

*Le marteau-pilon de 100 tonnes et la presse de 8 000 tonnes, usines Schneider du Creusot, juillet 1914.
La France vient de déloger l'Allemagne de la 1^{ère} place en Europe pour la production d'acier. L'un des motifs de la guerre ? (Larousse mensuel, août 1914).*

L'acier historique

par Gérard Hartmann



Le fer et l'acier

Constitué lors de la formation de la Terre dont il constitue 99 de la masse, le fer existe partout à sa surface à l'état d'oxyde. C'est même le métal dur le plus courant et le plus répandu dans la nature. Dès que les premiers hommes apprennent à faire du feu, ils réalisent des fours et ne tardent pas à y produire du fer. L'âge du fer (qui succède à l'âge du bronze) voit naître les premières civilisations dont il devient le symbole et le vecteur premier. L'archéologie moderne a montré que les anciens Chinois (4500 ans BP), les Egyptiens (4000 ans BP), les Chaldéens, les Grecs et les Romains de l'Antiquité (2500 ans BP) forgeaient, fondaient et soudaient le fer ¹. Son commerce, sous forme d'objets, devait couvrir l'ensemble du continent européen (le fer est la culture de base des Celtes), du Proche-Orient, de l'Asie et des bords de la Méditerranée. Le mot « acier » vient du latin et désigne un fer coupant, « acéré ».

Métal	Température de fusion	Densité	Remarques
Zinc	419 °C	7,10	
Cuivre	1 084 °C	8,93	22 kg/mm ² (1)
Fer	1 500 °C	7,86	
Argent	960 °C	10,5	
Nickel	1 452 °C	8,90	
Plomb	327 °C	11,37	2 kg/mm ² (1)
Acier	0,1 à 1,5 % de carbone		
Chrome	1 515 °C	6,50	
Aluminium	658 °C	2,70	129 Kcal/g (2)
Magnésium	651 °C	1,72	44 Kcal/g (2)
Étain	232 °C	7,29	8 kg/mm ² (1)
Bronze	Alliage de cuivre et d'étain (0 à 35 %)		
Fontes	2,5 à 4,5 % de carbone		
Silicium	Vers 1800 °C	2,4	N'existe pas à l'état libre dans la nature
Manganèse		7,39	

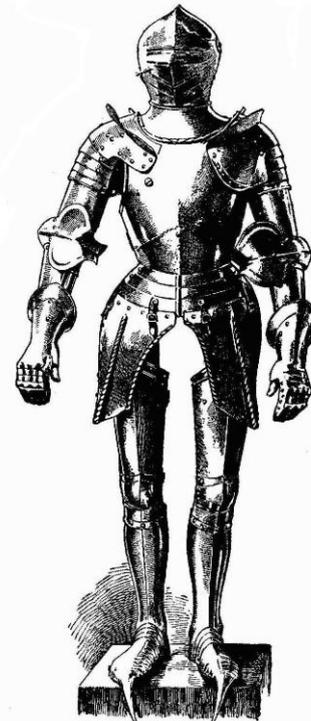
Les métaux de base utilisés dans l'aéronautique.

- (1) charge de rupture
(2) dans une combustion

Pendant des siècles, de l'antiquité aux temps modernes, le fer est produit sous forme malléable à basse température (moins de 900 °C) dans des fours simples (bas foyer) et si on le distingue de l'acier par ses qualités de tranchant, il est produit de la même façon. Au XIIe siècle apparaît près de Liège en Belgique un procédé d'obtention du fer par retraitement (affinage) d'une première fonte, qui donne aussi de l'acier. Le procédé se répand en Styrie et Carinthie (Autriche). Au XIIIe siècle, les Chartreux en Savoie (limite de la France, de la

Suisse, de l'Allemagne et de l'Italie) développent une véritable industrie du fer. L'invasion arabe en Espagne (du VIIe au XIe siècle) permet le perfectionnement de l'industrie du fer ibérique déjà réputé, et qui donne son nom au procédé primitif d'obtention de l'acier : la forge catalane. Le commerce de la fonte et des objets de fer (épées) se répand à travers toute l'Europe au XVe siècle.

Les anciens supputent que l'acier est un fer dur aux molécules réarrangées en rangs serrés. Pour les armes, on recherche à la fin du Moyen Age les meilleurs gisements et certains fondeurs sont connus pour leur art de réaliser des pièces remarquables. Les meilleurs aciers au Moyen age sont ceux d'Espagne (Tolède) et de Syrie (Damas). Les Wallons (limite de la France, de la Flandre, de l'Angleterre et de l'Allemagne) transportent au XVIe siècle leur industrie sidérurgique en Scandinavie.



Plus légère que le fer et plus résistante, la première armure d'acier fut réalisée en Espagne vers 1410.

Au siècle suivant, ce sont les fers d'Allemagne, du Piémont, de Hongrie, de Styrie, puis au XVIIIe siècle ceux de Suède qui donnent le meilleur acier. En France on produit du fer depuis toujours. Au siècle des lumières, à la demande du roi, d'éminents chimistes comme Réaumur (1683-1757), Berthollet et Monge constatant que les meilleurs aciers doivent être importés, les gisements sur notre sol étant très phosphorés, mettent au point par des essais laborieux de nouveaux procédés d'obtention d'acier par cémentation et trempe (1722).

1. Certaines sources attribuent au Grec Glamos (VIIe siècle avant JC) l'invention de la soudure et mentionnent que Théodoros coula une statue d'airain par le procédé de la cire perdue.



Extraction du minerai de fer au XVIIe siècle, selon le minéralogiste allemand Georg Bauer dit Agricola (1494-1555).

Au XVIIIe siècle, aux gisements de l'Ardèche, de la Dordogne, de l'Hérault, du Gard, de l'Indre, du Lot, du Lot-et-Garonne et du Tarn s'ajoutent de nouveaux gisements riches en fer, situés dans le bassin de l'Ouest de la France (Normandie et Maine) et ceux de la chaîne pyrénéenne (Ariège). A la fin du XVIIIe siècle se diffuse un nouveau procédé : l'affinage de la fonte au four à puddler par une scorie basique.



L'ingénieur français Pierre Martin (1824-1915).

C'est au XIXe siècle que les procédés industriels d'obtention du fer et de l'acier font leur apparition, avec l'affinage par air pulsé (pneumatique) inventé en 1855 par l'ingénieur Anglais Henry Bessemer², l'affinage au four à air pulsé et à gaz de Wilhelm von Siemens (1823-1883)³

2. Bessemer met au point son invention dans ses usines de Sheffield.
3. Wilhelm von Siemens est le frère de Werner von Siemens, le fondateur de la société qui porte son nom.

inventé en 1858, puis l'affinage déphosphorant mis au point en 1876 par l'Anglais Sidney Gilchrist Thomas (1850-1885), qui permettent à la fois de couler de gros lingots, de produire massivement le fer et l'acier, et surtout d'effacer le handicap des fers français, très phosphorés et impropres à la production d'acier. En 1865, l'ingénieur français Pierre Martin (1824-1915) améliore le procédé Siemens avec un four à sole montant à 1700°C fusionnant de la fonte et du minerai de fer et des ferrailles de rebut. Avec les convertisseurs Thomas et Martin, la production de fer et d'acier en Europe fait aussitôt un bond en avant spectaculaire (voir tableau page 9).



Sir Henry Bessemer (1813-1898).

Dès le milieu du XIXe siècle, les économistes remarquent que les pays producteurs de fer sont aussi les plus riches : Etats-Unis, Allemagne, Angleterre et France. Sans le fer, que seraient les outils, les machines à vapeur, le réseau ferré, les ponts, les superstructures des grands magasins et des halles modernes, l'automobile ? La marine de guerre impose le fer après la guerre de Crimée (1853-1856). Utilisé dans l'armement, dans les moteurs à vapeur et à essence, l'acier devient un matériau stratégique. Auteur à succès, Jules Verne comprend et dénonce l'hégémonie du fer et ses applications militaires dans son roman *Les 500 millions de la Béguin*.

Date	En milliers de tonnes	Prix à la tonne (sur place)
1840	1 000	15,0 F
1878	2 470	12,0 F
1890	3 500	10,50 F
1910	14 600	4,62 F
1911	16 639	4,53 F
1912	19 000	4,27 F
1913	21 714	3,95 F

Production française de fer. (Source : Larousse de l'industrie).



Par suite des investissements lourds réalisés dans l'extraction du minerai, la production mondiale de minerai de fer passe de 28 millions de tonnes en 1870 à 139 millions de tonnes en 1913. Les pays développés se couvrent de hauts-fourneaux. En 1910, la France devient le quatrième pays extracteur et producteur de fer au monde, derrière les Etats-Unis, l'Allemagne et la Grande-Bretagne (Irlande comprise), devant la Russie, l'Espagne et la Suède. Sa production étant basée à 90 % sur les minerais phosphoreux (1,70 % de phosphore par rapport au fer) venant en totalité du bassin de Lorraine (ouvert en 1859), il est nécessaire de les traiter au four Thomas. C'est la raison pour laquelle la France ne produit en 1910 que huit fois moins d'acier que les Etats-Unis, quatre fois moins que l'Allemagne, deux fois que la Grande-Bretagne et doit importer de l'acier d'Allemagne, d'Espagne et de Suède pour l'industrie automobile et l'aviation naissante (tableau page 6).

En 1910, les Etats-Unis produisent 27,4 millions de tonnes de fonte et mieux, fabriquent 36,5 millions de tonnes de fer et d'acier. Avant 1910, le fer est prépondérant, ensuite c'est l'acier qui est recherché.

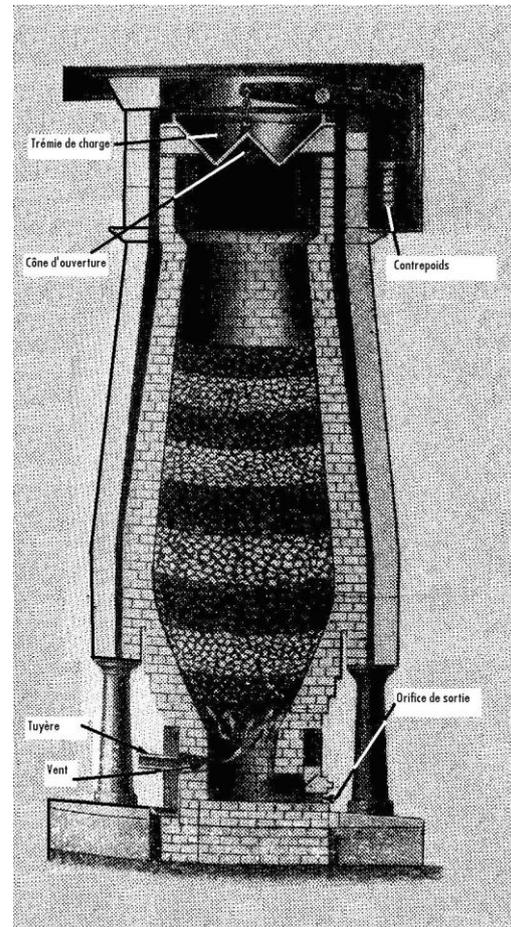
Fabrication de l'acier

L'acier est un alliage de fer et de carbone (ce dernier à l'état de carbure de fer). La teneur en carbone variant de 0,1 à 2 %, (ce qui fait varier complètement les caractéristiques) on devrait en fait parler d'aciers (au pluriel).

