coque se trouve composée d'une multitude de caisses juxtaposées, sans communication, qui assurent l'imperméabilité du navire et le garantissent autant que possible contre toute submersion si une rupture de la coque vient à se produire. C'est ainsi qu'on a pu construire et les rapides steamers que l'hélice fait voler à la surface des flots, et les immenses clippers dont la gigantesque voile suffit à assurer une marche presque égale à celle des vapeurs, malgré leur énorme tonnage. Il en est de même de ces gigantesques bateaux, maisons plus qu'embarcations, qui sillonnent les fleuves américains du Nord.

Dans toute entreprise de navigation comme dans toute opération commerciale, le plus gros bénéfice appartient à celui qui produit au prix le moins élevé ; il en est résulté, depuis la création de la marine à vapeur, une concurrence qui a conduit à tenter la solution du problème économique par tous les moyens possibles. Le besoin d'atteindre ce *desideratum* a fait construire des paquebots de dimensions extraordinaires dont le plus célèbre était le fameux *Great-Eastern*.

Ce navire colossal, tout en fer, possédait deux machines : l'une, de 1,600 chevaux, faisait agir une hélice et comptait pour son fonctionnement : six chaudières, soixante-deux feux, trois cheminées ; l'autre,

de 1,000 chevaux, mettait en mouvement deux roues à aubes et comptait quatre chaudières alimentées par quarante-deux feux et deux cheminées. Le tout consommait 300,000 kilogrammes de charbon par jour et occupait un équipage spécial de 200 hommes. Le colosse flottant avait 210 mètres de longueur, 25 de



Le Great-Eastern,
le plus grand navire de transport construit jusqu'à ce jour.

large, jaugeait 22,500 tonneaux et enfonçait de 7 mètres et demi sous l'eau ; néanmoins, ses énormes proportions ne portaient aucun préjudice à ses qualités supérieures de vitesse, car il filait couramment 14 milles à l'heure.

A ses côtés, les navires ordinaires semblaient de chétives embarcations, et leurs mâts atteignaient à peine le niveau de ses bastingages. Mille passagers trouvaient place à son bord et y rencontraient l'installation la plus confortable.

Malheureusement, ce géant, auquel la plupart des ports étaient fermés à raison même de ses vastes pro-

portions, ne put jamais fournir un service régulier. Sa puissance ne fut employée qu'à de longs intervalles et dans des circonstances exceptionnelles. Improductif pour ses actionnaires, il a été dépecé et vendu aux enchères.

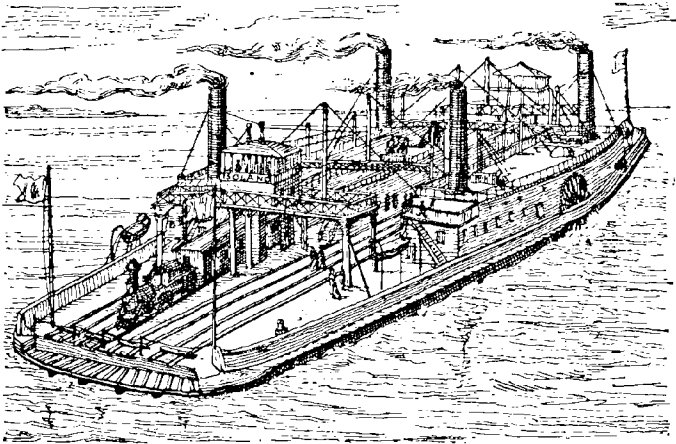
Le fer, qui se prête si bien à la confection de ces colosses, se prête non moins aisément à la construction d'une tout autre classe de navires. C'est lui qui constitue les meilleures de ces embarcations de plaisance connues sous le nom de yachts, dont l'usage se propage de plus en plus dans les classes riches. Là, tout est sacrifié à l'élégance, à la légèreté qui assure la vitesse: la tôle d'acier répond aux conditions requises, et, sous la mince épaisseur de trois à quatre millimètres, fournit des coques d'une considérable résistance.'

S'agit-il de traverser un bras de mer, des anses, des fleuves trop larges pour être franchis par des travaux d'art, les chemins de fer se complètent maintenant par de gigantesques bacs emportant plusieurs wagons qu'ils vont déposer sur l'autre rive. Audacieux au suprême degré, les Américains ont poussé au dernier point la puissance de ces appareils en fer; la compagnie du *Grand Central Pacifique*, pour compléter sa ligne venant de Sacramento, emploie maintenant un bac colossal qui transporte, d'une rive à l'autre de la baie de Carquinez, un convoi entier de quarante-huit wagons avec la locomotive qui les traîne.

Si, quittant la marine de commerce, nous considérons la marine de guerre, nous constatons des modifications plus profondes encore. Par l'emploi universel du fer dans toutes les pièces qui constituent le navire, l'art naval est transformé; le courage personnel, la valeur militaire ne décident plus des résultats d'une action meurtrière; c'est dans la solidité du matériel, dans la précision des machines que se trouvent désormais les chances de victoire. La marine cuirassée, dans ses nombreuses applications, les plus anciennes comme les plus récentes, a toujours emprunté au fer et sa force de résistance et sa force destructive.

