

CHOIX TECHNOLOGIQUE EN MÉTALLURGIE. UNE ÉTUDE DE PETRACHE POENARU SUR L'INDUSTRIE FRANÇAISE EN 1830

HORIA COLAN*

Membre correspondant de l'Académie Roumaine

Ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle que la science des métaux a été créée par l'activité de Sorby, Osmond, Le Chatelier, Roberts-Austen, Martens et d'autres, conséquence du développement de la production des métaux, notamment celle de l'acier, des acquis de la physique et de la chimie.

Maintenant on cherche à obtenir une caractérisation scientifique des matériaux en général par une théorie structurale unitaire qui est en train d'ouvrir de nouvelles perspectives dans leur profonde compréhension, dans l'action de création de nouveaux matériaux à hautes performances, dans l'optimisation de leur choix et de leur emploi. La science des métaux est devenue la science des matériaux, englobant les matériaux métalliques, les céramiques et les polymères, héritière des conquêtes de la métallurgie physique et aussi de la métallurgie. [1], [2]

La permanence des résultats scientifiques est en contraste avec le volatile succès de la technologie. C'est pour cela que les périodes dans l'histoire d'une science technique deviennent de plus en plus courtes. La science des matériaux en est un exemple.

À propos de l'évolution des techniques, A. Beltran et P. Griset disent dans leur «Histoire des techniques aux XIX^e et XX^e siècles» [3] :

«Or, il importe de comprendre dans quelle mesure une invention a répondu à une attente sociale, a permis de surmonter les difficultés provoquées par les limites d'un système technique, en bref de distinguer les innovations fondamentales qui ont marqué les étapes successives du monde industrialisé.»

CHOIX TECHNOLOGIQUE DANS LA MÉTALLURGIE DES POUDRES

L'apparition de la métallurgie des poudres est liée à la nécessité d'obtenir des métaux et des alliages à haute température de fusion, qui ne pouvaient être élaborés par la méthode usuelle de fusion et coulage.

Jusqu'au Moyen Âge on n'a pas été capable d'atteindre des températures plus élevées que celle de la fusion de la fonte. Une série d'objets de fer ou métaux

* Université Technique de Cluj-Napoca.

précieux (Pt, Au, Ag, Cu) étaient obtenus par le forgeage des minerais des métaux respectifs, chauffés, partiellement réduits le cas échéant (fer). [4]

Les méthodes primitives consistaient donc d'une masse de poudres chauffées, tandis que celles modernes ont à la base le pressage des poudres et le chauffage du comprimé (frittage). Ce n'est qu'au début du XIX^e siècle (1809–1829) qu'on a réussi par cette dernière voie la production du platine fritté (point de fusion 1774°C). Ce procédé (**P. Sobolevski** et **W. H. Wollaston**) s'est généralisé et reste aujourd'hui encore le procédé fondamental de la métallurgie des poudres.

L'ancien procédé a disparu. Mais, dans l'histoire des techniques, bien des fois des procédés technologiques modernes, en plein développement, reposent sur des méthodes des temps anciens qui à l'époque de leur apparition n'ont pas trouvé des conditions d'application, respectivement de généralisation. C'est le cas, un exemple édifiant, du forgeage des poudres des minerais partiellement réduits et chauffés utilisé par les Indiens et les Incas.

Le célèbre pilier de fer de Delhi (V^e siècle après J.-C.) qui paraît être réalisé de cette manière ne présente pas de trace de rouille. Le degré hygrométrique moyen exclut l'éventualité des condensations de rosée sur la colonne. [5] À mon avis, la pureté du fer, sa structure ferritique monphasée et peut-être aussi la présence des traces de cuivre et de phosphore dissous qui pourraient former une patine extérieure protectrice similaire à celle des aciers cor-ten, expliquent la résistance à la corrosion.

Mais, voici que dans les trois dernières décennies, quand il y a d'autres conditions pour la réalisation technologique, on assiste à la reprise du forgeage et du laminage des poudres à chaud. L'ancienne idée est devenue un important procédé de fabrication des tôles, des bandes et surtout des pièces en aciers rapides et superalliages par forgeage, matriçage et pressage isostatique à chaud.