Historiquement, sa fabrication fut longtemps un « secret » d'alchimiste, voire un secret d'Etat. L'acier possède un ensemble de propriétés mécaniques remarquables : une forte résistance à la traction et aux chocs, une bonne élasticité, une excellente dureté, qui lui assurent des emplois de plus en plus nombreux. Au cours du XXe siècle, l'acier est devenu le produit phare de la grande industrie.

Avant le XIIIe siècle, l'acier est produit artisanalement, presque par hasard, par écrouissage, à la forge, sous certaines conditions de pression et de température. Le fer des épées est plus généralement durci par la trempe (eau ou huile) ou plongé dans des copeaux de corne.

Dans le procédé des forges catalanes, le minerai de fer réduit par l'action du charbon de bois donne de la fonte, du fer et de l'acier, mais il est impossible d'isoler ces produits qui sont mélangés. L'acier est présent dans la partie la plus chaude de l'appareil, là où arrive l'air.

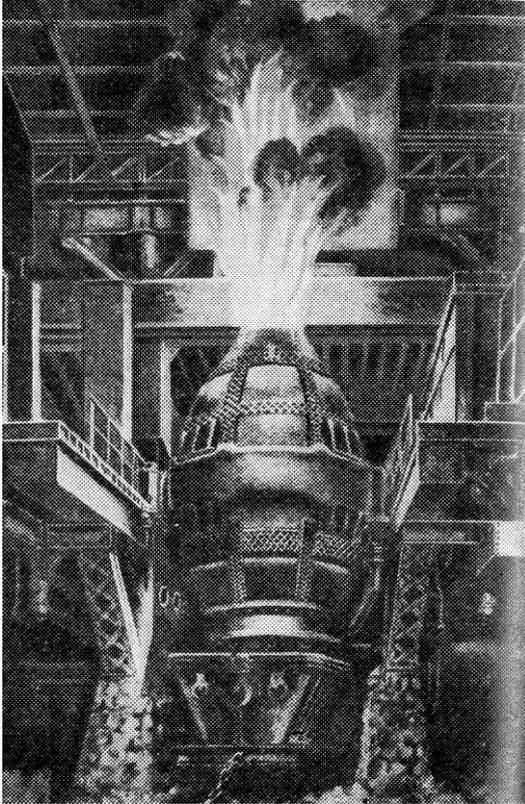


Structure d'un haut fourneau. (Grand mémento encyclopédique Larousse 1930).

Avec le haut fourneau, on n'obtient plus que de la fonte, qu'il est nécessaire de décarburer par une opération d'affinage dans un autre appareil (four bas foyer). Au XVIIIe siècle et dans la première partie du XIXe siècle, donc avant l'invention des convertisseurs Bessemer, Tho-



mas et Martin, l'acier est obtenu par cémentation⁴, ou encore au creuset⁵, ce qui exige beaucoup de temps, d'énergie, de ressources humaines et s'avère coûteux, d'où une très faible production et un prix de vente élevé.



Convertisseur de fonte en fer et acier du type Bessemer.

Convertisseur Bessemer

Dans le procédé Bessemer, la fonte liquide est introduite dans le convertisseur (grande cornue en tôle épaisse revêtue intérieurement de briques réfractaires siliceuses capables de résister à 500 opérations). Le bas est traversé de bas en haut par un courant d'air froid sous pression, et l'oxygène de l'air diminue progressivement la teneur en carbone de la fonte, brûle les impuretés et convertit celle-ci en acier. L'air étant froid, la fonte traitée doit être riche en silicium (sable), car c'est surtout de l'oxydation de ce corps que résulte la chaleur nécessaire à

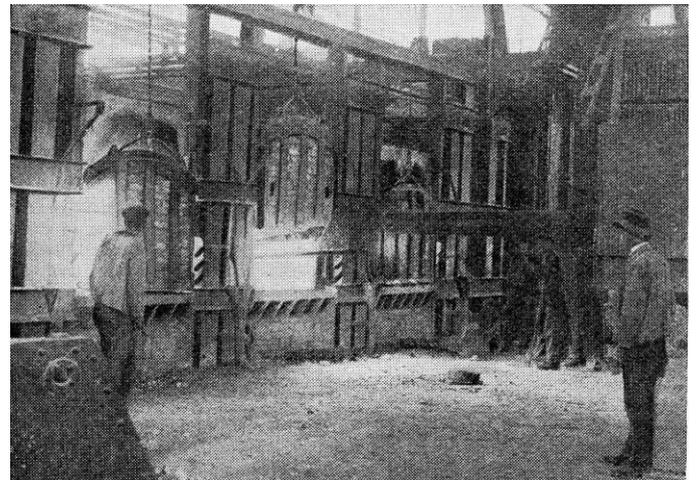
l'affinage. Le bain est ensuite recarburé au degré voulu par une addition de fonte manganésée.

L'acier Bessemer exige des fontes pures, non phosphoreuses, ce qui ne convient pas au minerai de fer français lorrain (90 % de la production). Aux Etats-Unis et en Angleterre, il constitue le tiers de la production d'acier.

Convertisseur Thomas

Dans le procédé Thomas, l'élaboration de la fonte en acier est analogue à celle qui s'opère dans le convertisseur Bessemer, mais le garnissage acide est remplacé par un garnissage basique formé de briques réalisées en malaxant, avec 10 % de goudron, de la dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie). On charge 15 % du poids du bain de chaux pour produire une scorie très calcaire. La fonte doit être pauvre en silicium sinon, le garnissage magnésien est attaqué. La vente des scories phosphatées comme engrais vient compenser le prix du garnissage.

L'acier Thomas représente 60 % du total produit en France en 1913 et 70 % en 1930. Il permet d'utiliser les minettes phosphoreuses de Lorraine. Le procédé est répandu en Allemagne et ignoré aux Etats-Unis.



Les fours Martin de l'usine d'Hagondange en pleine activité, vers 1910.

Four Martin

Dans le procédé Martin, qui se répand en France après 1864, la transformation de la fonte en acier a lieu non pas dans un convertisseur mais dans un four à réverbère du type Siemens, d'abord utilisé pour la fusion des déchets d'acier : c'est l'affinage sur sole. Deux méthodes sont employées : par oxydation et par dilution. Par oxydation, l'oxygène est fourni par le minerai ; plus oxydable que le fer, le carbone est éliminé par la température élevée obtenue. Par dilution, on ajoute un peu plus d'une tonne

4. A cette époque, l'acier était obtenu en partant du fer ; au lieu de décarburer la fonte, on carburait le fer par ajout de 0,5 à 1,5 % de carbone.
5. Les métaux qu'on doit fondre sont placés dans un creuset d'argile ou de graphite, à l'abri de toute oxydation. Un même four peut contenir 24 ou 48 creusets de 50 kg. La durée de la fusion varie de 4 à 8 heures. Le prix de l'acier au creuset dépasse de douze fois le prix de l'acier Martin. Les aciers au creuset ne sont employés que pour des applications limitées : ressorts, essieux, arbres droits pour automobiles ou avions, outils tranchants.

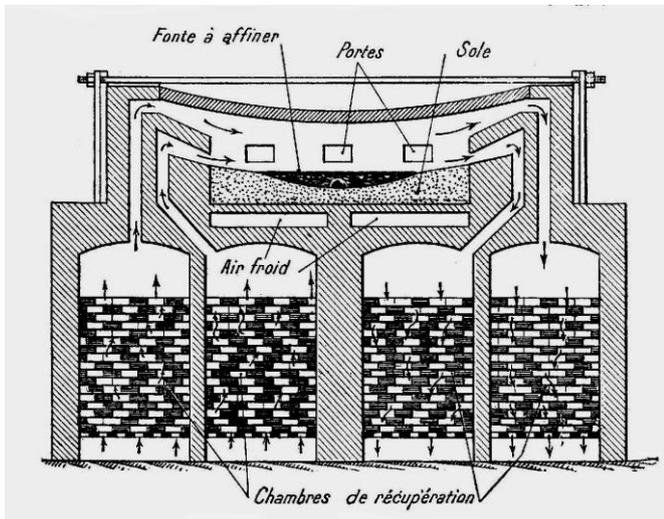


de ribons⁶ à une tonne de fer. Le carbone de la fonte se trouve alors réparti entre une plus grande masse d'éléments et ne subsiste dans l'acier qu'à un faible degré. Les deux méthodes peuvent être combinées. L'épuration se prolonge sur 5 ou 6 heures et peut porter sur 50 tonnes de métal à la fois.

Le garnissage de la sole du four est tantôt acide, tantôt basique, c'est-à-dire siliceux ou magnésien, selon la nature du métal à traiter.

Ayant dans le gazogène une source propre de chaleur, le four Siemens peut se passer de la combustion propre du phosphore et traiter des minerais moyennement phosphoreux ou purs.

Le four Martin permet d'obtenir du métal de toute nuance (dureté, ténacité, malléabilité) tout en admettant l'affinage de fontes les plus variées. C'est pourquoi l'acier Martin est recherché pour réaliser des pièces supportant des contraintes spéciales : axes, bandages de roues, vilebrequins, etc.



Four Martin. (Grand mémento de l'encyclopédie Larousse 1930).

Produit	1911	1912
Fontes de moulage	823.658	864.546
Fontes d'affinage	641.745	535.783
Fontes Bessemer	96.202	156.741
Fontes Thomas	2.840.539	3.323.968
Fontes spéciales	67.997	68.688
Total des Fontes	4.470.141	4.949.726
Aciers Bessemer	110.923	115.189
Aciers Thomas	2.393.909	2.813.520
Aciers Martin	1.303.652	1.441.072
Aciers au four électrique	28.508	33.907
Total des Aciers	3.837.052	4.403.688

Répartition entre les produits sidérurgiques de la France (année 1913).