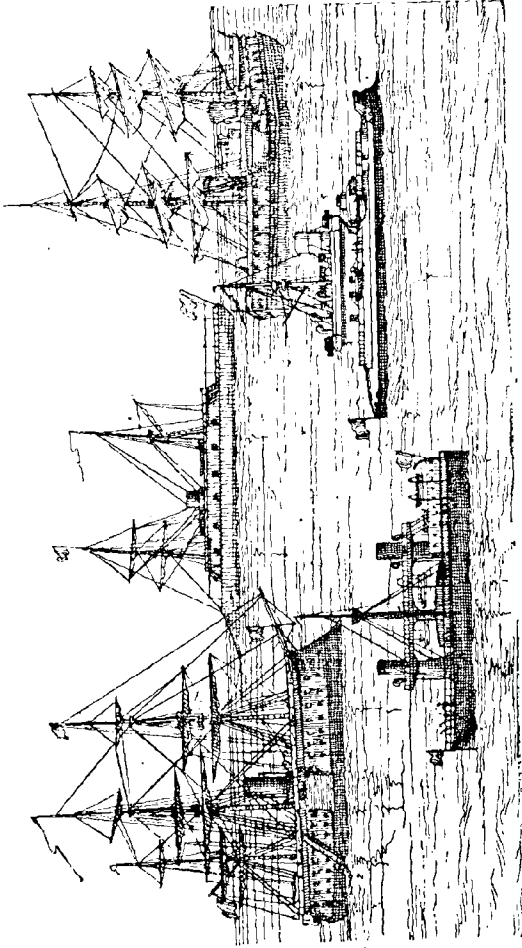
En dehors de quelques essais isolés remontant à des

époques éloignées et dus à divers Européens, les Américains paraissent avoir été les premiers constructeurs de vaisseaux cuirassés ; et c'est Fulton lui-même qui, en 1813, lança sur les flots le précurseur de la marine actuelle. Ils n'en étaient donc pas à leur coup d'essai lorsque parurent, dans la guerre de Sécession, les célèbres navires *le Merrimac* et *le Monitor*.



Le *Solano*, bac à vapeur de la baie de Sacramento.

Poussée dans cette voie par sa guerre contre la Russie, la France construisait des batteries flottantes, une merveille pour l'époque, et mettait sur chantier les navires qui allaient constituer sa flotte cuirassée. L'ingénieur qui dirigeait ces constructions, M. Dupuy de Lôme, entraînait l'Europe par son exemple, et l'on ne tarda pas à voir les mers sillonnées par de nombreuses et puissantes masses de fer flottantes. Par une conséquence toute naturelle, on chercha des moyens d'attaque en rapport avec les nouveaux moyens de défense. Pendant vingt ans, de 1860 à 1880, l'on a assisté au spectacle de la lutte entre l'offensive et la défensive. A chaque projectile ou à chaque canon nouveauté passant ses précur-



Les navires cuirassés.

Le Dévastation,
frégate cuirassée française à réduit central.

Le Rochambeau, monitor français.
Le Tonnerre, garde-côtes français.

Le Dutilleul, monitor italien.

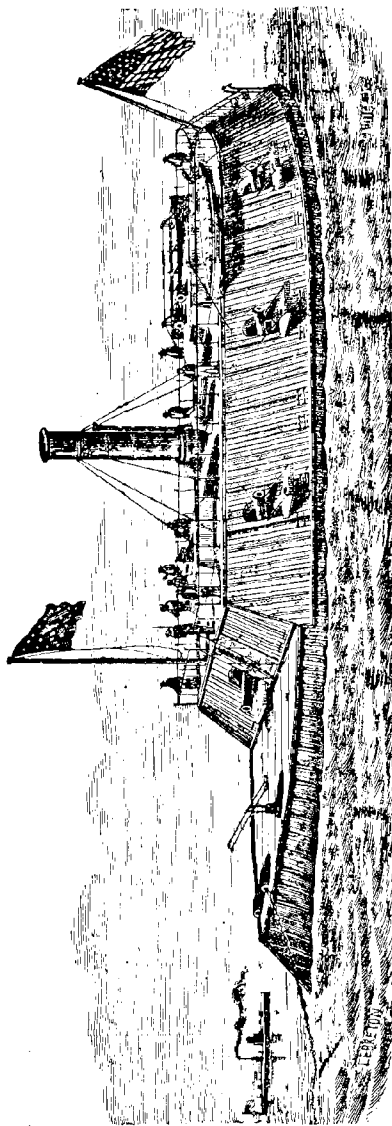
Le Regentia,

type de cuirassés anglais.

seurs en effets destructifs, on répondait par des blindages de plus en plus résistants par leur épaisseur ou par la qualité du métal. Vint un moment où l'on dut limiter l'épaisseur donnée au blindage, tant les navires devenaient difficiles à manier, mauvais navigateurs sous la masse de fer dont on les accablait.

Cependant, la question reste toujours sans solution acquise; car en ce moment même, la marine anglaise va compter deux puissants navires, le *Duncan* et le *Camperdown*, dont les cuirasses auront jusqu'à 45 centimètres dans leur plus grande épaisseur. Pour remédier aux défauts qui détruisaient les qualités nautiques de la nouvelle marine, l'on varia les types; on fit des navires à éperon dont l'avant, fait d'acier, devait, par son énorme impulsion, broyer le navire contre lequel il était lancé; on fit des navires à tourelles cachant derrière leurs impénétrables murailles de fer une artillerie peu nombreuse, mais d'une puissance énorme; on en fit dont la coque, émergeant à peine au-dessus des flots, supportait seulement des abris logeant des canons immenses, et n'offrait aucune prise aux coups de l'ennemi.

