

Luxembourg, juin 1967

RECHERCHE - INNOVATION ET INTRODUCTION  
DU PROGRES TECHNIQUE DANS LA SIDERURGIE DE LA COMMUNAUTE.  
PLACE DE CELLE-CI DANS LE MONDE

---

I.- INTRODUCTION

A côté d'industries anciennes fortement liées à la recherche tant fondamentale qu'appliquée - la chimie organique en est un exemple - sont apparues au cours des dernières décennies de nouvelles branches industrielles, plus dépendantes encore de l'activité de recherche. L'électronique, l'industrie des calculatrices et l'industrie pour l'exploration spatiale en sont des exemples bien connus.

La dernière guerre mondiale a mis en retard les pays européens dans ces domaines nouveaux, en raison notamment de la faiblesse de l'activité de recherche. Parfois l'avance des grands pays industriels, et notamment des U.S.A., peut s'expliquer largement par les buts militaires ou de prestige qu'ils poursuivent. Cependant une cause plus fréquente, et qui a joué dès avant la dernière guerre mondiale, est la puissance industrielle souvent plus faible des entreprises européennes, liée à l'étroitesse des marchés ouverts directement à leur activité.

La gravité pour l'avenir des pays d'Europe occidentale de cette évolution, soulignée par le dynamisme soviétique lors du lancement des premiers satellites, amena l'OCDE à engager une importante action pour la promotion des politiques nationales et internationales de recherche, puis conduisit les Communautés européennes à accorder une grande importance à la recherche, en tant que facteur de développement de l'économie.

Fin 1964, une question écrite de M. PEDINI et de Mme GENNAI TONNETTI traduisait la préoccupation du Parlement Européen de situer la Communauté par rapport aux pays tiers hautement industrialisés, grâce à une comparaison des connaissances scientifiques et des progrès techniques obtenus.

Cette comparaison devrait conduire à mettre en évidence les secteurs d'activité en retard, et suggérer les moyens à mettre en oeuvre pour réduire celui-ci.

La Haute Autorité lança pour sa part une investigation dans le domaine de sa compétence. Les résultats viennent de lui parvenir pour la sidérurgie; le présent rapport en rend compte.

Pour l'ensemble des Communautés européennes, un groupe de travail apportant son concours au Comité de Politique Economique à Moyen terme, poursuit, entre autres, une investigation similaire.

Plus récemment, l'OCDE a lancé une enquête sur le même sujet, en proposant aux gouvernements membres de l'organisation d'étudier les écarts technologiques ( Gaps in technology) entre les pays membres.

#### Procédure suivie

Même limitée à un seul secteur industriel, l'étude comparative est fort vaste. Elle s'étend à d'importants domaines de la recherche fondamentale - notamment à la physique du métal - et à des techniques de fabrication nombreuses et complexes.

En outre, la définition du niveau actuel des connaissances acquises, le jugement de valeur à porter sur leurs importances scientifiques et économiques, appellent le concours de spécialistes.

Aussi la Haute Autorité a-t-elle fait appel, pour explorer certains domaines, à des spécialistes hautement qualifiés, qu'elle remercie ici pour leur précieux concours. Les études fournies sont jointes en annexe au présent rapport, à savoir :

Annexe 1 - Physique du métal

Annexe 2 - Hauts Fourneaux

Annexe 3 - Aciéries

Annexe 4 - Laminoirs

## II. - RESULTATS DE L'ETUDE

Les idées et faits principaux qui se dégagent de l'étude sont présentés ci-après, en combinaison avec des données générales ou complémentaires recueillies par d'autres voies.

### A. - RECHERCHE - INNOVATION : COMPARAISON ENTRE LA COMMUNAUTE ET LES PAYS TIERS

#### 1. Physique du métal ( voir l'étude en annexe 1 )

La recherche dans ce domaine vise, grâce à une meilleure connaissance de leurs caractéristiques physiques et mécaniques, à améliorer les qualités des aciers et à créer des nuances nouvelles, en vue de répondre dans une mesure aussi large que possible à la demande des utilisateurs dans les secteurs les plus divers (construction métallique, aéronautique, navale, industrie chimique, nucléaire, etc.....)

Pour le groupe économiquement le plus important des aciers de construction d'usage général, destinés à la construction de bâtiments, ponts, etc..... ainsi que pour les aciers à béton, il n'existe pas, entre la Communauté et les grands pays producteurs, de différences importantes dans les nuances et qualités, ni dans les caractéristiques mécaniques garanties. Il en est de même pour les aciers pour chaudières à vapeur et réservoirs sous pression.