Fours électriques

Dans les procédés d'électrosidérurgie, les produits (fonte, fer, aciers et ferro-alliages) sont obtenus dans un haut-fourneau où l'énergie électrique remplace le carbone (charbon de bois ou houille) comme calorique.

En Suède et en Italie, on obtient ainsi des fontes ayant des propriétés voulues, allant ensuite vers un usinage classique. Le fer électrolytique obtenu au four électrique est apprécié pour sa dureté, sa malléabilité et ses propriétés magnétiques. La fabrication de l'acier au four électrique a pris naissance en France en 1900 à la suite des travaux de l'ingénieur et chimiste français Paul-Louis-Toussaint Héroult (1863-1914).

En 1910 la France possède déjà plusieurs dizaines de fours électriques. La production d'acier électrique en 1910 n'est encore que de 20 757 tonnes, mais elle croît rapidement avec les besoins de l'automobile et de l'aviation (moteurs rotatifs) : 28 508 tonnes en 1911, 33 907 tonnes en 1913, 92 338 tonnes en 1918. Malgré ces efforts, en 1913 la France n'arrive qu'après l'Allemagne, 88 781 tonnes, et les Etats-Unis, 30 180 tonnes. La Savoie, à elle seule, en fournit le tiers ; viennent ensuite pour le tonnage la Saône-et-Loire, l'Isère, la Loire, le Puy-de-Dôme et le Tarn.

La IIIe République aime le fer

Quand la France est amputée de l'Alsace et de la Lorraine en 1871, les trois quarts des gisements de houille et 90 % des gisements de fer sont perdus (et passent à l'ennemi). La IIIe République, dès sa constitution (1875) développe des solutions alternatives, en ouvrant de nouvelles concessions minières. En 1878, la production totale de minerai de fer en France n'est que de 2 470 000 tonnes. Le fer et l'acier sont partout : chemin de fer, ponts, bâtiment, marine de guerre, automobile, outillage.

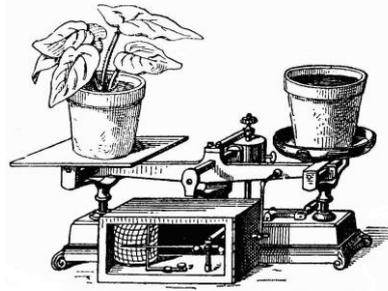


La galerie des machines construite à l'occasion de l'exposition de 1887 et démontée ensuite.

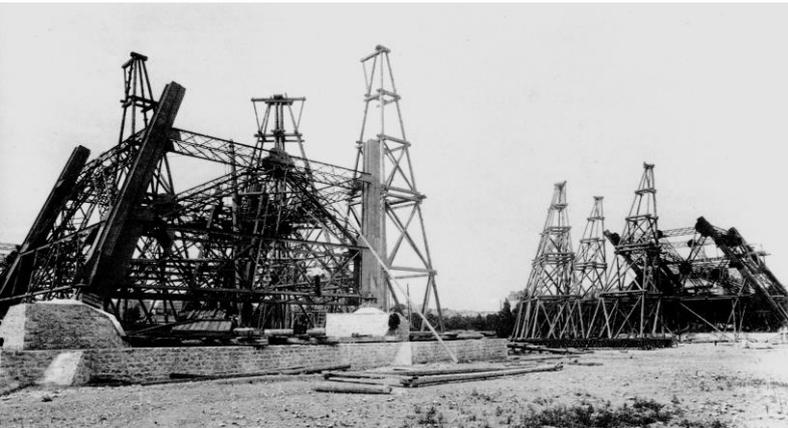
6. Les « ribons » sont des déchets de fer ou d'acier qui proviennent des chutes de découpage des lingots ou de vieilles ferrailles.



Entre les mines de Nancy et le bassin de Longwy, ouverts depuis longtemps, s'étendent les prometteurs bassins de Briey, prolongement des bassins lorrains. Leur découverte, en 1880, et leur ouverture à l'exploitation du fer, en 1882, est bienvenue, mais les hauts fourneaux ne produisent du fer et de l'acier qu'à partir de 1893. Avec une vingtaine de concessions ouvertes (sur 43), on extrait de ce seul site 1 647 000 tonnes de fer en 1904, pour atteindre 4 368 000 tonnes en 1908, 8 511 000 tonnes en 1910 et 12 676 400 tonnes en 1912.

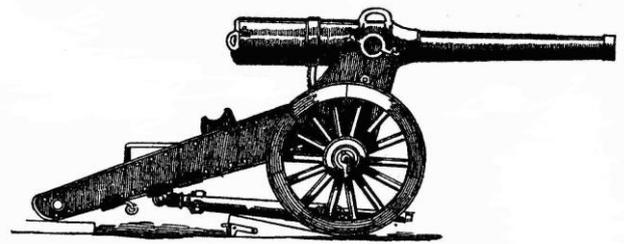


Dans les instruments, le fer remplace de bronze. Balance de précision, 1895.

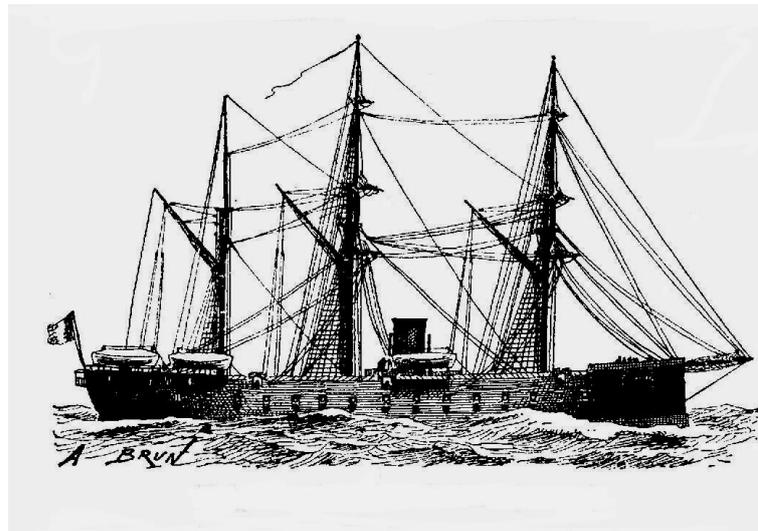


La tour Eiffel en construction, 1887.

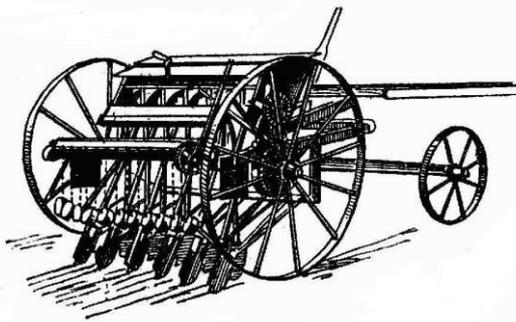
Les principales exploitations du bassin de Briey sont celles d'Homécourt (1 705 000 tonnes en 1910), d'Auboué (1 682 000 tonnes en 1910), de Pienne (844 000 t), de Moutiers (787 000 t), de Londres (780 000 t), de Tucquegnieux-Bettainvilliers (697 000 t), de Joeuf (538 000 t). Plus de la moitié du minerai de fer extrait est traité sur place par des usines sidérurgiques, le reste étant exporté en Belgique et en Allemagne.



L'un des premiers canons en acier, une pièce de siège, 1890.

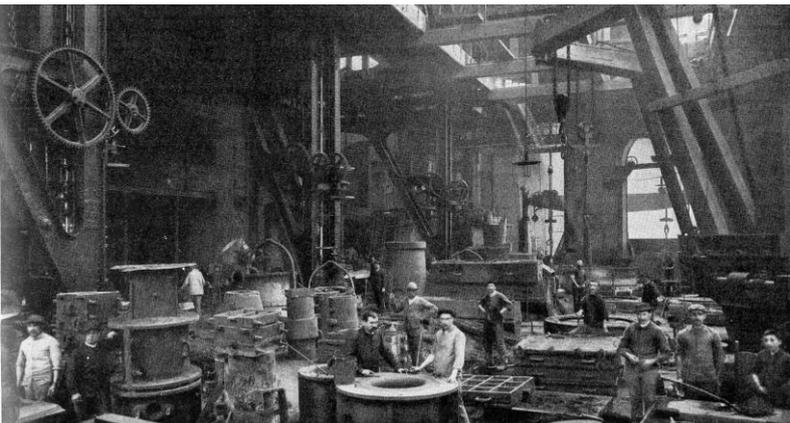


Frégate blindée de la marine de guerre française La Gloire, 1890.



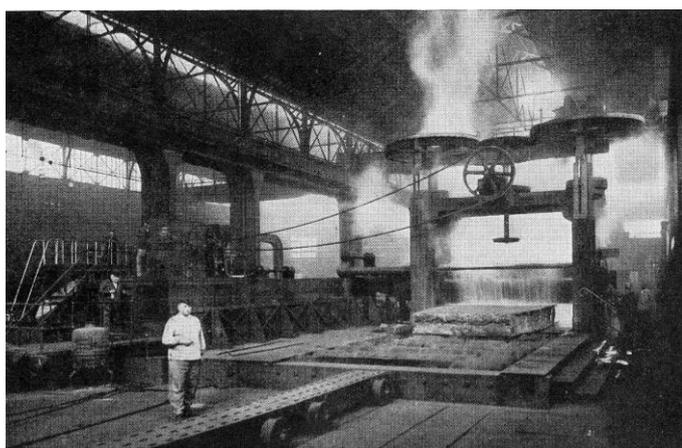
Que serait l'agriculture sans le fer ? Semoir attelé, vers 1890.

Les 23 exploitations du bassin de Nancy fournissent deux millions de tonnes de minerai en 1910, le district de Longwy, avec ses 13 exploitations donnant 2 608 000 tonnes. On extrait du minerai de fer phosphoreux des mines de Mondalazac (Aveyron), 53 000 tonnes en 1910, celles de Mazonay et Changé (Saône-et-Loire) en produisant 45 000 tonnes.

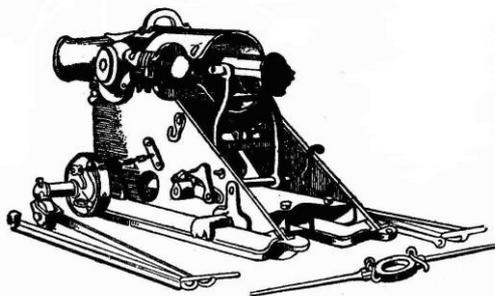


Atelier de fonte du fer au Creusot, vers 1900. Les Fonderies royales ont été créées au Creusot le 18 décembre 1781.