En même temps que les navires devenaient en quelque sorte inaccessibles aux coups, soit par leur résistance, soit par l'ingéniosité de leurs dispositions, on cherchait à remporter, par surprise, les succès qu'on désespérait d'obtenir par la force. Alors furent inventées ces terribles machines de guerre appelées les torpilles, dont une seule a raison du plus superbe cuirassé, le brise et le fait voler en éclats. On se borna d'abord à semer ces engins explosifs sur la route de l'ennemi; bientôt, l'on alla lancer jusque sous ses flancs la désastreuse machine. Mais le danger était si grand pour ceux qui se dévouaient à cette opération, les chances de succès si restreintes, que l'on ne tarda pas à imaginer des appareils manœuvrés à distance, qui poussaient la torpille entre deux eaux, sous les flancs mêmes du navire attaqué. L'on va plus loin maintenant: il existe des embarcations sous-marines, admirables de construc-



Un *monitor* américain de la guerre de Sécession.

tion, triomphe de la science, qui vont, inaperçues, attaquer les colosses flottants, attachent sous leur quille les meurtrières torpilles, se retirent à leur aise et font sauter le navire sans le moindre risque pour l'équipage torpilleur.

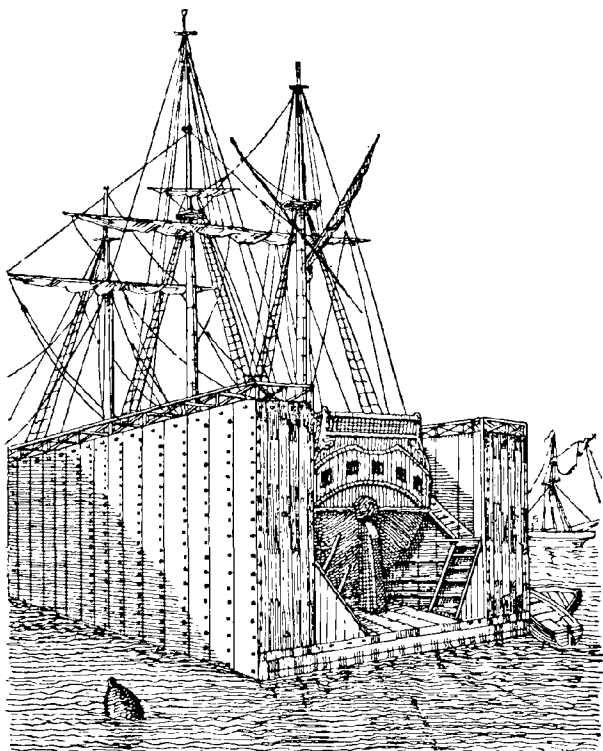
A ces deux derniers modes d'attaque l'on a répondu en enveloppant les navires cuirassés d'un immense filet à mailles d'acier. Le colosse repose dans une sorte de corbeille formée par le réseau qui plonge sous l'eau, et que l'on maintient éloigné du navire par des perches de fer. De cette façon, toute torpille lancée contre lui, vient s'embarasser dans les mailles du filet et reste inoffensive.

Cette lutte entre l'attaque et la défense est loin d'avoir dit son dernier mot. Une cruelle expérience est venue démontrer, au combat de Lissa, qu'on avait fait fausse route, et qu'il était temps de restituer à l'intelligence, à la valeur personnelle des combattants, le premier rôle qu'on avait abandonné à la puissance matérielle des engins. Depuis deux ans, l'on revient notablement à d'autres idées ; au lieu de ces monstres de fer et d'acier si coûteux pour un budget, si peu efficaces dans un combat d'évolutions, qu'une misérable enveloppe de tôle, pleine de corps explosifs peut détruire *en moins de dix minutes*, on construit maintenant des navires légers, de petit modèle, d'une grande rapidité de mouvements, rasant l'eau, portant une artillerie réduite, mais à longue portée, et qui permettront de nouveau aux vrais hommes de mer de montrer leurs qualités.

Toutes ces machines si variées, si nombreuses, c'est toujours le fer qui en est l'élément. Il l'est aussi de ces nombreux accessoires, complément nécessaire de la navigation : les bouées, les balises qui marquent les passes ; il constitue les phares qui indiquent la côte lorsqu'il n'est pas possible de faire des constructions de pierre ; il permet même l'établissement de phares flottants à une distance considérable de la terre.

Enfin, l'emploi du fer a permis de pourvoir aux réparations des navires dans les mers lointaines. Il

faut souvent que le navire éprouvé puisse entrer dans un bassin de construction spéciale, nommé bassin de radoub, où sa coque, mise à nu, reçoit les réparations



Dock flottant.

nécessaires. Jusqu'ici les points étaient rares où un bâtiment pouvait trouver les secours voulus pour remédier aux avaries causées par la tempête. Parfois le navire en détresse ne peut aller jusqu'au point voulu; ou bien, les dimensions de nos navires actuels leur interdisent l'entrée des anciens bassins. L'on remédie

à ces inconvénients au moyen d'un ingénieux appareil appelé dock flottant. Cet engin se compose d'un certain nombre d'énormes caissons en fer dont les parois, d'une solidité à toute épreuve, laissent entre elles un vide considérable qui les rend flottants. Ces caissons sont conduits auprès du navire avarié, souvent à des distances considérables; appliqués contre ses flancs, on les glisse sous lui en laissant pénétrer à l'intérieur une certaine quantité d'eau qui les fait plonger. Lorsqu'ils ont ainsi entouré le navire comme d'une enveloppe inférieure, l'on épuise l'eau qu'ils contiennent, et le vaisseau, soulevé au fur et à mesure que le dock se relève, finit par rester à sec dans le bassin formé par la réunion des caissons; alors les avaries apparaissent et peuvent être réparées.

IV

L'ARMEMENT

Nous n'apprendrons rien à nos lecteurs en leur rappelant que le premier emploi du fer fut d'armer la main de l'homme et que, dès le premier moment de son application, il a contribué à assurer la prépondérance violente de son possesseur.