L'INTRODUCTION DE L'EXPÉRIMENTATION EN MÉTALLURGIE (RÉAUMUR, 1722)

René Antoine Ferchault de Réaumur (1683–1757) publie en 1722 «**L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu**», un ample ouvrage qui rassemble plusieurs Mémoires sur ses recherches présentés à l'Académie des Sciences. [6]

Par ses observations rigoureuses sur la cassure du métal, par ses dessins exceptionnels des structures, Réaumur est le premier à découvrir l'existence des grains dont il a déterminé la taille, et de plus, leur sous-structure, révélée par une géniale et étonnante intuition. Il a introduit de ce fait l'étude macroscopique et même microscopique en métallurgie.

Réaumur a effectué aussi les premières recherches sur la carburation du fer dans un four construit par lui-même à l'Académie, en réalisant des aciers classifiés en sept catégories d'après leur dureté.

Un autre ouvrage important, publié plus tard «**Nouvel art d'adoucir le fer fondu**» (1762), se rapporte à la fonte. Réaumur est le premier à réaliser la fonte malléable à cœur blanc (méthode européenne) et à découvrir le phénomène de la graphitisation.

QUELQUES OPTIONS DANS LA MÉTALLURGIE PENDANT LA RÉVOLUTION TECHNIQUE ANGLAISE

Le fait de choisir la voie à suivre, la meilleure solution pour un matériau, un procédé ou un instrument de travail, c'est-à-dire le choix technologique, a eu un rôle déterminant dans le développement de la métallurgie et de la science des matériaux aux XVIII^e et XIX^e siècles. L'introduction de l'expérimentation en métallurgie, la création de méthodes d'investigation (étude macroscopique, analyse chimique, métallographie microscopique, ensuite la diffractométrie) ont contribué à la création de la science des matériaux. L'invention et le développement des fours et des procédés industriels d'élaboration des fontes et des aciers (aciers de creuset, fer puddlé au 18^e siècle) ont été suivis par l'invention des machines et de nouveaux procédés de forgeage, laminage et usinage des aciers (marteaux-pilon, laminoirs, tours, etc.), partie importante de la révolution technique et industrielle anglaise.

Les progrès de la métallurgie du fer sont nés en Angleterre au XVIII^e siècle. À mentionner: la fonte au coke (**Abraham Darby**, 1709); l'acier au creuset (**Benjamin Huntsmann**, 1740-1745); le laminage (**Henry Cort**, 1783); le puddlage (**Peter Onions et Henry Cort**, 1784); les machines-outils (**John Wilkinson**, 1774). [7], [8], [9]

Avant la révolution apportée par le coke en Angleterre, le seul combustible utilisé à la fabrication de la fonte était le bois ou le charbon de bois. Résultat: le déboisement et le renchérissement du prix du bois.

Abraham Darby de Coalbrookdale fut un inventeur et un industriel qui réalisa un choix technologique et économique de génie; le coke avait de remarquables avantages techniques: température plus élevée de la fonte, résistance supérieure dans les fourneaux.

Les travaux de Réaumur, ceux de Huntsmann de Sheffield qui parvenait à fondre l'acier dans un four à coke sont tombés en désuétude. Mais Cort inventait le puddlage en réalisant le four réverbère et le laminage en utilisant la machine à vapeur de James Watt.

L'usine de Coalbrookdale «avait trouvé les directions dans lesquelles une production de plus en plus considérable de fer allait s'écouler: la construction des voies de chemins de fer, la construction métallique, la construction mécanique, qui devaient être les grandes industries du XIX^e siècle». [9]

Après l'option pour le charbon de terre et l'invention du coke, «L'Angleterre fut favorisée par un certain nombre de circonstances qui expliquent à leur tour les

progrès techniques que nous y avons constatés. La proximité des charbonnages et des gisements de fer fut sans doute l'un des avantages majeurs de la sidérurgie en voie de transformation. Les transports internes étaient réduits au minimum. Cette conjonction se trouva rarement sur le continent». (p. 70)

Parmi les transformations économiques, à mentionner la diminution constante des prix grâce au passage à la fonte au coke. Cependant, B. Gille dit:«Si charbonnages et gisements de fer ne se trouvaient pas à proximité, des transports plus ou moins longs, plus ou moins aisés étaient nécessaires, qui diminuaient les écarts de prix entre procédés modernes et procédés traditionnels. Si le déboisement n'était pas catastrophique, on pouvait avoir avantage comme en France, à conserver une production abondante de fonte au bois (p. 80)». Et il continue:

«À toutes ces difficultés, on peut ajouter la pénurie de main-d'œuvre, à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif. Réunir une main-d'œuvre abondante dans des pays où l'économie agricole était encore dominante fut souvent une tâche ardue. En bien des cas, il fallut faire appel à une main-d'œuvre étrangère mieux éduquée, principalement d'origine anglaise.» (p. 81)

En Europe, des usines sidérurgiques furent placées sur le charbon comme en France, celles d'Alais et Decazeville, peu avant 1830.