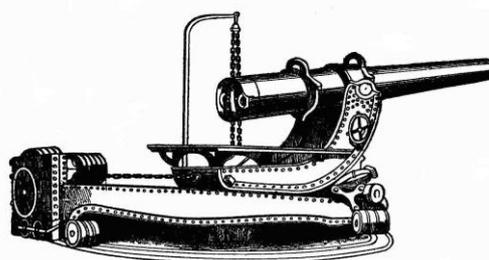
On exploite le minerai moyennement phosphoreux dans le Calvados, dans l'Orne, la Loire-Inférieure, la Haute-Marne, près d'un million de tonnes en 1910. Bien que les concessions accordées soient récentes (après 1975), le bassin normand produisait du fer depuis l'Antiquité⁷. La concession la plus ancienne du Calvados est celle de Saint-Rémy, datant de 1875. Celle de Habouze dans l'Orne date de 1884. Avec ses districts de Caen, falaise et Saint-Rémy, le Calvados voit passer sa production de minerai de fer de 40 000 tonnes en 1875 à 240 000 tonnes en 1910. Plus récemment concédés, les puits de l'Orne donnent 340 000 tonnes en 1910. En ajoutant la Manche aux deux autres départements, la Normandie (30 concessions) produit 202 500 tonnes en 1903, 426 000 tonnes en 1908 et 620 000 tonnes en 1913. Les deux tiers de ces minerais sont exportés par Granville et Caen en Angleterre et en Allemagne, le restant étant converti en fer et acier dans les usines françaises du Nord.



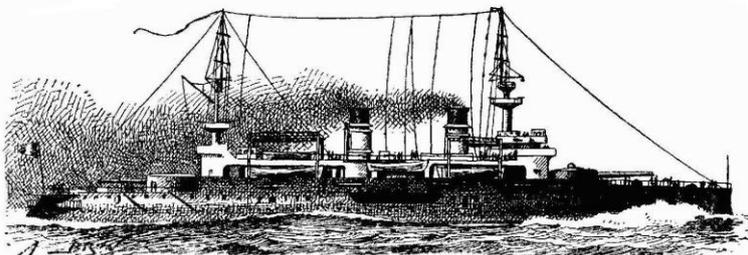
Train à blindages aux aciéries de Saint-Chamond, 1910.



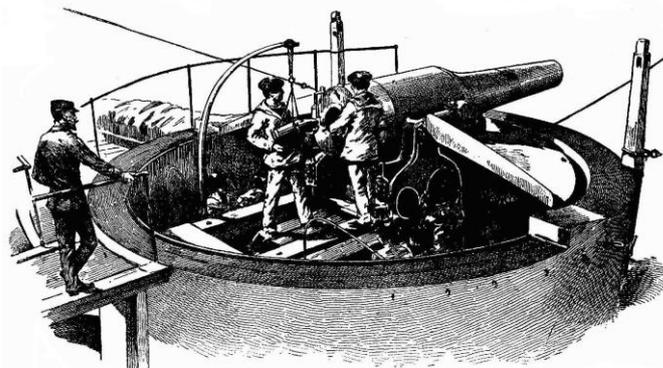
Obusier de 200 mm en acier, 1897.



Canon en acier de marine de 240 mm chargé de la défense des ports, vers 1905.

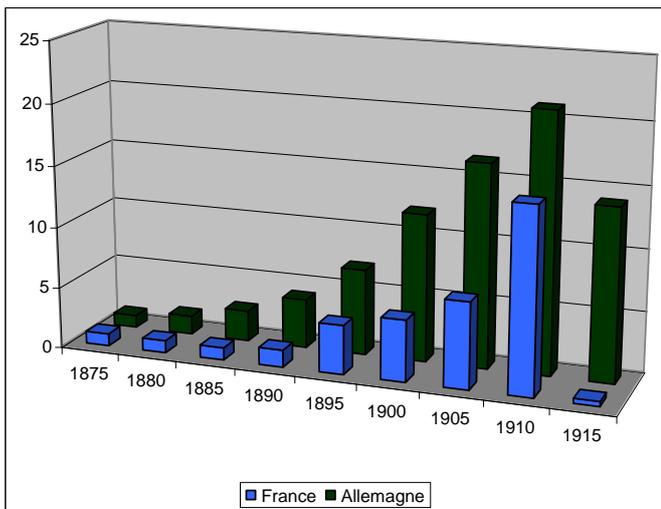


Cuirassé d'escadre Charlemagne, 1895.



Pièce d'artillerie de 240 mm de la marine de guerre française, 1900.

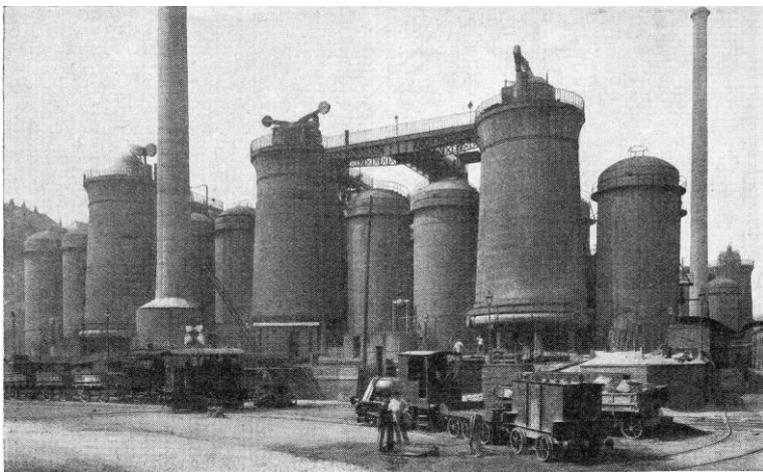
7. L'archéologie moderne a prouvé qu'à l'époque de la domination romaine, les Gaulois exploitaient déjà les mines de fer du Calvados. Les fourneaux étant alimentés au charbon bois, ils furent abandonnés par manque de combustible.



Production annuelle de fer, en France et en Allemagne. (Source : Larousse industriel, août 1914).

Il existe encore des exploitations en Basse Bretagne et en Anjou, fournissant dans le Maine-et-Loire 92 400 tonnes de minerai de fer riche en magnétite, l'Ille-et-Vilaine et la Loire-Inférieure produisant 186 700 tonnes d'hématite brune en 1910.

Enfin, on a ouvert des concessions dans les Pyrénées-Orientales (310 000 t en 1910), dans le Gard (38 000 t), dans l'Aude, dans l'Indre, le Tarn et le Var qui produisent du minerai pur.



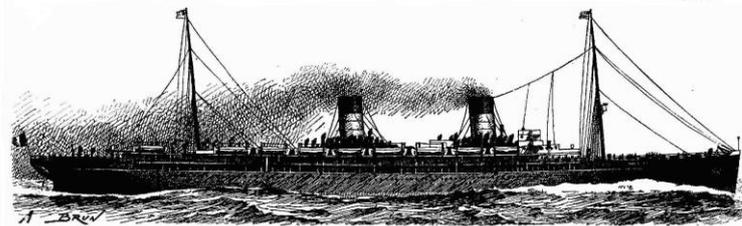
Les hauts fourneaux des usines du Creusot, 1914.

Malgré ses efforts en matière d'exploitation minière et de sidérurgie, la France doit importer de 1875 à 1905 du minerai, du fer et de l'acier. L'Allemagne lui fournit 800 000 tonnes de minerai en 1910, l'Espagne 400 000 tonnes, 79 000 tonnes sont venues de pays plus distants et 41 000 tonnes d'Algérie. Handicapée par ses procédés sidérurgiques longs et coûteux, le doublement de la production de minerai de fer de la France entre 1900 et 1910 ne s'est pas traduit pas un doublement de la production de fer et d'acier.

Le nombre de hauts fourneaux s'est réduit de 290 en 1869 à 117 en 1910, mais ils sont

maintenant gigantesques, 500 mètres cubes, 25 m de haut et produisent à l'unité 200 t de fonte Thomas par jour.

En 1910, la France ne produit que quatre millions de tonnes de fonte, contre seize millions à l'Allemagne et 32 millions de tonnes aux Etats-Unis, et plus de trois millions de tonnes d'aciers divers, cette production passant à 3,8 millions de tonnes en 1911, 4,4 millions de tonnes en 1912 et 5,5 millions de tonnes en 1913. Le département de Meurthe-et-Moselle produit à lui seul les trois quarts de la fonte et la moitié de l'acier consommé en France. La France en 1910 compte 10 départements sur 90 ayant des hauts fourneaux en feu. Toute la région de l'est trouve dans la métallurgie sa principale source de richesse.



Paquebot Savoie, 1901, de construction entière métallique.

Pays	Production	Valeur	Prix moyen
France	14 606	67 510 000	4,62 F
Algérie	1 065	11 852 000	11,13 F
Tunisie	333	4 438 000	13,33 F
Grande-Bretagne	15 470	101 441 000	6,56 F
Allemagne	22 446	103 904 000	5,67 F
Luxembourg	6 263	17 464 000	
Belgique	123	567 000	4,61 F
Autriche	2 760	Non communiqué	Nc
Hongrie	1 906	Nc	Nc
Italie	551	7 619 000	13,82 F
Russie (1908)	5 400	39 364 000	8,35 F
Suède	5 553	1 708 000	23,08 F
Norvège	47	45 503 000	5,18 F
Espagne	8 650	4 920 000	9,26 F
Grèce	585	496 665	9,18 F
Etats-Unis (1909)	50 900	5 725 000	5,61 F
Canada	1 020	1 206 000	24,80 F
Australie	38	418 000	4,92 F
Indes	85	Nc	Nc
Pays divers	706	Nc	nc

Production de minerai de fer dans les principaux pays développés en 1910, en milliers de tonnes. (Source : statistique de l'industrie minière).

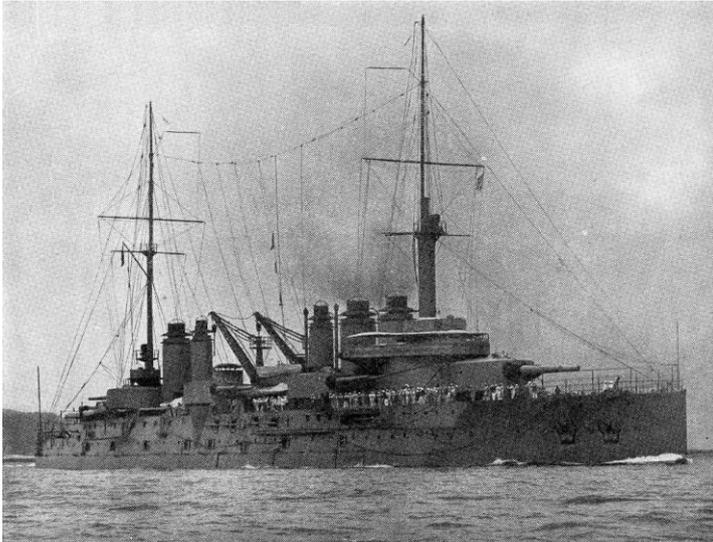
Proche de la construction navale, le bassin de Normandie vit à l'heure de l'acier. Une importante usine avec hauts fourneaux, four à coque, aciéries et laminiers est en construction



avant le début de la guerre à Ouistreham près d'Hérouville.