Dans le groupe important des aciers doux pour le formage à froid - tôles fines et fer blanc - les USA ont fait figure de pionniers dans la fabrication, mais actuellement tous les pays industrialisés produisent des qualités en tous points équivalentes.

Par contre, les pays de la Communauté sont dépassés dans le groupe des aciers soudables à haute résistance et pour certaines applications, où les États-Unis et le Japon occupent une forte position commerciale. Mais les aciéries européennes produisent les aciers de ce groupe et sont à même de satisfaire aux demandes de la clientèle.

Pour les pièces très fortement sollicitées dont la détérioration prématurée entraînerait des dommages importants (aéronautique, engins spatiaux, fusées) et qui exigent une propreté très poussée du métal, les procédés spéciaux d'élaboration ont été mis au point dans la Communauté et sont utilisés sur une grande échelle aux États-Unis et en URSS, par suite des besoins importants dans ces pays.

Ce sont les mêmes besoins des industries aéronautique et spatiale qui ont suscité aux États-Unis la production d'aciers de construction à très haute résistance et possédant une ténacité suffisante; il en est de même pour les aciers résistant aux températures très élevées.

En résumé, il semble qu'une recherche plus poussée dans certains secteurs, en particulier par les Américains, ait été surtout conditionnée par une demande suffisante et parfois impérative de qualités spéciales. De tels aciers seront fabriqués dans la Communauté lorsqu'une demande suffisante se manifesterait.

## 2. Recherches sur les procédés de fabrication

### a) Hauts-fourneaux - (voir l'étude en annexe 2)

Les progrès considérables réalisés au cours des dernières années dans le domaine de la production de la fonte sont dus essentiellement aux recherches sur l'influence de la préparation de la charge,

sur l'utilisation de vent à température élevée et sur l'emploi d'agents complémentaires de réduction. Ces recherches ont été effectuées, dans les pays de la Communauté, soit par les usines elles-mêmes, soit en commun par les usines intéressées et les instituts de recherche, parfois avec l'aide de la CECA.

Par ailleurs, des recherches sur la répercussion de l'emploi de vent suroxygéné et des études sur l'automatisation progressive du haut-fourneau sont activement menées dans la Communauté. Pour autant que la littérature technique permette de porter un jugement, c'est dans la Communauté que ces recherches sont les plus avancées.

Le haut-fourneau expérimental de Liège, qui fonctionne sur le plan communautaire, constitue un appareil devenu indispensable pour élargir nos connaissances des phénomènes physico-chimiques dont le haut-fourneau est le siège, et pour développer industriellement les techniques nouvelles d'élaboration de la fonte.

En ce qui concerne la production de fonte en dehors du haut fourneau (réduction directe), des efforts considérables ont été faits dans la Communauté, il y a plusieurs années, pour mettre au point des procédés rentables. Comme dans d'autres pays, ces travaux ont été repris activement dans un passé récent.

b) Aciéries (voir l'étude en annexe 3)

Convertisseur Thomas : le procédé Thomas étant spécifique aux pays de la CECA, la recherche s'y trouve à l'avant-garde. Une amélioration sensible des qualités de l'acier produit a été obtenue par l'emploi de vent enrichi en oxygène, par soufflage d'un mélange oxygène-vapeur, et par une grande réduction de la dispersion des analyses chimiques.

Four Siemens-Martin : les pays tiers marquent une certaine avance du fait que les fours Siemens-Martin ont constitué jusqu'à présent la base de leur production d'acier, ce qui les a amenés, sur le plan

économique, à défendre leurs installations contre la progression de la production à l'oxygène pur. Dans les pays de la CECA, les recherches ont surtout porté sur une meilleure connaissance des lois régissant les flammes utilisées dans ces fours, en vue d'un meilleur rendement thermique (station expérimentale d'IJmuiden).

Convertisseurs à l'oxygène pur : le procédé de conversion à l'oxygène pur, né en Europe pour la conversion des fontes hématites, y a été mis au point pour l'emploi des fontes phosphoreuses. Les recherches ont abouti en Suède au procédé Kaldo et dans les pays de la Communauté aux procédés LDAC, OLP et LDP, ainsi qu'à d'autres variantes telles que LD-Kaldo.