C'est **Bessemer** (1855) qui va inaugurer la création des procédés de fabrication de l'acier homogène par voie liquide, suivi par **Martin** (1865) et **Thomas-Gilchrist** (1876).

La proportion d'acier par rapport à la production globale fer-acier de France est passée de 4 % en 1855 à 28 % en 1880 et à 86 % en 1913.

UNE ÉTUDE SUR L'INDUSTRIE FRANÇAISE EN 1830

En ce sens, l'activité de **Petrache Poenaru**¹), un des premiers ingénieurs roumains, qui a fait des études en France à l'École Polytechnique (1826–1828), est remarquable. Son étude minutieuse faite sur l'industrie française en ce temps là, dernière période de la révolution technique qui, mise en route en Angleterre allait conquérir l'Europe, se trouve dans sa riche correspondance avec Zenovie Pop de Sibiu, son protecteur et futur gouverneur de la Banque d'Autriche à Vienne. [10], [11], [12]

En examinant ces textes manuscrits écrits en français (après le 3 avril 1830, date de sa lettre de Roville près de Nancy), j'ai eu la surprise de constater que Poenaru avait déjà des connaissances approfondies de métallurgie.

¹ Petrache Poenaru (1799–1875), ingénieur roumain né à Benești, dép. Vâlcea. Écoles Polytechniques de Vienne (1822–1826) et de Paris (1826–1828). École d'Application des Ingénieurs Topographes de Paris (1829). Professeur au Collège Sf. Sava. Directeur de l'Éphorie des Écoles Nationales (1832). Fondateur et organisateur de l'enseignement roumain. Membre de l'Académie Roumaine (1870).