Dans les luttes antiques, les combattants armés de fer avaient sur ceux armés de pierre la même supériorité que la première artillerie eut à Crécy sur les lourdes armures des chevaliers. Longtemps le fer fut l'unique instrument de combat. Au fer qui tuait l'on opposa le fer qui protégeait : les cottes de mailles d'abord, les cuirasses ensuite, furent revêtues par les hommes de guerre pour se garder contre les épées et les

lânces vigoureusement maniées. Ce fut l'époque où la fabrication des armes blanches atteignit son apogée : dès le XII^e siècle, les armuriers avaient surpris tous les secrets de cette fabrication, savaient reconnaître les qualités d'un métal et lui donner la meilleure destination, sans connaître, toutefois, la raison des choses : à peine vient-on de la découvrir. C'est de cette époque déjà reculée, que datent ces fameuses lames d'Orient, ces épées redoutables de nos grands batailleurs qui tranchaient, les unes des rochers sans en être éprouvées, les autres un coussin de fin duvet jeté en l'air.

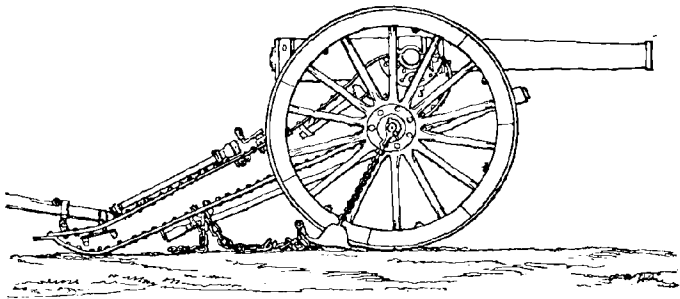
Le XV^e et le XVI^e siècle, qui nous ont laissé de si remarquables monuments par la richesse et le prix du travail, n'ont rien ajouté aux qualités déjà connues du précieux métal.

Nous avons fait connaître la fabrication des lames de Damas en parlant des diverses sortes d'acier ; les lames de Tolède, non moins célèbres, doivent leur réputation à des qualités toutes différentes. Les lames d'Orient ont une trempe d'une fermeté incomparable ; les lames de Tolède sont, au contraire, d'une élasticité, d'une souplesse sans pareilles ; on peut, sans les rompre et sans les déformer, leur faire décrire une demi-circonférence. Cette fabrication n'a rien de mystérieux ; les qualités qui distinguent ces lames tiennent à l'excellence de l'acier et du fer longuement malaxés qui entrent dans leur composition ainsi qu'aux vertus particulières acquises par la trempe dans l'eau blonde du Tage.

Devant la puissance des armes à feu, les cuirasses ont peu à peu disparu : ce qui en reste aujourd'hui semble un anachronisme, un souvenir attardé des âges passés. Dans l'armement direct des hommes, le fer n'a plus gardé que le rôle de l'attaque ; partout, autant dire, il a abandonné la défensive. Arme blanche ou arme à feu, il est l'élément supérieur qui assure la victoire ; par sa qualité, par les combinaisons mécaniques auxquelles il peut seul se prêter, l'arme qu'il a

servi à construire inspire confiance au soldat ou le laisse sans moyens sérieux de résistance.

La perfection de cette fabrication est une des choses les plus remarquables de l'industrie actuelle. Armes blanches fabriquées dans les manufactures d'État, armes à feu pour la chasse ou pour la guerre, le fer les donne toutes dans les conditions les plus variées de qualité, de prix, de précision, de portée.



Pièce de campagne de l'artillerie française.

Toutefois, le progrès le plus considérable qui se soit accompli dans l'armement moderne concerne l'artillerie. De même que l'artillerie Gribeauval a disparu devant l'artillerie rayée, de même cette dernière est éclipcée par la nouvelle artillerie en acier.

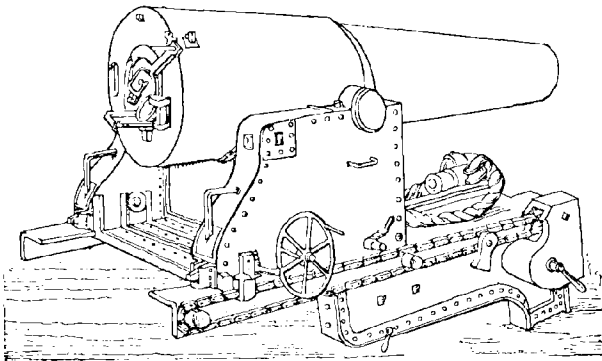
Nous ne voulons point refaire ici l'histoire du fer appliqué au canon ; mais nous devons au moins citer le fameux canon de Gand, la plus puissante pièce de fer forgé produite par le xiv^e siècle. Fabriquée à la manière des fusils à rubans, c'est-à-dire formée de rubans de fer enroulés, superposés et soudés à chaud, cette énorme pièce était en outre consolidée de la même manière que la grosse artillerie de nos jours, au moyen de frettes ou cercles de fer. Long de plus de 6 mètres, ce colosse pèse près de 17,000 kilogrammes. Froissard nous l'a fait connaître en racontant le siège d'Audenarde ; il git inerte aujourd'hui sur une petite place de Gand, la

bouche tournée vers le grand canal, et ne sert plus qu'à l'amusement des enfants, dont le plaisir est de se cacher dans l'intérieur.