Four électrique : la recherche est menée sur deux plans :

- chez les constructeurs européens dont la classe internationale ne le cède en rien à celle de leurs collègues des pays tiers;
- chez les producteurs d'acier où la recherche se poursuit parallèlement dans les pays de la CECA et dans les pays tiers (emploi de l'oxygène).

Coulée de l'acier : qu'elle soit "en continu", ou "sous vide", la Communauté a fait, dans ce domaine, figure de pionnier. Actuellement, les recherches se poursuivent activement tant dans les pays de la CECA que dans les pays tiers.

Production continue de l'acier : des recherches sont en cours dans plusieurs pays de la Communauté avec l'aide de la Haute Autorité et des résultats remarquables ont déjà été obtenus. Une approche différente en Grande-Bretagne autorise également de sérieux espoirs.

c) Laminoirs (voir l'étude en annexe 4)

Sans négliger la part importante des exploitants dans la mise au point des engins, il faut cependant reconnaître que la recherche dans le domaine des laminoirs est essentiellement l'affaire des industries de la construction mécanique et électrique.

Les recherches visent, bien entendu, à mettre à la disposition des producteurs de produits laminés des appareils et techniques capables de satisfaire les exigences croissantes de leur clientèle; ces exigences vont principalement dans le sens d'une économie de poids, d'une amélioration de la qualité et de la protection de la surface et enfin d'une réduction des dispersions tant dans les qualités que dans les dimensions des produits.

Si, dans certains secteurs de produits laminés (laminés marchands, fil-machine), des constructeurs européens tiennent une place non négligeable, la part prépondérante revient néanmoins aux gros constructeurs américains, dont nombre de licences sont exploitées par les constructeurs européens, principalement dans le domaine des produits plats. Il convient cependant de souligner les recherches et mises au point effectuées dans la Communauté qui ont conduit à une variante intéressante du train planétaire (PLATZER), ainsi qu'à un nouveau type de laminoir pour larges bandes à froid (MKII).

\*

\* \*

En dehors des études techniques qui ont été faites dans les différents domaines de la recherche sidérurgique, un essai de comparaison des activités de recherche sidérurgique dans la Communauté et les pays tiers a été tentée sur la base des littératures techniques recensées.

Les résultats d'une telle investigation sont d'une interprétation délicate. Aussi sera-t-il fait état seulement de l'impression - en accord avec les résultats indiqués ci-dessus - que, sur le plan de la recherche sidérurgique, la CECA occupe une place très honorable parmi les pays grands producteurs d'acier.

#### B. INTRODUCTION DU PROGRES TECHNIQUE : COMPARAISON ENTRE LA COMMUNAUTE ET LES PAYS TIERS.

Les résultats obtenus par la recherche scientifique et technique, ou achetés sous forme de licences, contribuent d'autant plus efficacement au développement économique qu'ils conduisent plus rapidement et plus amplement à des réalisations industrielles.

Le passage au stade de la production appelle de nouvelles recherches complémentaires tenant au rendement économique et aux structures industrielles en place, bref à l'activité de l'entrepreneur; ces recherches peuvent bien entendu poser de nouveaux problèmes techniques.

C'est pourquoi il est malaisé d'établir un parallèle entre les vitesses d'application industrielle des connaissances nouvelles dans différents pays, sans aborder de nombreux aspects de l'activité économique.

Par ailleurs, l'examen détaillé de la situation dans les pays tiers n'a pas été possible, ce qui a conduit à se limiter à des constatations générales. Une investigation dans ce domaine serait utile.

Dans la recherche fondamentale, notamment pour la physique du métal, l'utilisation des résultats de recherches et celle d'autres éléments a contribué dans des pays comme les U S A et le Japon à un intense développement commercial de nouvelles nuances d'acier de haute qualité. La sidérurgie communautaire réalise également ces nuances et a aussi devant elle un important champ de développement, compte tenu évidemment des prévisions d'évolution de la demande.

Le degré d'avancement de la recherche et de la technique dans le domaine de la production n'a pas toujours trouvé une application suffisante dans les usines sidérurgiques de la Communauté; ceci est particulièrement le cas pour les régions où l'application des connaissances acquises entraîne des charges d'investissement élevées. Dans l'ensemble, il en résulte un certain retard par rapport aux pays dont l'industrie sidérurgique est de construction récente et qui ont souvent tenu compte des résultats des recherches de ces dernières années. Si donc, actuellement, un certain nombre d'usines de la Communauté présentent un certain retard dans le domaine de la production de la fonte par rapport à des usines des pays tiers - ceci concerne surtout la préparation de la charge - ce retard n'est pas imputable à la recherche, mais bien au rythme des investissements.