L'acier dans la guerre

La IIIe République a rendu légal la vente d'armes de guerre (loi du 19 juin 1871), leur importation et leur exportation. La loi du 14 août 1885 a autorisé, sous certaines conditions, le négoce d'armes de guerre lourdes (artillerie).

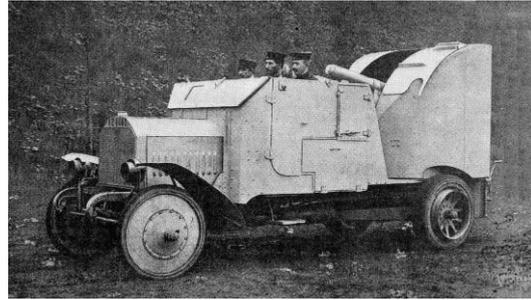


Le Danton, l'un des six cuirassés français de 18.000 tonnes entrés en service en 1911 et 1912. Il possède un blindage en acier de 18 cm.

Quand prend fin la bataille de la Marne, le 11 septembre 1914, l'Allemagne a conquis dix départements du Nord et de l'Est de la France et mis la main sur 75 % de ses richesses minières (charbon) et sur les bassins de Lorraine et de l'Est, soit 90 % de ses mines de fer ; la France n'a plus de munitions, ni au front, ni dans les arsenaux, pour les canons comme pour les fusils. Le front semblant stabilisé et Paris épargné, le gouvernement décide de faire supporter par ses manufactures le réapprovisionnement en munitions (balles, obus) et par ses industries privées les fabrications nouvelles (camions, aviation). Ces dernières sont placées sous le contrôle d'un administrateur nommé par le ministère de la Guerre.

	Dread-noughts	Cuiras-sés	Croiseurs	Croiseurs blindés
Allemagne	12	24	5	0
Autriche	3	9	0	3
Italie	4	8	0	7
France	4	19	19	14
Angleterre	22	40	9	34
Russie	0	4	0	6
Etats-Unis	8	24	0	14
Japon	2	13	2	13

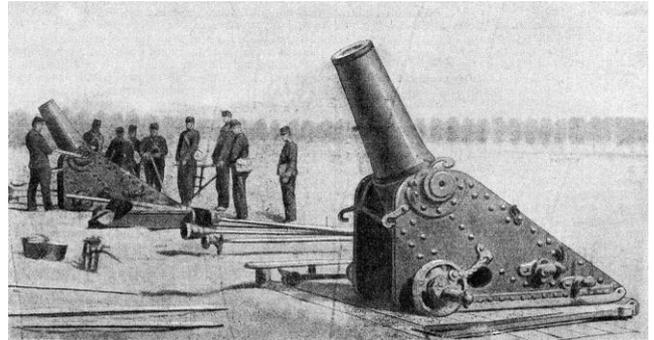
Puissances navales des super-puissances à l'aube de la guerre. Les Alliés pensent alors que l'Italie rejoindra les forces de l'axe.



Auto-mitrailleuse blindée allemande, septembre 1914.



Canon de campagne 75 mm français. Hippo-tractés, il est impossible de les déplacer pendant une bataille, les chevaux étant totalement affolés.



Mortier français de 220 mm en acier, capables de tirer derrière un obstacle. Ces pièces étaient acheminées au front par voie ferrée.



Canon de campagne français de 120 mm, tracté par un camion, janvier 1915.



Les armes sont fabriquées en France dans les manufactures d'Etat sous le contrôle d'officiers d'artillerie à Saint-Etienne, Châtelleraut (Lebel), et Tulle pour les fusils, Bourges pour les canons, Puteaux pour les mitrailleuses, Châtelleraut pour les armes blanches (baïonnettes). En 1914, les fusils et les mitrailleuses sont produits mécaniquement et toutes les pièces sont volontairement rendues interchangeables.

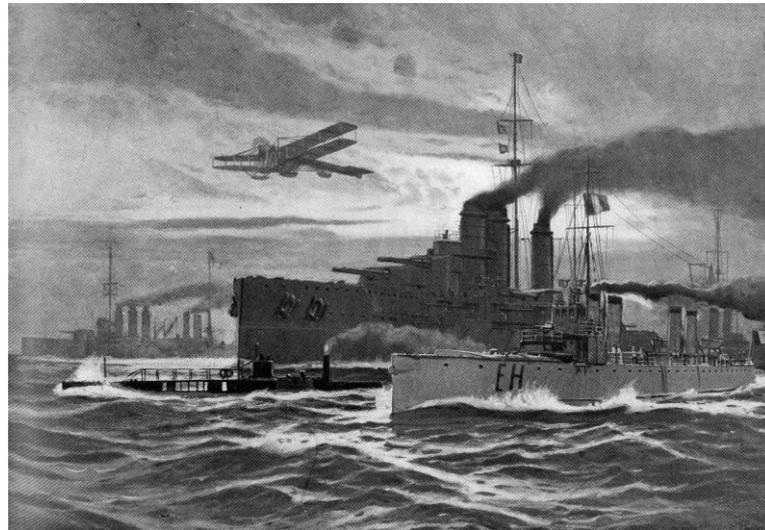


Capture d'un mortier allemand à Ypres (Belgique), 1915.

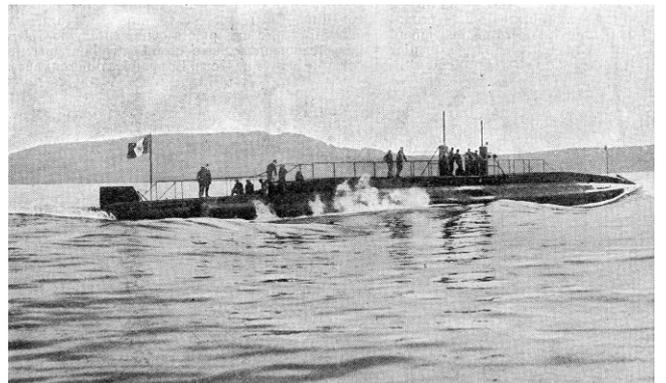
Les hommes étant mobilisés au front, la production de fer s'effondre. Les officiers de terrain ayant réclamé en octobre au ministère de la Guerre des moyens aériens pour diriger les tirs d'artillerie, 6 500 avions, 9 000 moteurs d'avion sont commandés. Ces commandes vont s'étaler sur plus d'un an, car manquent deux ressources fondamentales, la main d'œuvre et l'acier.



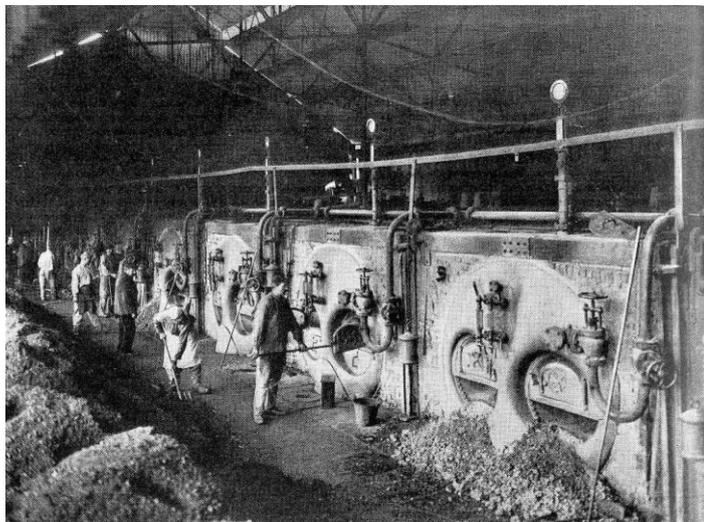
Train blindé anglais utilisé pendant le siège d'Anvers, janvier 1915.



Dessin d'artiste montrant la force française déployée en mer Adriatique.



Le sous-marin français type Laubeuf construit chez Schneider, avril 1915.



Belle rangée de chaudières à vapeur, usines Saint-Marcel à Hautmont (Nord), août 1914.

Il faut plus d'une tonne d'acier pour fabriquer un seul moteur rotatif de 150 kg et 1 800 heures de travail (travaux de forge, fonderie, montage, réception et enlèvement) en 1915 et 1916. Tout au long de l'année 1915, les ouvriers de la construction aéronautique mutés au front sont libérés et retournent travailler dans leur usine, mais le dernier d'entre eux ne sera libéré que fin 1916. En 1915, d'autres commandes

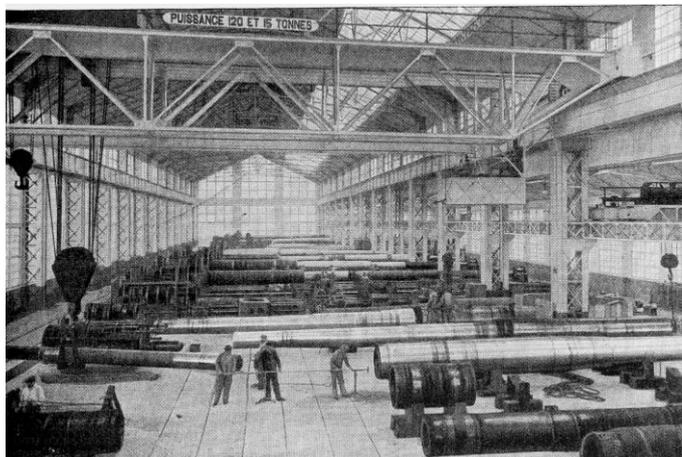


d'aéroplanes sont passées (plus de 9 000 machines et 12 000 moteurs) que les industriels mettront trois années à satisfaire.

Si les moteurs d'automobile se contentent de fonte et d'acier ordinaire, produits très répandus et d'un prix très bas, les rotatifs, de par leur technologie, exigent des aciers Martin (cylindres) et des alliages d'aciers spéciaux (roulements) introuvables et très coûteux.

En 1915 et 1916, les manufactures d'armement, en particulier celles du centre dont les approvisionnements sont toujours possibles, fabriquent jusqu'à 60 canons de tous calibres par jour, jusqu'à ce que ici encore l'acier vienne à manquer.