Il y a trente ans à peine que l'acier a servi à fondre le premier canon d'un usage sérieux. Cet essai, œuvre de l'Allemand Krupp, devait ouvrir à celui-ci la voie des succès et de la fortune. En effet, son usine d'Essen, dont il est seul propriétaire, est peut-être la plus importante de toute l'Europe. C'est de là que sont sorties, depuis la tentative de 1851, la plupart des bouches à feu qui ont servi à l'armement du monde entier. Les grosses pièces d'artillerie auxquelles Paixhans et Armstrong avaient donné leur nom ont été dépassées par Krupp. Il exposait, en 1867, ce fameux canon qui étonnait déjà par ses proportions colossales : pesant près de 20,000 kilog., il lançait un boulet de 380 kilog. avec 50 kilog. de poudre. On a depuis laissé bien loin cet engin formidable : l'Italie s'est pourvue de canons atteignant le poids invraisemblable de 100,000 kilogr. Il convient d'ajouter que, malgré la puissance de leur portée et la perfection du mécanisme permettant leur manœuvre, ces pièces de calibre exagéré sont d'un usage fort peu pratique. Les canons vraiment redoutables, ceux auxquels l'acier a permis de donner tout leur effet utile, ceux dont nous avons si tristement fait la redoutable expérience, ce sont les pièces de calibre restreint, légères, solides, à tir rapide et d'une exécution si parfaite aujourd'hui que l'on ne constate aucun échappement de gaz à travers la culasse, et dans lesquelles on a pu réduire la charge de poudre à son minimum tout en lui demandant son maximum d'effet.

Par sa ténacité, par sa résistance à tous égards, l'acier pouvait seul amener cette révolution dans l'artillerie moderne. Non seulement il a fourni une artillerie de siège et de marine, puis une artillerie de campagne formidable : il a créé aussi une admirable artillerie de montagne. Jusqu'alors il avait fallu réduire au moindre poids possible les pièces de transport ; on ne pouvait dépasser la charge d'une bête de somme ; il fallait abaisser

en proportion la valeur efficace de l'arme. L'on accorde maintenant aux canons de montagne presque la même puissance qu'aux canons de campagne : le problème a été résolu en sectionnant les pièces ; elles se composent de trois fragments réunis par un solide pas de vis et dont le poids est calculé pour être d'un transport facile.



Pièce d'artillerie de la marine française.

Les projectiles ont suivi la même marche que l'arme elle-même ; leurs formes ont été profondément modifiées. Aux boulets pleins, dont les dimensions avaient été inutilement augmentées, ont succédé les projectiles coniques, creux, remplis de poudre, explosibles, et dont les éclats projetés en tous sens, produisent à longue distance les effets de la mitraille. D'autres, ceux qui sont destinés à percer les plaques de blindage, doivent offrir, au contraire, une résistance invincible ; ils ne doivent ni se rompre, ni s'émauser au moment du choc effroyable qu'ils produisent. Une composition raisonnée du métal peut seule fournir ces résultats si différents de rupture à l'infini et de résistance sans limite. Dans le premier cas, il faut une fonte blanche trempée ; dans le second, un métal ne dépassant point 5 à 10 pour mille de carbone. Souvent même il faut recourir à des alliages de minerais spéciaux.

Devant cette puissance de l'artillerie, devant la pénétration formidable de ses projectiles, les hommes de guerre ont douté de leur sécurité, même derrière les plus formidables remparts de pierre et de terre, et c'est encore au fer qu'ils ont demandé la protection qui leur manquait. La Belgique, l'Italie, l'Allemagne surtout ont construit, sur les points les plus intéressants de leurs lignes de défense, des forts dont les murailles sont renforcées de blindages en fer placés entre deux couches de terre, des tourelles et des casemates entièrement en fonte durcie, dont les murailles ont de 0^m30 à 0^m50 d'épaisseur.

V

LES MONUMENTS

Si large que soit la place du fer dans la confection des engins destructifs, elle est encore dépassée par celle qu'il occupe dans la construction de nos monuments.

L'origine de cette application est bien peu éloignée de nous, certains peuvent même s'en souvenir.

En dehors des ouvrages concernant le serrurier, le fer n'avait pas d'emploi dans la construction. Au début, on ne lui demandait que des résultats en quelque sorte primitifs; l'on ne recherchait en lui que la solidité, les constructeurs ne lui imposaient que les formes géométriques les plus simples, et l'on ne faisait usage que de la fonte, dont la nature est fort peu applicable aux pièces à longue portée. Nos architectes se montraient, en ces occasions, les imitateurs attardés des premiers constructeurs, qui n'ont cherché la perfection

des formes, l'harmonie des lignes que longtemps après avoir atteint leur but essentiel : la solidité de l'œuvre.

En obligeant à une fabrication rapide et à bas prix, à une étude raisonnée des formes à produire au sortir du fourneau, la création des chemins de fer a eu le plus heureux effet sur l'emploi du fer dans les constructions. L'on a pu quitter l'usage exclusif de la fonte, donner des courbes élégantes aux pièces confectionnées, atteindre des portées dont les proportions impriment un caractère tout spécial aux constructions en fer. Si l'on n'est pas encore parvenu jusqu'au point de créer un style pour ce genre de construction, du moins on peut constater la tendance générale à donner aux monuments en fer un cachet de plus en plus artistique.

Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur les applications de ce genre datant de diverses époques. Le puits de Grenelle, plus anciennement la fontaine aujourd'hui disparue du Château d'Eau, à Paris, les lions qui flanquent la façade de l'Institut, sont des monuments d'un aspect parfaitement ridicule, soit comme œuvre principale, soit comme accessoires décoratifs. Ils dénotent en même temps le peu de domination qu'on avait alors sur la matière à travailler. Cette remarque s'applique surtout au travail, étonnant pour l'époque, qui fut entrepris afin de remplacer par une flèche en fonte moulée la flèche en bois qui dominait la cathédrale de Rouen. En 1829, cette œuvre fut interrompue, tant on avait la crainte d'avoir outrepassé les facultés de résistance du métal.

Que l'on considère ensuite les Halles centrales de Paris, ce modèle non encore surpassé, les gares de chemins de fer, les palais métalliques des expositions de 1851 à Londres, de 1867 et de 1878 à Paris; on reconnaîtra une distance considérable entre ces diverses œuvres.