L'aciérie à l'oxygène s'installe dans les usines de la CECA

à un rythme soutenu, équivalent à celui des Etats-Unis. Le Japon a une avance qui résulte du fait que nombre d'usines entièrement nouvelles ont été créées depuis la mise au point du procédé.

Les premières réalisations industrielles de la coulée continue sont apparues en Europe (1951/52) et ce procédé se développe maintenant dans le monde entier. Toutefois, la coulée continue des aciers effervescents présente encore de grosses difficultés qui, tant qu'elles ne seront pas surmontées, constitueront une entrave générale à l'extension de ce procédé.

La coulée sous vide est également d'origine européenne. Elle est bien introduite dans les usines de la Communauté, mais elle est surtout implantée aux U.S.A. où elle contribue, tout comme dans les pays de la C.E.C.A., au développement des aciers de qualité.

La diffusion des innovations produites par les constructeurs de laminoirs est rapide et sans frontières. Ces techniques nouvelles ne sont en général applicables économiquement qu'aux unités importantes, et la vitesse d'implantation est donc essentiellement fonction des possibilités technico-économiques et financières des entreprises; l'organisation rationnelle du marché et de la production en est le principal facteur d'accélération. Dans ce domaine, les Etats-Unis et le Japon, ainsi que le Royaume-Uni pour certains secteurs, sont en avance sur les pays de la CECA.

### III. CONCLUSIONS

Le tour d'horizon sidérurgique entrepris pour répondre à la question parlementaire de M. PEDINI et de Mme GENNAI TONIETTI dégage ainsi une impression d'ensemble assez satisfaisante, confirmant des appréciations portées antérieurement.

Sur le plan de la recherche sidérurgique, qu'elle soit fondamentale ou appliquée, la Communauté occupe une place très honorable comparativement aux pays tiers les plus industrialisés. Si, dans certains secteurs de cette industrie, elle a joué un rôle de premier plan dans le développement du progrès technique, dans d'autres, le progrès est plutôt venu de l'extérieur. Cette situation est identique aux U.S.A.,

en U R S S et au Japon; aucun pays du monde ne peut prétendre avoir le "leadership" dans tous les domaines de la sidérurgie.

On peut donc dire que la sidérurgie communautaire se distingue très nettement, à ce point de vue, d'autres branches de l'économie dont on sait qu'elles accusent un retard considérable vis à vis des grands pays tiers; tel est le cas de l'électronique et de l'ensemble des activités spatiales.

Pour conserver sa place, la sidérurgie européenne doit intensifier ses efforts de recherche au moins dans une mesure égale à celle que l'on observe dans d'autres pays industrialisés. La dimension devenue relativement modeste de beaucoup de nos usines constitue un obstacle à la recherche dans l'entreprise. Les restructurations d'un récent passé et celles à venir vont certainement améliorer le potentiel de la recherche des entreprises.

La création d'instituts de recherche nationaux a été et reste pleinement une autre méthode de concentration des moyens de recherche et de coordination des efforts. Il importe de mettre l'accent sur la présence dans la CECA de ces instituts nationaux réalisant des recherches coopératives, ce qui n'existe pas dans les autres pays. C'est là un point fort de la Communauté. De plus, les instituts pourront tirer avantage de la création d'unités industrielles plus puissantes, lesquelles auront davantage tendance à entretenir une activité de recherche propre que beaucoup d'entreprises de taille modeste. La coopération entre l'Institut national et un service de recherche d'entreprises promet un accroissement d'efficacité.

A l'échelle de la Communauté, l'action de coordination des efforts nationaux, avec diffusion à tous les intéressés de la Communauté des résultats obtenus, reste un objectif privilégié ! Le cadre dans lequel la coordination s'exerce le plus facilement est celui de projets de recherche conçus et exécutés par plusieurs entreprises et/ou instituts de la Communauté, grâce notamment à l'action stimulante du financement partiel par la Haute Autorité.