Le cercle vertueux des ressources nécessaires à l'armée devient un cercle vicieux : pas de charbon pas d'acier, pas d'acier pas de canons et pas de moteurs, pas de moteurs pas d'aviation, et pas de canons et pas d'aviation pas de victoire. Et sans victoire, comment imaginer acquérir de ressource nouvelle ?



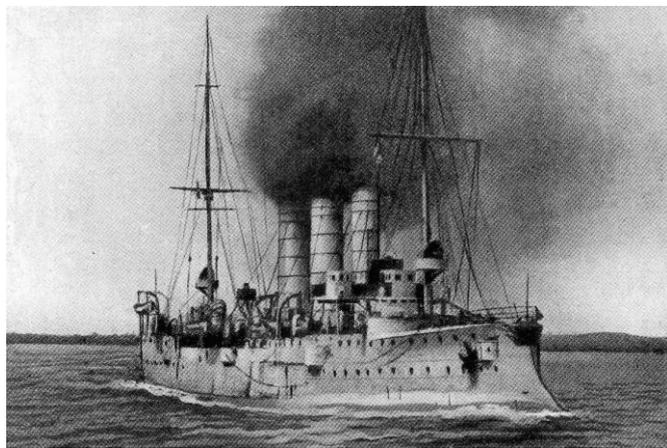
Acieries du Creusot, usine de fabrication des canons de gros calibre, mai 1915.

Dans le même temps, la France est sollicitée pour aider ses alliés. Elle peut armer à peu près complètement la petite armée serbe, canons, fusils, munitions, aéroplanes ; elle fournit de grandes quantités de canons, d'armes portatives et de moteurs d'avion à la Russie ; elle arme la Grèce, la Roumanie. Elle doit livrer à l'armée américaine toute son artillerie légère et nombre de batteries lourdes, de nombreux avions et leurs moteurs, sans oublier d'approvisionner les pays qui n'ont pas d'industrie. Au total, l'industrie française fournit plus de 28 000 moteurs d'avions entre janvier 1915 et juillet 1918 à la Grande-Bretagne, l'Italie, la Russie et aux Etats-Unis.

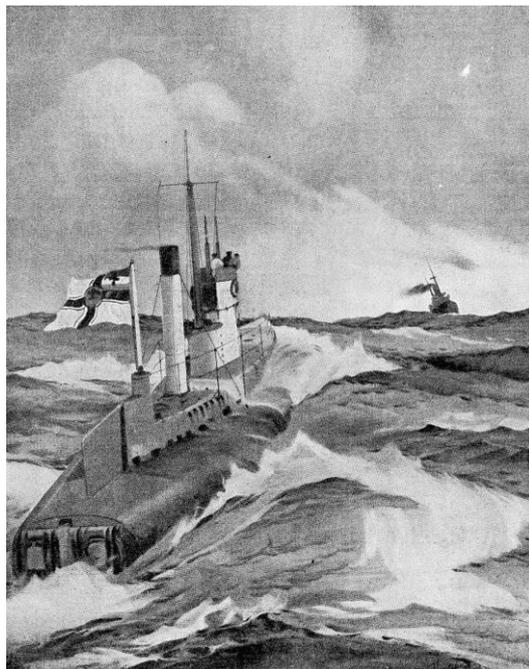
Au cours des trois dernières années de guerre, 6 500 pièces d'artillerie lourdes sortent des manufactures d'Etat, la production n'étant limitée que par les matières premières. Moins tributaire des énormes quantités d'acier, la fabrication quotidienne des fusils est passée d'un facteur 1 en 1914 à 290 en 1918, celle des mitrailleuses de 1 à 170.



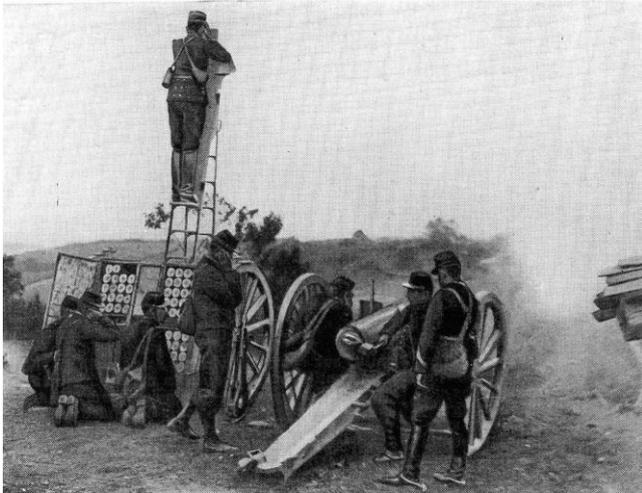
Usine de moteurs d'avion Clerget-Blin de Levallois, été 1916.



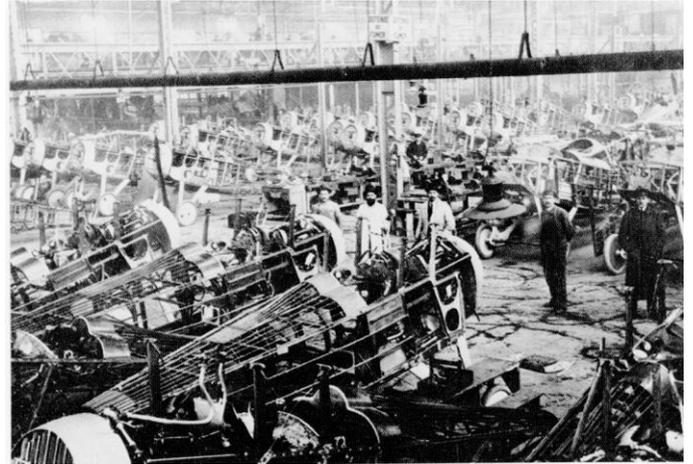
Le croiseur allemand Leipzig, coulé en combat naval par les Anglais près des îles Falkland le 8 décembre 1914.



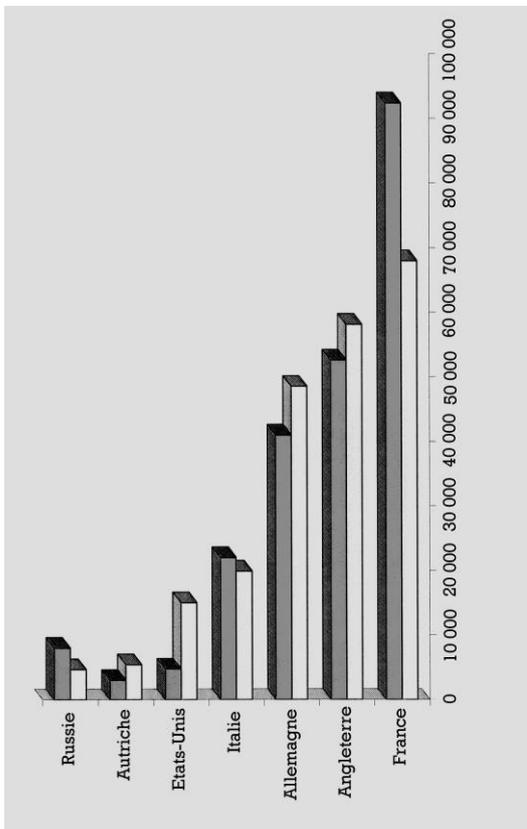
Sous-marin allemand fondant sur sa proie, avril 1915.



En l'absence d'aviation, les réglages de tirs de 75 mm se font depuis une installation sommaire.

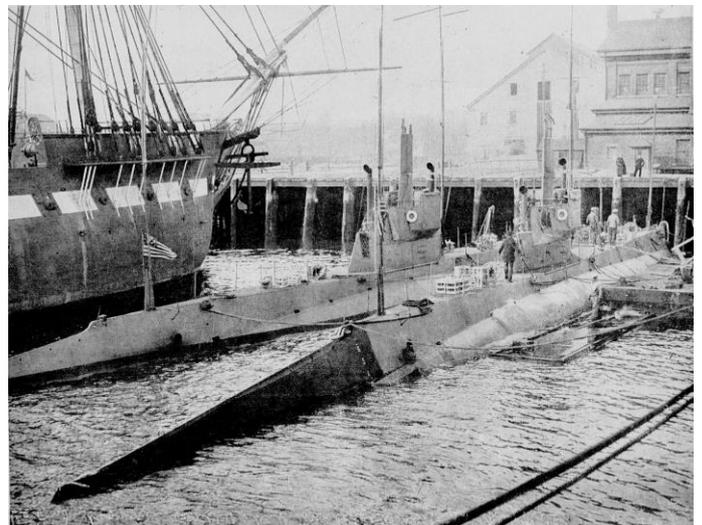


Usine d'assemblage des fameux avions SPAD. On en produit trente par jour en 1917.

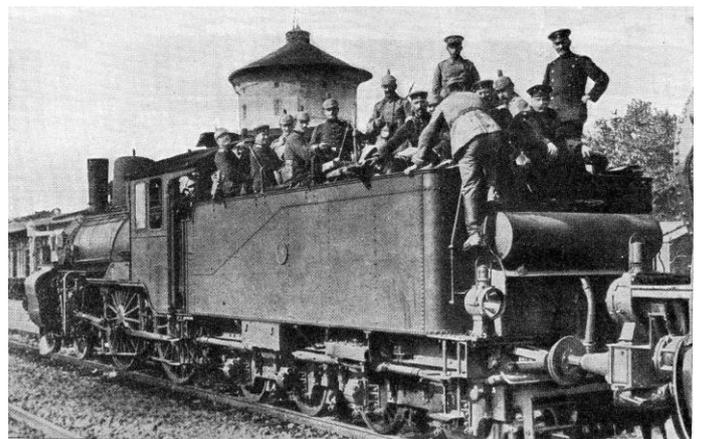


La production aéronautique de la France, de novembre 1914 à novembre 1918. En noir figurent les moteurs, en blanc les avions.

En 1917 et en 1918, les usines françaises de construction aéronautique - qui sont essentiellement des usines parisiennes - malgré les conditions imposées à la main d'œuvre par la guerre (transports urbains défectueux, logements insalubres, manque de charbon pour le chauffage et l'éclairage, piètre nourriture fournie par l'Etat aux ouvriers) et le manque de fer et de charbon réalisent des prouesses en matière de production.



Autre application de l'acier, le sous-marin. Sous-marins américains, 1917.



Les Allemands utilisent les voies ferrées pour le transport des troupes, octobre 1916.