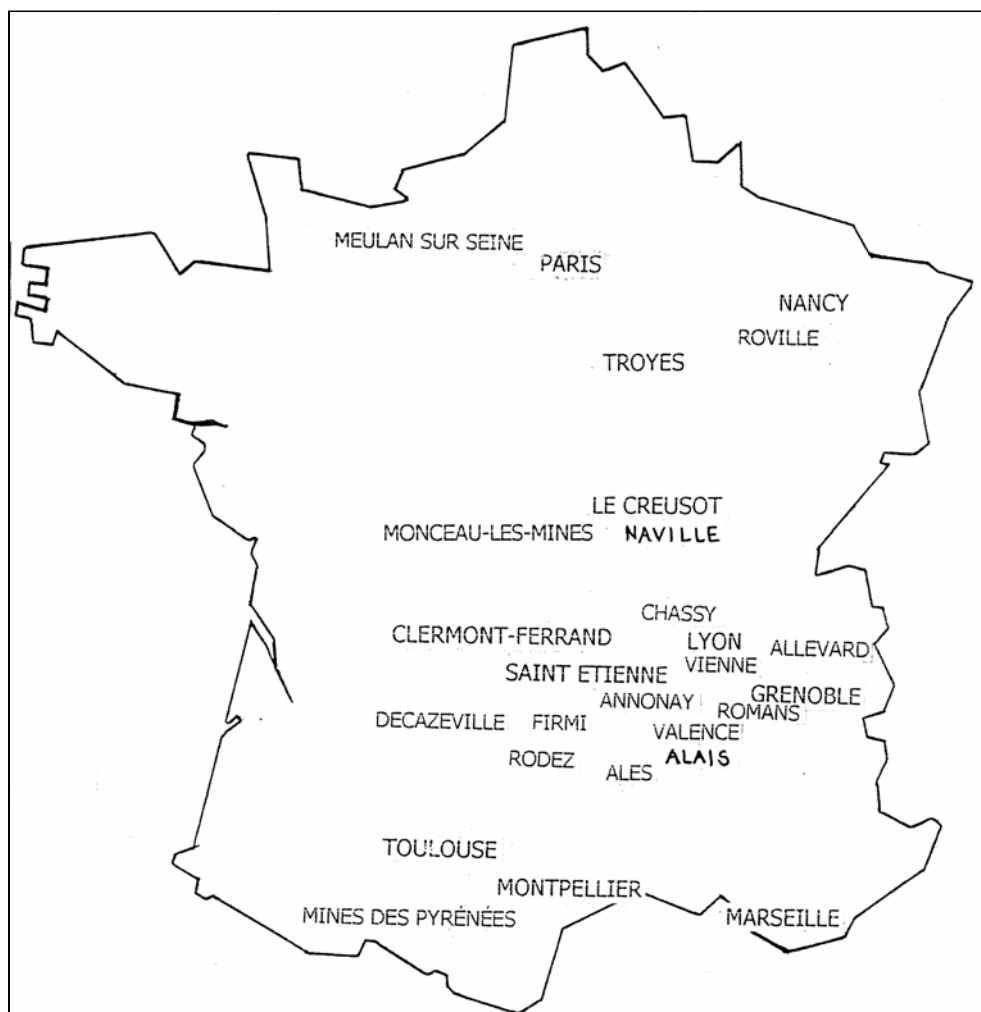


Fig. 1. – Sur les traces de Petrache Poenaru en France (1826–1832).

Vienne (1822) – Paris (1826) – Meulan (Yvelines)(1828) – Paris – Troyes (Aube) – Nancy, Roville (1829) – Paris – Le Creusot, Naville (Saône et Loire)(1830) – Lyon – Chassy – Lyon – Vienne (Isère) – Valence, Romans (Drôme) – Grenoble (Isère) – Allevard (Alpes) – Saint-Etienne (Loire) – Annonay (Ardèche) – Alais (Gard) – Marseille – Montpellier (1831) – Rodez, Firmi, Decazeville (Aveyron) – Clermont – Ferrand, Paris (janvier 1832).

Dans son voyage d'études (1828–1831) parmi les dizaines d'usines visitées en France et dans lesquelles il a travaillé même effectivement, une place importante est occupée par celles métallurgiques du Creusot, Naville; Lyon, Chassy; Allevard, Saint-Etienne; Alais; Firmi-Decazeville, Rodez; etc. Ses idées et conclusions sont presque identiques à celles des historiens de la métallurgie (par

exemple Bertrand Gille cité ci-dessus), mais elle sont écrites 135 ans auparavant, par un témoin du développement industriel de l'époque.

En particulier, ses opinions sur les procédés métallurgiques qui représentent des choix technologiques déterminants pour la révolution technique anglaise et qui signifiaient alors le fait nouveau dans l'industrie française, sont dignes d'être citées.



Fig. 2. – Petrache Poenaru en 1835. Gravure d'après le dessin du peintre Constantin Lecca (B.A.R.).



Fig. 3. – Zenovie C. Pop de Sibiu. Lithographie (B.A.R.).

Elles font l'objet de sa lettre du 13 mars 1831, qui constitue un véritable rapport sur les mines et les usines visitées. [13]

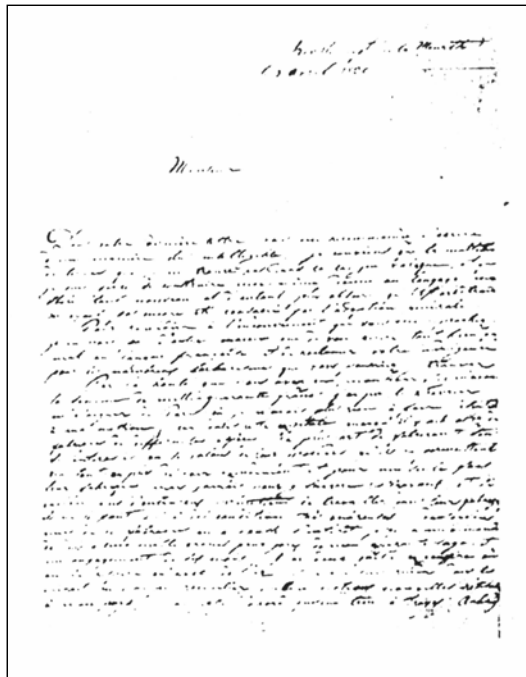
Poenaru commence par expliquer pourquoi il use du français dans ses lettres:

«... L'indulgence avec laquelle vous avez bien voulu accueillir mes lettres écrites dans une langue que je ne connais pas assez, dans laquelle cependant je puis rendre le langage industriel plus intelligible que je ne le ferais en valaque m'encourage de continuer à vous donner dans la même langue d'autres détails sur le reste de ma tournée en France.»