Les quelques servitudes que nécessite la mise sur pied d'une action communautaire en matière de recherches (exclusion de certains sujets qui touchent directement à la compétition entre entreprises, organisation plus complexe afin d'assurer une mise à disposition sans discrimination des résultats, dépenses supplémentaires entraînées par les contacts nécessaires entre les chercheurs des six pays) sont sans commune mesure avec les avantages que comporte cette action.

En effet, il est indéniable qu'actuellement, devant la complexité de plus en plus grande des problèmes examinés, s'impose de façon absolue la nécessité pour les chercheurs d'être au courant des expériences qui se font ailleurs. On évite ainsi les doubles emplois de plus en plus coûteux, tant en assurant une meilleure valorisation de l'effort individuel et des possibilités d'accélération des travaux.

\*

\* \*

Parmi les domaines de la recherche sidérurgique où la Communauté accuse un certain retard, on peut citer la recherche fondamentale concernant la physique du métal et corrélativement les recherches d'application conduisant à la découverte de tels ou tels produits nouveaux d'application particulière. Plus généralement, la recherche de produits nouveaux, dont certaines activités avancées, telle l'électronique, tirent une grande partie de leur dynamisme et de leurs résultats, semble moins poussée dans la sidérurgie de nos six pays que dans celle d'autres pays industriels.

Il ne faut toutefois pas perdre de vue que la sidérurgie est une industrie dont le rôle essentiel est de fournir des produits de masse de qualité à des prix aussi compétitifs que possible; il est donc normal que son effort de recherche s'exerce largement dans ce sens.

Néanmoins, la recherche de produits sidérurgiques nouveaux ou améliorés dans la Communauté mérite encouragement, à une époque où l'un des problèmes importants qui se posent à la sidérurgie est l'élargissement de ses débouchés.

\*

\* \*

L'application des techniques nouvelles à l'industrie - but final de la recherche - dépend de divers facteurs dont deux au moins jouent en défaveur des entreprises communautaires : leur dimension et leur ancienneté. Ce n'est cependant que dans le domaine des laminoirs, où la recherche est l'affaire des constructeurs plus que des exploitants, que se manifeste nettement la supériorité des très grosses entreprises américaines. Les modifications de structure intervenues récemment, celles qui se développeront dans l'avenir, faciliteront à la fois l'effort de recherche et l'application industrielle des connaissances et techniques nouvelles.

PHYSIQUE DU METAL

1ère partie : Etude comparative sur l'état de  
développement des diverses caté-  
gories d'aciers produites dans la  
Communauté et les pays tiers

---

(par le Dr Ing. SCHMITZ, Verein Deutscher  
Eisenhüttenleute - Düsseldorf)



Le présent rapport représente une contribution à l'étude comparative sur l'état de la recherche et de l'introduction du progrès technique dans la sidérurgie de la Communauté et des pays tiers.

Ont été pris en considération comme pays tiers :

Les Etats-Unis d'Amérique du Nord,  
L'Union des Républiques socialistes soviétiques,  
Le Japon,  
La Grande-Bretagne,  
de même que la Suède et l'Autriche pour certains  
aciers spéciaux.

En examinant la situation dans ces pays on obtient en fait une vue d'ensemble de l'état de la production sidérurgique dans le monde.

Le rapport se bornera à apprécier les propriétés d'emploi d'aciers ayant un champ d'application assez vaste ou présentant un caractère indispensable pour la technique actuelle. Certes, la répartition des groupes d'aciers utilisés ci-après et l'ordre suivant lequel ils ont été classés n'ont pas fait l'objet d'un accord international et ne figurent pas dans des statistiques internationales, mais ils sont néanmoins commodes pour une étude générale. Du point de vue de l'utilisation finale de l'acier on peut distinguer :

1. Les aciers de construction - Aciers pour éléments de construction - dont la majeure partie ne subit pas de traitement thermique lors de sa transformation et le reste est destiné à subir un traitement de trempe et revenu, ou soumis à un traitement superficiel par l'utilisateur.
  2. Les aciers à outils, destinés à l'usinage ou à la transformation d'autres matériaux.
- En raison de leurs propriétés particulières autres que mécaniques, il conviendrait d'isoler de ces deux derniers groupes et de considérer comme groupes autonomes:
3. Les aciers résistants aux produits chimiques et
  4. Les matières ferreuses ayant des propriétés physiques (électriques, magnétiques, thermiques) particulières.