Les usines françaises de construction aéronautique emploient en 1918 plus de cent quatre vingt dix mille personnes (190 000), quarante mille (40 000) dans la seule ville de Boulogne-Billancourt. Pour réaliser cent mille moteurs d'avion (100 000 production de novembre 1914



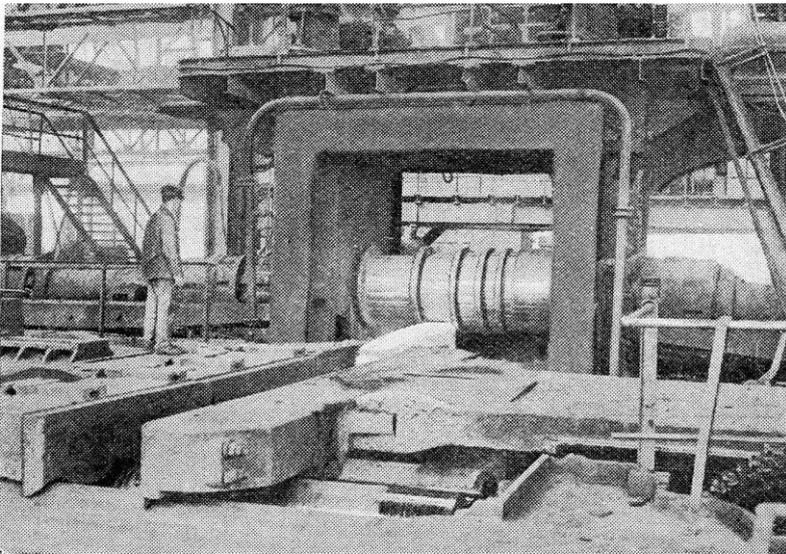
à novembre 1918, dont 46 000 rotatifs), il a fallu près de deux millions de tonnes de métal, de l'acier Martin ou et de l'acier haute résistance acheté au prix de l'or aux « neutres » Danemark, Pays-Bas, Suède, Etats-Unis et Suisse pour alimenter les usines Gnome & Rhône et Clerget-Blin, et deux cent millions d'heures de travail !

Jamais l'artillerie n'avait joué en tel rôle dans une guerre. La France qui possédait la plus forte armée du monde (trois millions d'hommes) a connu la plus grande défaite militaire de son histoire, son artillerie étant trop faible, par manque d'acier.

XIXe siècle. En 1918, le cheval a laissé sa place au cheval-vapeur ; l'artillerie a montré qu'elle n'était rien sans l'aviation ; le picotin d'avoine a perdu de son importance, le pétrole et l'acier sont devenus des ressources stratégiques. Même chez les politiques les moins sensibles aux arguments techniques et à l'industrie, on a enfin compris que sans charbon, on n'a pas d'acier. La France est entrée cruellement dans le XXe siècle après Verdun (1916) et l'attaque inutile et meurtrière du Chemin des Dames (1917).

L'acier entre les deux guerres

Tous les gouvernements de la IIIe République qui se succèdent après 1919 accordent la plus grande priorité au charbon, au fer et à l'acier. De nouvelles concessions sont ouvertes et exploitées. Le pétrole va suivre⁸.

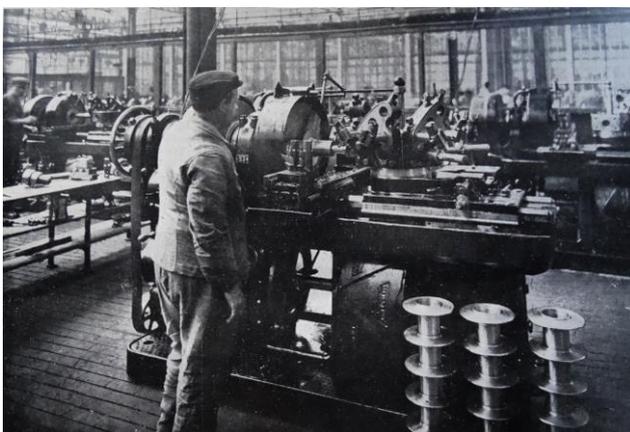


Laminoirs de l'usine d'Hagondange, vers 1930.

Le 11 novembre 1918, le pays est en ruines, hommes et biens, l'Etat endetté pour de très nombreuses années, à tel point que les députés de la République votent l'impôt de guerre qui va ruiner l'industrie française d'aéronautique, alors la première du monde. On s'est tiré une balle dans le pied. Il faudra 65 ans pour s'en remettre.

France	8 160
Angleterre	5 970
Suède	2 200
Russie	2 050
Allemagne	1 300
Espagne	1 100
Norvège	380
Tchécoslovaquie	330
Luxembourg	270
Autriche	240
Pologne	200
Divers	400
EUROPE	22 600
Algérie	100
Tunisie	100
Afrique du Sud	1 100
Rhodésie	3 300
AFRIQUE	4 600
Etats-Unis	10 500
Bésil	7 000
Canada	4 000
Cuba	3 200
Divers	1 500
AMERIQUE	26 200
Inde	3 300
Philippines	800
ASIE	4 100

Répartition des gisements de fer en activité dans le monde, situation de 1930, en milliers de tonnes. (Larousse commercial illustré).



Usine Lorraine-Dietrich d'Argenteuil, 1908, tours automatiques. (La France Automobile).

La Grande Guerre a vu disparaître certaines convictions et fait émerger certaines vérités. En 1914, les Français vivaient encore comme au

A défaut d'être des années glorieuses sur le plan commercial, les années 1920 voient s'accomplir des progrès importants en matière de sidérurgie. Alors que chaque motoriste en 1912 devait posséder ses forges et fonderies (cas de Gnome et de Le Rhône), considérant la demande de leurs clients, l'industrie produit maintenant des aciers adaptés à leur emploi dans l'automobile, poumon du commerce et de l'industrie nationale, et dans ce qui survit de la construction aéronautique⁹.

8. Lire dans la même collection *Origine de l'essence d'aviation*.
9. La France possède quatre des plus grands industriels de l'automobile du monde, Panhard-



Région	Fer	Acier
Région de Metz, Thionville	19 250	2 831
Région de Briey	17 800	2 295
Région de Longwy	2 900	1 099
Région de Nancy	1 150	800
Normandie	1 600	302
Anjou et Bretagne	350	200
Pyrénées	150	90
Pas-de-Calais	10	195
Saône-et-Loire	50	235

Production française du fer et d'acier année 1932, en milliers de tonnes. Ce tableau montre que la Lorraine fournit 95% du fer français.

En 1927, l'industrie sidérurgique française ne produit plus seulement de la fonte, du fer et de l'acier en lingots, mais des laminés marchands (7 764 000 t), des tôles (855 000 t), des poutrelles (778 000 t) des rails d'acier (594 000 t) qui remplacent les rails de fer, du fil (405 000 t), des tubes (178 000 t), des aciers spéciaux (178 000 t), des feuillards (174 000 t), des fils (tréfileries, 119 000 t), des bandages de roues (65 000 t), du fer-blanc (59 000 t), des éclisses (58 000 t), des pièces de forge (54 000 t), des larges-plats (42 000 t), des essieux (11 000 t).



Visite de Lindbergh aux usines Citroën, 1927.

En 1930, la France importe 700 000 quintaux d'aciers en lingots, de blooms, des billettes, des barres, de l'acier fin pour outils, des aciers spéciaux et exporte pour une valeur supérieure des aciers bruts ou en blooms, des billettes, des barres, des lingots, des aciers traités. Avec une production de 10 millions de tonnes d'acier, la France est devenue le troisième pays producteur d'acier dans le monde derrière les Etats-Unis (58 millions de tonnes) et l'Allemagne (16 millions de tonnes). La leçon a été retenue. Mais si la France construit ses fours, elle continue de dépendre des autres puissances pour la fourniture des machines-outils.

Levassor, Peugeot, Renault et un nouveau venu en 1920, Citroën.

La sidérurgie en France

Entre les deux guerres, la sidérurgie française fait des progrès considérables.

Les aciers ordinaires contiennent encore des impuretés (manganèse, silicium, soufre et phosphore). Quand la présence de ces corps est nécessaire, on purifie d'abord l'acier avant d'y ajouter intentionnellement ces corps dans des proportions déterminées, ce qui donne naissance au vaste marché d'alliages appelés *aciers spéciaux*, largement utilisés dans l'automobile et l'aviation.

Le *silicium* se trouve toujours présent dans l'acier (entre 0,05 et 7 %) et parfois plus dans certains aciers spéciaux comme les tôles de transformateur à faible hystérésis (dynamos) ou les aciers pour ressorts¹⁰.

Le *manganèse* est ajouté dans les aciers à très grande dureté et très grande résistance à l'usure (engrenages de pompes, réducteurs). La présence du manganèse garde au fer son aptitude au soudage qu'il perd en absence de manganèse quand il renferme plus de 0,15 % de carbone.



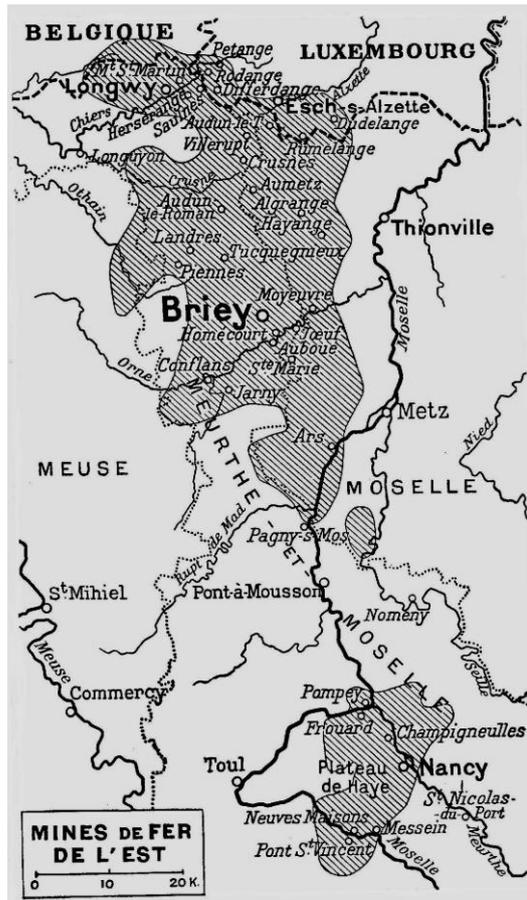
Rolland-Pilain (1922). Cette production faillit être la seule de la société Gnome & Rhône, mise en faillite par la loi de 1920. (Musée automobile de La Réole).

10. L'emploi de l'acier dans la carrosserie hippomobile remonte en Angleterre à la seconde moitié du XVIIIe siècle et à la seconde moitié du XIXe siècle en France. De 1867 à 1914, les aciers utilisés pour les ressorts des véhicules automobiles sont obtenus par cémentation, corroyage, fonte ou pudlage. Après 1919, l'industrie sidérurgique les produit directement (aciers spéciaux).