Ajoutons, pour compléter des exemples variés, les églises Saint-Eugène et Saint-Augustin, tentatives peu heureuses de l'alliance du fer et de la pierre, mais dans lesquelles on reconnaît du moins de grands efforts

pour s'éloigner des lignes géométrales jusqu'alors réservées au fer dans la construction.

Rien qu'au point de vue architectural, le fer est évidemment destiné à stigmatiser le style de notre siècle; jusqu'ici l'on ne s'est réellement attaché qu'à profiter des avantages positifs offerts par son emploi : c'est-à-dire l'économie, l'aspect léger, la rapidité d'exécution, la solidité.

Si le fer n'a pas encore pris une place prépondérante dans les œuvres architecturales, en revanche, il se met au premier rang par son utilité dans les constructions urbaines. Jamais, on peut dire, le bois n'eût pu satisfaire aux exigences occasionnées par la transformation de nos grandes villes. Rare déjà au point d'être un sujet d'inquiétude pour nos approvisionnements futurs, il eût été impossible d'élever les innombrables constructions de Paris, de Marseille, de Lyon, etc., s'il avait fallu demander au bois la charpente nécessaire.

Le fer fournit aujourd'hui non seulement tous les planchers, mais la charpente de la toiture, les piliers des magasins; on l'a substitué aux pans de bois pour les travaux à bon marché.

Après avoir amoindri le rôle du charpentier, il tend à diminuer celui du menuisier; l'on fabrique maintenant en fer, soit moulé, soit assemblé, quantité de fenêtres, de lucarnes et de baies ornées de tout genre.

L'ingénieur a trouvé aussi en lui une précieuse ressource pour ses travaux les plus délicats : les pilotis, dont l'emploi est indispensable dans les sols trop peu consistants, se remplacent avec avantage par les pieux à vis. Cet engin est une vis colossale, entièrement en fer, qu'on enfonce en terre au moyen d'un double levier et de cabestans. A la rapidité du travail, à la solidité, se joint encore le pouvoir de descendre aussi profondément que besoin est : l'ingénieur supprime l'ébranlement des terrains environnants, ébranlement inévitable avec les pilotis et plein de dangers dans le voisinage des constructions; en outre, la pièce à vis peut être déplacée, le pilotis ne le peut pas.

C'est encore et toujours grâce au fer que nos services urbains les plus essentiels peuvent être assurés et propagés, car c'est lui qui nous fournit les innombrables conduits nécessaires à la circulation, à la distribution de l'eau et du gaz, depuis les faibles tubes en fer étiré qui amènent la lumière dans nos appartements jusqu'aux conduites de 1 m. 25 de diamètre qui servent d'artères à cette circulation. Nous lui devons aussi les communications faciles dans les grands centres de population; sous le sol de nos rues, à côté de l'eau et du gaz, existe un double réseau de conduites en fonte qui renferment les fils télégraphiques ainsi protégés contre toute détérioration, ou qui laissent glisser, à l'intérieur de leurs parois hermétiquement closes, les petites boîtes servant au transport pneumatique des lettres et des dépêches.

VI

LES PRODUCTEURS — CONCLUSION

Si nous ne devons restreindre encore cette courte étude, nous arriverions à la compléter en faisant passer sous les yeux du lecteur un tableau complet des grandes usines qui tiennent le premier rang dans chacun des pays produisant le plus de fer.

Leur histoire, depuis leur origine jusqu'au moment actuel, nous donnerait la clef de plus d'un problème social et économique; en la traçant, l'on verrait se dérouler sous les yeux le tableau des mœurs particulières des métallurgistes. L'on comprendrait mieux leur condition matérielle et morale; l'on se ferait une idée probablement fort nouvelle de ces populations ouvrières, dont l'existence ne se révèle guère à la foule

que dans les moments d'effervescence et sous son jour le moins avantageux. Une simple esquisse, en pareil cas, serait aussi fautive qu'incomplète; car cette condition varie selon la nationalité, la contrée, et elle exerce une influence considérable sur le prix du produit, par conséquent, sur le résultat économique.

Si nous ne craignons d'effrayer par la présentation d'une statistique dont les chiffres imposent toujours au lecteur quelques efforts intellectuels, nous pourrions préciser la place de chaque nation dans la production industrielle du fer et classer en quelque sorte la prépondérance de chaque peuple. Quelques données sommaires suffiront pour les principales puissances.

Le fer, qui vient de nous occuper, a amené en 1880, la production de 17,606,000 tonnes de fonte, de 7,179,000 tonnes de fer et de 4,365,000 tonnes d'acier, en tout 29,150,000 tonnes de métaux. Cette masse énorme se répartit fort irrégulièrement.

L'Angleterre vient en première ligne comme producteur, car elle produit à elle seule à peu près la moitié de ce que produit le monde entier, elle a fait :

7,721,843 tonnes de fonte,
1,950,000 tonnes de fer,
1,780,000 tonnes d'acier,

au total : 11,451,843 tonnes.

Les États-Unis, qui viennent après, ont donné :

3,895,939 tonnes de fonte,
2,115,629 tonnes de fer,
1,267,090 tonnes d'acier,

au total : 7,278,658 tonnes.

L'Allemagne est au troisième rang, avec

1,965,000 tonnes de fonte,
1,069,570 tonnes de fer,
478,480 tonnes d'acier,

au total : 3,513,050 tonnes.

La France n'occupe que le quatrième rang, et a donné :

1,725,293 tonnes de fonte,
 965,751 tonnes de fer,
 388,894 tonnes d'acier,

au total: 3,079,938 tonnes.