Par la suite, il écrit qu'il s'est rendu dans les Alpes, à Allevard, «... pour y voir encore le traitement du fer qu'on exploite là en grande quantité. Ce genre d'usines m'ont offert dans cette contrée plus d'intérêt que celles que j'avais vu jusqu'alors; car dans ces endroits où le bois n'est pas rare on traite le minerai de fer au charbon de

bois; dans la plupart des autres mines de France, comme en Angleterre partout, on travaille le fer à la houille (charbon de terre); **mais le charbon de bois a l'avantage de donner un fer plus homogène, moins cassant et plus malléable**, ce qui fait qu'on préfère toujours le fer travaillé au charbon de bois à celui qu'on traite à la houille et si l'on renonce partout de se servir du charbon de bois c'est parce que ce combustible fini par devenir si rare, **que la supériorité qu'il donne à la qualité du fer ne peut plus compenser la cherté...»**.

Fig. 4. – La lettre de Petrache Poenaru, expédiée de Roville (le 3 avril 1830).



«Je ne sais pas si en Valachie on trouve du charbon de terre, mais pour quelque temps nous pouvons nous passer de lui, parce que le bois est chez nous assez abondant et presque sans valeur dans les régions les plus éloignées des villes; l'exploitation du fer offrirait de ce fait au pays, entre autres avantages, celui d'utiliser les immenses forêts des montagnes et de leur donner par conséquent une grande valeur.»

Un autre exemple de Firmi, près de Rodez, où il est resté vingt jours pour visiter les usines du duc de Decazes², de grand intérêt, qui étaient en construction:

«J'ai remarqué que pour cet établissement, comme pour plusieurs autres en France, on a fait venir de l'Angleterre presque toutes les machines à vapeur et autres; on m'a dit, pour motif, que malgré les frais de transport, elles reviennent encore beaucoup moins chères que celles qu'on construit en France, parce qu'en

² Élie Decazes (1780–1860), homme d'État français, ministre sous Louis XVIII.

Angleterre la fonte se vend très bon marché, cela encore parce que le minerais de fer en Angleterre se trouve toujours à la même place avec la houille, de sorte que le même puits, les mêmes galeries, les mêmes chemins et les mêmes ouvriers servent pour l'extraction et le transport de toutes les deux substances à la fois, tandis qu'en France dans la plupart des localités les mines de fer et celles de houille se trouvent assez éloignées les unes des autres pour doubler les frais d'exploitation.

J'ai vu aussi que tous les ouvriers qui travaillent aux laminoirs ... sont des anglais, parce que cette façon de travailler le fer est une invention anglaise tout à fait nouvelle.»

Quant au choix technologique du laminage, remplaçant le forgeage au marteau-pilon, Poenaru écrit:

«Les travaux pour construire cet établissement gigantesque ont commencé il y a trois ans sur le compte d'une société qui a été constituée par Monsieur le duc de Decazes et ils ne seront terminés que dans un an. Il sera le plus grand établissement de France, parce que dans tous les autres il n'y a que deux ou trois haut fourneaux tout au plus, et des **forges au marteaux**, tandis qu'ici ils seront huit haut fourneaux, sans cesse en activité, et **forges au laminoirs** d'après la manière anglaise, ce qui expédie beaucoup plus de travail que les marteaux.»

L'ACIER HOMOGENE: UN CHOIX POUR LE PLUS LONG PONT D'EUROPE (1888)

En 1888, paraît un travail qui se signale par sa valeur et son originalité, un premier travail qui traite des propriétés des aciers de construction en corrélation avec la composition et la pureté qui résultent du procédé et des conditions d'élaboration, faisant état des modifications structurales survenues depuis leur traitement ultérieur. [14], [15], [16] Ce travail est le «Mémoire sur le projet du Pont par-dessus le Danube de Cernavodă présenté à la Direction Générale des Chemins de Fer Roumains par **Anghel Saligny**³), ingénieur en chef du service pour la construction de la voie ferrée Fetești-Cernavodă.» [17]

Le matériau adopté par Saligny pour la superstructure a été l'acier, bien qu'à l'époque il ne fût pas encore unanimement admis dans les grandes constructions ni reconnu comme étant plus avantageux que le fer. Saligny a dû soutenir une rude bataille, qu'il a remportée.