Le soufre et le phosphore présents dans le fer ne doivent pas dépasser 0,1% dans les aciers. Le phosphore donne de la fragilité, le soufre diminue la malléabilité.

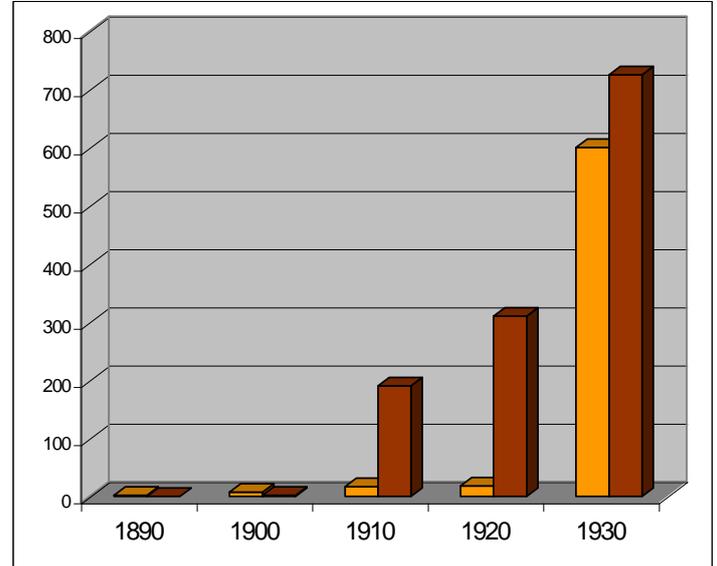
Très prisés, le chrome, le nickel, le vanadium, le tungstène et le molybdène procurent aux aciers, utilisés seuls ou associés, des qualités rares. Clerget-Blin fut le premier motoriste, dès 1911, à utiliser les aciers spéciaux au nickel-chrome pour réaliser les fûts de cylindres des moteurs rotatifs¹¹. Très difficiles à usiner, ces aciers doivent être attaqués par des outils spéciaux.



Le bassin minier de Briey, 1935. (Source : dictionnaire Larousse de l'industrie et des Arts & Métiers).

Parmi les aciers spéciaux produit massivement pour l'industrie, il faut citer les aciers à coupe rapide des outils. Ils permettent de travailler l'acier jusqu'à 600°C sans bleuir, sans

détrempe. Ils ont une faible teneur en carbone (0,5 à 0,7%), une teneur élevée en tungstène (12 à 20%), une teneur moyenne en chrome (3 à 7%), renferment parfois du molybdène, du vanadium et du cobalt et ils coûtent très cher



Les incroyables progrès de l'industrie sidérurgique japonaise, entre 1890 et 1930. Production de fonte (en jaune) et d'acier (en brun), en milliers de tonnes.

La France compte en 1930 plusieurs laboratoires d'études, capables de déterminer rapidement les qualités des alliages et d'en déduire une utilisation. Citons les laboratoires présents au sein des usines de production de l'acier et de l'aluminium, chargés de vérifier la conformité des produits à l'attente du marché, les laboratoires des motoristes (Gnome & Rhône à Gennevilliers et Kellermann, Renault à Billancourt, Lorraine-Dietrich à Argenteuil, Hispano-Suiza à Bois-Colombes, Salmson à Billancourt), chargés de vérifier la teneur des matières premières achetées et celle des produits recyclés, les laboratoires d'Etat, appartenant aux Services techniques de l'aéronautique (STAé), à Chalais-Meudon, et Boulevard Victor dans l'enceinte du ministère de l'Air, chargés de faire évoluer la technologie, ceux des grandes universités (Sorbonne, Institut de France, Conservatoire national des Arts-et-Métiers) sans oublier le laboratoire « historique » de l'Automobile-Club de France (fondé en 1896).

11. Les aciers au chrome furent mis au point pour les obus vers 1875 par Aimé Brustlein, directeur de l'usine d'Unieux dans la Loire. L'aviation l'utilisait avant guerre dans les roulements à billes. Le premier acier au nickel date de 1886. Il fut obtenu dans une usine parisienne, puis fabriqué à Montataire (Oise). Il contenait 25% de nickel. Ses inventeurs étaient Marbeau et Rémond. En 1888, Robert Abbot Hadfield (1858-1940) découvre à Sheffield l'acier à haute teneur en manganèse. On l'utilisa avant guerre dans les plaques de blindage.

Exportations de machine-outil	1913	1925	Part des export.
Etats-Unis	73	115	7,2 %
Allemagne	55	49	13,0 %
Grande-Bretagne	25	40	3,5 %
France	9	20	9,5 %
Suisse	3	12	8,0 %
Suède	5	25	13,4 %

Valeur des exportations de machines-outils, en millions de francs-or et part de ces ventes dans le total des exportations du pays.



Les alliages d'acier à très forte teneur sont appelés *ferro-alliages*. Les ferrosiliciums, les ferromanganèses ou *spiegels* sont produits comme addition dans la métallurgie de l'acier. Les ferronickels sont produits pour leur inaltérabilité et leur résistance thermique (platinite, invar). On les retrouvera bientôt dans les turbo-réacteurs.



L'usine de la Société des moteurs Gnome avant la Grande Guerre. (Coll. X. Passot).



Marteau pilon de l'usine Gnome et Rhône de Gennevilliers, années 1920. (Fonds Sncma).

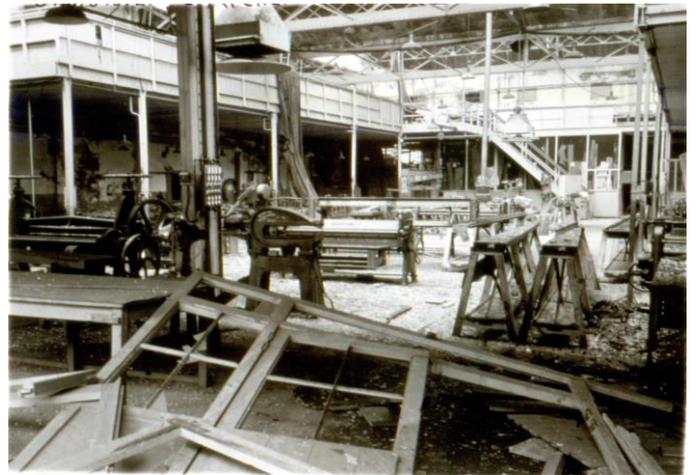
Rempli de promesses technologiques les plus inattendues, le monde des alliages est encore à découvrir en 1930. Des alliages d'acier au nickel n'éprouvent aucune dilatation entre 0°C et 350°C tel l'*Invar* découvert par le physicien suisse Charles Edouard Guillaume (1861-1938). D'autres (aciers au chrome, aciers à haute te-

neur en nickel et chrome) présentent une résistance étonnante aux corrosions chimiques, très agressives, que les métaux constituant ne supportent pas isolément. Par exemple, les fûts de cylindres et les chambres de combustion des moteurs Diesel supportent à la sortie des échappements une température de 1700°C dans un environnement agressif d'huile et d'essence. Les bizarreries des alliages sont innombrables et proviennent de leur constitution physique. Tous les laboratoires commencent à utiliser le microscope et la cristallographie pour analyser les aciers produits.

La découverte d'Imphy

Très employés dans l'industrie aéronautique (cylindres, axes, bielles, engrenages), les aciers au nickel-chrome sont parfois rangés en deux catégories, tellement leurs performances sont étranges : les aciers *perlitiques* et les aciers *austénitiques*.

Les premiers s'emploient après trempe (à l'eau, à l'huile ou à l'air) et revenu, et présentent un phénomène spécial, appelé *maladie de Krupp* : ils deviennent extrêmement fragiles et cassants lorsqu'ils sont soumis à un refroidissement lent, aux environs de 500°C. Les seconds ont un comportement encore plus bizarre. Certains résistent à la corrosion de façon étonnante, d'autres résistent aux très hautes températures sans se déformer. Deux catégories, les ATG et BTG des aciéries d'Imphy dans la Nièvre, découverts par Pierre Chevenard (1888-1960), sont à la base de la métallurgie dite de précision et vont connaître la gloire dans les turboréacteurs à la SNECMA.



Usine SNCAC de Billancourt, avril 1942. (Gallica).

Paris et la sidérurgie (1930)

La population active dans l'industrie sidérurgique française entre les deux guerres s'élève à huit millions de personnes, un million de plus qu'en 1900 et six millions de plus qu'actuellement. Elle se répartit entre la région



parisienne, qui compte en 1930 34 grands établissements industriels (de plus de 5000 ouvriers) sur 87 en activité en France, devant le Nord et Pas-de-Calais, la Moselle, l'Alsace, la Loire, le Puy De Dôme, la Saône-et-Loire, mais aussi le Gard, le Maine-et-Loire, le Morbihan, le Finistère.



Usine Snecma de Gennevilliers, vers 1960. (Gifas).

En 1930, Paris compte 1 050 établissements de plus de cent salariés, le Nord 654 établissements (alimentés par les bassins de Normandie et de Lorraine), le département de la Seine (banlieue) compte 587 établissements, le Seine-Inférieure (Seine-Maritime) 296 et le Rhône 286.

Formé par les localités qui se trouvent dans la boucle de la Seine à l'ouest de la capitale, le seul département actuel des Hauts-de-Seine (à l'exclusion donc de la Seine-Saint-Denis) compte en 1930 les plus grandes entreprises industrielles françaises : Gnome & Rhône à Gennevilliers (premier exportateur européen de moteurs d'avion), Hispano-Suiza à Bois-Colombes (automobiles de luxe, moteurs d'avion), SECM-Amiot à Colombes (aviation, matériel militaire), Blériot-SPAD à Suresnes (aviation), Brandt à Châtillon (armement), Hotchkiss à Levallois (armement), Chenard et Walcker à Gennevilliers (automobile), Renault (automobiles, aviation), Farman (automobiles de luxe, aviation) et Salmson (moteurs d'avion, pompes) à Boulogne-Billancourt, Citroën (automobile) à Levallois et Clichy, Delachaux (aciéries) à Gennevilliers.

Sur le plan militaire, cette situation a un inconvénient : si Paris est pris, c'est toute l'industrie française qui est anéantie ; c'est exactement ce qui se passera en juin 1940.



Les informations et photographies qui ont été utilisées dans ce dossier proviennent du dictionnaire Larousse de 1905, des dictionnaires Larousse mensuels illustrés de 1914-1918, du dictionnaire Larousse commercial illustré édition de 1930, du dictionnaire Larousse industriel illustré édition de 1935.