La Russie, qui tint longtemps le second rang et produisait presque autant que l'Angleterre, n'a plus donné que

431,447 tonnes de fonte,
 267,913 tonnes de fer,
 356,424 tonnes d'acier,

au total: 1,055,784 tonnes.

La Suède et la Norvège, dont nous avons fait connaître la situation particulière, n'ont point développé leur fabrication autant que les autres nations du continent. N'usant que peu ou point de la houille, ces pays s'en tiennent au traitement de leurs excellents minerais, et ne livrent guère à l'étranger que l'excédent de leurs besoins. Les statistiques ne fournissent pas à leur égard de renseignements suffisants pour avancer des chiffres dignes de foi.

Après viennent, en ne tenant compte que du chiffre brut de la production, la Belgique, le Luxembourg, l'Autriche, la Hongrie, l'Espagne.

Les prix auxquels chaque pays obtient ses produits offrent aussi un sérieux intérêt.

Dans le Luxembourg, la fonte revient à 44 fr. la tonne.

En Belgique,	d°	61	d°
En Angleterre,	d°	62	d°
En Allemagne,	d°	66	d°
En Hongrie,	d°	91	d°
En France,	d°	93	d°
En Autriche,	d°	119	d°
En Espagne,	d°	135	d°

La tonne de fer revient à	170 fr. en Belgique.
d°	175 fr. en Allemagne.
d°	190 fr. en Angleterre.
d°	230 fr. en France.

La tonne d'acier coûte 314 francs la tonne chez nous, tandis que l'Allemagne produit le précieux métal à 287 francs. L'Angleterre est également plus favorisée que nous.

De ce qui précède ne pourrait-on pas conclure que les États les plus petits, les moins exposés aux guerres, sont aussi ceux qui peuvent produire à meilleur compte les engins de guerre? Affranchis des charges qu'entraîne cette plaie de l'humanité, leurs conditions d'existence sont plus faciles, les exigences moins grandes, et le salaire peut rester inférieur à celui de leurs voisins, tout en assurant aux ouvriers des conditions d'existence plus aisées.

Du premier coup d'œil, on s'aperçoit que notre pays serait forcé d'abandonner l'industrie métallurgique, si des droits protecteurs ne venaient rétablir l'équilibre entre nos industriels et leurs concurrents. Par contre, nous pouvons penser aussi que nous serions en mesure de lutter moins désavantageusement, si nous avions des conditions sociales moins difficiles, des impôts moins lourds à payer.

En tenant compte de l'étendue territoriale et de la population, les rangs se modifient beaucoup, quant à la puissance de production. La Belgique et le Luxembourg prennent la tête; puis l'Angleterre vient ensuite, l'Allemagne occupe le troisième rang; les États-Unis suivent d'après le chiffre de la population, mais ils occupent la dernière place, même après l'Espagne. Pour la production comparée à l'étendue territoriale, la France ne vient plus qu'au cinquième rang.

Notre production nationale est fort inégalement répartie et ne correspond nullement, comme on serait tenté de le croire, à la situation des gisements de minerais. Les gisements de combustible influent da-

vantage sur la production locale : les départements du Nord, de Saône-et-Loire, du Gard, de Meurthe-et-Moselle, fournissent à eux quatre 62 0/0 de la fonte obtenue en France. L'Ardèche, l'Allier, la Haute-Marne, le Rhône, la Loire et le Pas-de-Calais viennent ensuite, chacun avec plus de 50,000 tonnes de produits.

Certains d'entre eux s'appliquent surtout à la fabrication du fer; ce sont : le Nord, la Haute-Marne, la Loire, les Ardennes, la Saône-et-Loire, qui donnent les six dixièmes des fers français. La Meurthe-et-Moselle, l'Oise, l'Allier, la Seine, le Gard, sont, après eux, les plus forts producteurs.

La production de l'acier par l'emploi des procédés Bessemer a lieu principalement dans la Loire, qui en fournit à elle seule 116,000 tonnes, presque le tiers de la production nationale. Les départements de Saône-et-Loire, du Gard et du Nord sont, après la Loire, les plus importants producteurs.

A tous ces travaux, qui se résument par une mise en valeur de 500 millions de francs, concourent un peu plus de 59,000 ouvriers de tout genre.

C'est le pain de ces nombreux travailleurs, c'est la fortune d'une industrie importante que le bon choix des méthodes et des matières permet de défendre contre la concurrence écrasante de l'étranger. Nous avons vu que la France produisait chèrement son métal, et que l'exportation lui était devenue presque impossible. Disons aussi que la France devrait compter comme nulle l'exportation de sa métallurgie, si elle n'avait pris le premier rang dans les constructions métalliques destinées à l'étranger.

Dans la France continentale, nous avons à constater une diminution dans le nombre des bras occupés au travail du fer, malgré le grand développement de la production. Il en faut voir la cause dans l'emploi de plus en plus étendu des minerais algériens et dans l'extension des méthodes rapides et puissantes, sans lesquelles peu d'usines peuvent subsister aujourd'hui.

Mais cette diminution ne prouve absolument rien.

Comme toutes les autres, l'industrie métallurgique est soumise et sujette à des phénomènes économiques dont les lois, pour peu définies qu'elles soient encore, n'en sont pas moins inéluctables.