C'est un exemple de choix technologique qui illustre sa compétence et son courage et fait honneur aux ingénieurs roumains qui projetaient, dirigeaient ou exécutaient des travaux publics en cette fin de siècle riche en élan constructif.

³ Anghel Saligny (1854-1925), ingénieur roumain né à Șerbănești j. Galați. Ecole Polytechnique de Berlin-Charlottenburg 1875. Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Bucarest; Membre fondateur (1881) et président de la Société Polytechnique; Membre (1892) et président de l'Académie Roumaine; Grand Officier de la Légion d'Honneur (1908).

Plus encore: on peut dire que la réalisation du pont par-dessus le Danube en y utilisant l'acier a consacré définitivement la supériorité de ce matériau pour les ponts métalliques.

Si l'on veut se faire une image des connaissances existant à cette époque quant à la structure et aux propriétés de l'acier, il nous semble utile de consigner la citation ci-dessous:

«À une époque où les chimistes commencent à savoir comment procéder à l'analyse de l'acier et où, peu à peu, il est produit industriellement, les utilisateurs demeurent très prudents, ignorant les causes réelles du durcissement (et de la fragilité) de l'acier (Eiffel, par économie et par prudence, réalisera tous ses travaux – y compris la tour Eiffel – en fer puddlé).» [18]

Le chapitre «**Le matériau de la superstructure**» (28 pages) est le plus ample du mémoire. [19]

Dès le premier alinéa, il est fait état de considérations techniques et économiques qui justifient l'emploi de l'acier: «La diminution autant que possible de la quantité de matériel a constitué une de nos principales préoccupations pour l'établissement de la superstructure ...» Dans ce qui suit, il est montré que l'utilisation d'un matériau plus résistant, l'acier, a pour suite la diminution des sections des éléments composants, réduit le poids, rend le montage plus facile, diminue la surface soumise à la pression du vent et, en conséquence, les efforts produits – avantages considérables pour les grands ponts même si la réduction du matériau n'impliquait pas une réduction du coût aussi.

L'auteur se demande si l'opinion du jury des années 1883 et 1888 peut encore être tenue pour valable, et répond catégoriquement par la négative en mentionnant ensuite ce qui est à imputer à l'acier: «qu'il est capricieux, parce qu'il manifeste des ruptures spontanées non motivées, qu'il n'est pas homogène, qu'il ne s'adapte pas aux climats où le froid est grand et, enfin, que sa réception est malaisée et incertaine.» Les constructeurs, dit-il, «ont exigé de la part du matériau une résistance exagérée, sans tenir compte des autres qualités, qui se trouvaient en rapport inverse et en dépendance directe de la résistance.»

Etant donné que jusqu'en 1885 on utilisait presque exclusivement de l'acier «dur», à la résistance de 60 kgf/mm^2 , Saligny déclare: «la circonstance que celui-ci est capricieux est due **à la dureté et au traitement par déformation plastique**. Plus la dureté de l'acier est grande, plus la transformation des blocs en une forme profilée réclamera des soins attentifs et d'autant plus grande sera aussi l'inertie du matériau de s'accommoder à cette forme.»

Et l'auteur poursuit: «Une bataille encore plus rude entre l'acier et le fer continue cependant. Nous affirmons que c'est l'acier qui triomphera. Nous affirmons que l'acier Siemens-Martin est supérieur au fer même pour ce qui est des qualités qui ont imposé le fer jusqu'à cette heure, c'est-à-dire l'homogénéité et la maléabilité»

On signale ensuite des données pour la résistance, la limite d'élasticité, l'allongement et la striction à la rupture. Pour le projet il a été admis une résistance de 45 kgf/mm², la limite d'élasticité de 25 kgf/mm², la résistance admissible 9–11 kgf/mm², l'allongement 20%. Après quoi Saligny poursuit, faisant preuve de sa position avancée :

«Ayons en vue le combat qu'a livré l'acier contre les préjugés qui opposent une résistance implacable à toutes les innovations, contre l'opposition acharnée et systématique des fabricants intéressés aux confections et aux travaux en fer ... Nous serons interdits devant les proportions qu'a prises l'utilisation de l'acier et ravis de l'essor qu'elle prendra dans les décennies à venir. C'est un véritable siècle de fer que sera le nôtre: il a commencé par les constructions les plus gigantesques en fonte et les achèvera en acier.»



La fin du XIX^e siècle, en dehors des conquêtes mentionnées, est marquée par la réalisation de nouveaux matériaux: l'invar (Guillaume, 1896), le carbure de tungstène (Moissan, 1896), les aciers à coupe rapide (Taylor et White, 1898–1900) ainsi que par des événements comme la fondation de l'Association Internationale pour l'Essai des Matériaux (1895), et notamment par la publication du premier diagramme fer-carbone (Roozeboom, 1900).

Par la suite, l'application de la diffraction des rayons X en cristallographie et la découverte des défauts cristallins ont ouvert de larges perspectives pour la création de nouveaux matériaux, pour l'optimisation de leur utilisation.

BIBLIOGRAPHIE

1. H.Colan, *Les grands moments du développement de la science des matériaux*, First Conference on Materials and Manufacturing Technologies MATEHN'94, Proceedings, Cluj-Napoca 1994, vol. 1, pp. 15–24.
2. H.Colan, *Histoire de la science des matériaux – Périodes et contributions roumaines*, Académie Roumaine, NOESIS, Travaux du Comité Roumain d'Histoire et de Philosophie des Sciences, XX (1995), pp. 115–122.
3. A.Beltran, P.Griset, *Histoire des techniques aux XIX^e et XX^e siècles*, Armand Colin, Paris, 1990, 192 p.
4. H.Colan, *Interdisciplinaritate în dezvoltarea metalurgiei pulberilor*. II^e Conférence Nationale de Métallurgie des Poudres, Cluj-Napoca 10–12 nov. 1988, p. 67–74.
5. P.J. Le Thomas, *La métallurgie*, Editions du Seuil, Paris, 1963, 192 p.
6. H.Colan, *Réaumur. Introducerea experimentului în metalurgie și crearea științei materialelor metalice*, *Metalurgia* 40 (1988), 9, pp. 456–460.
7. K.C.Barracough, *An Eighteenth Century Steelmaking Enterprise*, Bull. Hist. Met. Group, vol. 6, 2, 1973.
8. K.C.Barracough, *The origins of the British Steel Industry. Crucible steel manufacture*, Reprinted from December and February/March issues of "The Metallurgist and Materials Technologist", 1974.

9. B.Gille, *Histoire de la métallurgie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1966, 128 p.
10. G.Potra, *Petrache Poenaru. Cător al învățământului în țara noastră. 1799–1875*, Editura științifică, București, 1963, IX + 394 p.
11. H.Colan, *Inginerul Petrache Poenaru și primele studii metalurgice românești la începutul secolului al 19-lea*, Zilele Academice Timișene, Timișoara, 27–28 mai 1999.
12. H.Colan, *Formarea inginerescă și preocupările tehnice ale lui Petrache Poenaru*, Session scientifique de l'Académie Roumaine «Petrache Poenaru – 200 depuis sa naissance», 17 iunie 1999.
13. Petrache Poenaru, *Lettre du 13 mars 1831 de Paris à Zenovie Pop*, Bibliothèque de l'Académie Roumaine, Manuscrits S2(2)/CDLVII.
14. H.Colan, *Aspects de l'histoire de la métallurgie en Roumanie*, NOESIS, Travaux du Comité Roumain d'Histoire et de Philosophie des Sciences, Académie Roumaine, **III** (1975), pp. 85–99.
15. H.Colan, *Métallographie et traitements thermiques. Préoccupations et recherches roumaines anciennes*, Matériaux et Techniques, Paris, **80** (1992), 1–2–3, pp. 44–49.
16. H.Colan, *Centenarul publicării primei lucrări științifice românești în domeniul metalurgiei și proprietăților oțelurilor de construcție*, Metalurgia, **41** (1989), 8, pp. 390–396.
17. A.Saligny, *Memoriu asupra Podului peste Dunăre la Cernavodă*, Stabilimentul grafic Socecu și Teclu, București 1888, 64 p. Idem, Buletinul Societății Politehnice, **4** (1888), pp. 283–364.
18. N.Chezeau, *Le rôle de Floris Osmond dans l'élucidation du phénomène mystérieux de la trempe*, Mémoires et Études Scientifiques, Revue de Métallurgie, **87** (1990), 11, pp. 663–677.
19. H.Colan, *Science des matériaux. Le projet du Pont sur le Danube à Cernavodă*, La Technique Moderne, Paris, **89**(1997), 3–4, pp. 1–5.