On a vu les plus grandes usines actuelles du monde avoir les débuts les plus difficiles et n'aboutir qu'à des échecs éclatants, malgré les conditions exceptionnelles qui réunissaient au même point le combustible et le minerai, malgré la direction la plus habile, malgré la facilité de la main-d'œuvre. C'est l'histoire de notre grande usine du Creuzot, de l'usine Cockerill en Belgique, et de plusieurs autres. Elles avaient devancé leur temps; l'industrie d'alors n'avait que de rares débouchés; pour mieux dire, il n'y avait pas encore de gros consommateurs, et la production dépassait les besoins. Quand sont venus ces gros consommateurs: qu'on nomme les chemins de fer, les ponts, les navires, etc., il a fallu de gros producteurs: les usines dont nous parlons, puissamment outillées déjà, ont pu satisfaire à ces besoins nouveaux, accroître leurs moyens d'action à mesure qu'abondaient les demandes, se tenir, en un mot, au niveau de la situation qui se créait. De là, une prépondérance qui leur a fait prendre sur leurs concurrents, autrefois plus heureux, une éclatante revanche. Le temps des petites usines, si longtemps prospère, était passé; les fortes industries allaient régner à leur tour.

L'accroissement des besoins ayant développé le moyen de les satisfaire, le consommateur a redoublé d'exigence; le génie des producteurs a su, de son côté, écarter les obstacles s'opposant à la satisfaction de ces exigences. L'intelligence et les moyens d'action du producteur ont été appliqués même à prévenir les désirs de la consommation, c'est-à-dire que les usines se sont progressivement organisées de façon à pouvoir répondre aux productions les plus imprévues. De là, entre les producteurs, une lutte sans terme apparent pour la solution du grand problème industriel: produire au meilleur compte possible. D'où il suit, qu'après

avoir essayé d'effacer ses concurrents par la puissance et la perfection de son outillage, par le choix des méthodes, la situation géographique de son usine, par le bon marché de la main-d'œuvre, le métallurgiste a dû aborder, l'une après l'autre, toutes les autres faces du problème économique.

De nos jours, le bon marché des transports qui, dans ces derniers temps, était la base essentielle sur laquelle reposaient toutes les chances de succès, se trouve compliqué d'une autre question. La perfection et la rapidité des méthodes nouvelles ont tracé aux métallurgistes une double voie. La première est le retour aux entreprises traitant les minerais pauvres et impurs, mais extrêmement abondants et à bon marché. La seconde est basée sur les hauts rendements des minerais particulièrement riches. Or ces minerais, pour nous Français, ne se rencontrent à notre portée que dans les Pyrénées et en Algérie.

Les partisans du premier système recherchent surtout le voisinage du combustible et demeurent dans l'intérieur du pays; les autres tendent, au contraire, à se rapprocher le plus possible du minerai de leur choix; et leurs usines avoisinent la mer, qui leur apporte souvent le combustible avec le minerai. L'avenir dira quelle voie est la plus profitable.

En attendant, l'extension de plus en plus considérable des usages de l'acier dessine un avenir certain où le fer proprement dit sera réduit à un petit nombre d'applications. L'on peut, sans être prophète, calculer déjà le moment où la sidérurgie sera limitée à deux grandes branches de production : la fonte et l'acier.

Qui sait même si, dans un temps donné, l'on ne verra pas se réaliser ce rêve si longtemps caressé par les chimistes : la conversion directe du minerai le plus pauvre en acier ?

A ce moment peut-être, et suivant des craintes plusieurs fois exprimées, aurons-nous épuisé tout à la fois notre combustible et notre minerai. Le vieux monde devra tirer, à grands frais, de contrées plus favorisées

ou restées mortes à la civilisation, les ressources qui lui feront défaut. Suivant toute probabilité encore, les nations maintenant plongées dans les ténèbres de la barbarie devront leur civilisation future aux besoins inassouvis de l'Europe. Mais ces ressources précieuses ne seront, ne pourront être utilisées sur place; elles demeureront toujours l'apanage des nations européennes et, pour préciser, des nations septentrionales.

A juger l'avenir par le présent, nous pouvons parler ainsi. En effet, nous voyons l'industrie sidérurgique rester lettre morte dans des contrées méridionales, telles que l'Espagne et l'Italie, où abonde pourtant le minerai. Le minerai, si abondamment extrait de la Numidie par les Romains, était peu traité sur place malgré l'étendue des forêts.

La production des pays méditerranéens et du Sud, celle de l'Orient n'ont jamais eu et n'ont jamais pu prendre un caractère industriel, en dépit de toutes les tentatives. La raison en est dans l'inaptitude de tempérament des populations méridionales, dans leur difficulté à supporter les hautes températures des forges modernes.

On l'a dit depuis longtemps, et les faits le prouvent tous les jours : les races latines sont appelées à disparaître. Qui sait si le fer n'est point l'instrument choisi par la sagesse providentielle pour amener cette transformation inévitable? non le fer qui tue, mais le fer pesant de toute sa puissance industrielle sur l'avenir des nations?

Pour être moins sanglante, son action n'en serait ni moins profonde ni moins étendue que celle des invasions dans les âges passés.

FIN

TABLE

AVANT-PROPOS.	7
-----------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

HISTOIRE ET PROPRIÉTÉS DU FER

I. — Le passé du fer	13
II. — Le fer dans la nature	18
III. — Propriétés chimiques et physiques du fer.	24

DEUXIÈME PARTIE

LE TRAVAIL DU FER

I. — Les minerais.	40
II. — Les méthodes anciennes.	48
III. — Les méthodes modernes.	37
IV. — La forge catalane.	64
V. — Le haut fourneau.	72
VI. — Les auxiliaires du haut fourneau	87

TROISIÈME PARTIE

LES TROIS ÉTATS DU MÉTAL

I. — La fonte.	95
II. — Le fer.	104
III. — L'acier.	131

QUATRIÈME PARTIE

L'OUTILLAGE MODERNE

I. — L'outillage moderne.	161
II. — Les voies de communication.	171
III. — La marine.	189
IV. — L'armement	200
V. — Les monuments.	205
VI. — Les producteurs. — Conclusion.	208