## 1. Aciers de construction

### 1.1 Aciers qui ne sont pas destinés à subir un traitement thermique chez les utilisateurs

Avant de passer en revue ce groupe d'aciers qui représente dans tous les pays industriels la majeure partie de la production - généralement plus de 75 % - il convient de rappeler les procédés d'affinage utilisés couramment dans les pays faisant l'objet de cette étude comparative. Ce n'est qu'à l'intérieur de la Communauté européenne du Charbon et de l'Acier et en Suède que l'acier Thomas joue un rôle important en raison des disponibilités en minerais de fer riches en phosphore de l'Europe occidentale. Les autres procédés d'élaboration de l'acier - Siemens Martin, soufflage à l'oxygène et four électrique - sont utilisés tant dans la Communauté que dans le reste du monde. L'absence de l'acier Thomas dans les pays tiers comparés s'accompagne d'une diminution du nombre de catégories d'aciers et de la suppression de nombreuses questions de qualité et d'examen entraînées par les différences existant entre l'acier Thomas et les aciers élaborés selon d'autres procédés en ce qui concerne l'aptitude au formage à froid et au soudage et la tendance à la rupture fragile et au vieillissement.

L'acier Thomas ne présente d'avantages remarquables qu'en ce qui concerne l'aptitude à l'usinabilité, en particulier lorsqu'il est étiré à froid. C'est ainsi que l'acier de décolletage effervescent provenant du convertisseur Thomas et ayant par ailleurs la même composition, donne la meilleure vitesse de coupe pour une durée égale de l'outil. Si on ajoute, comme on le fait aux Etats-Unis, de l'azote en plus de la combinaison avec le soufre à l'acier Siemens-Martin, on obtient une aptitude à l'usinabilité identique. Les brevets pour l'amélioration de l'aptitude à l'usinabilité par addition de plomb et, récemment, de tellure, de sélénium ou de bismuth, proviennent des Etats-Unis; toutefois de tels aciers sont également connus et produits dans la Communauté.

Pour le groupe économiquement important des aciers de construction d'usage général, soit utilisés sous forme de profilés, de tôles et de larges bandes, ainsi que de laminés marchands destinés à la construction de bâtiments, ponts, navires, routes, rives fluviales, etc., soit les ronds à béton, il n'existe pas de différences importantes dans le classement des nuances de qualités et les garanties, contrairement à ce que pourraient laisser croire les normes les plus utilisées et les conditions de livraison. Les écarts entre les propriétés d'emploi garanties sont dus en partie à des différences dans les conditions usuelles de fabrication. Il a déjà été signalé qu'il faut toujours tenir compte du procédé Thomas en Europe occidentale; toutefois les quantités et la composition de la ferraille utilisée jouent également un rôle. Pour une part, les écarts existant dans les propriétés garanties doivent être attribués aux "coefficients de sécurité" considérés nécessaires par le producteur d'acier en tant que différence entre la valeur maximale ou minimale qui peut être obtenue et celle qui peut être garantie. Quoiqu'il en soit, les expériences faites en matière d'exportation et d'importation, ainsi que les renseignements fournis par les publications ne donnent aucune raison de penser que la précision et la régularité des catégories d'aciers les plus courantes sont supérieures dans les pays extérieurs à la Communauté.

Par contre, il semble que les connaissances soient plus poussées en Europe quant à la soudabilité et à la résistance à la rupture fragile des aciers de construction, ainsi qu'en ce qui concerne le contrôle de ces aciers et le choix des nuances d'acier appropriées. De même, l'Europe a acquis plus d'expérience quant aux avantages du recuit de normalisation et à son remplacement, de valeur équivalente, par le laminage à température contrôlée.

Il a fallu plus de 3 décennies pour que se développe à partir des aciers de construction d'usage général le groupe des aciers soudables à haute résistance dont l'Amérique et le Japon sont aujourd'hui les chefs de file incontestés. Depuis quelques années déjà des entreprises de ces deux pays produisent des aciers ayant une limite d'élasticité d'au moins 80 à 90 kg/mm<sup>2</sup>, on sait que des aciéries européennes ont pris des licences pour divers aciers de ce groupe. Un développement plus rapide de ces aciers a d'ailleurs certainement été freiné par les dispositions des divers règlements existant dans les pays de la Communauté. L'importance croissante de ces aciers apparaît dans la statistique de l'American Iron and Steel Institute, d'après laquelle leurs ventes s'élèvent à :

<u>Année</u>	<u>1955</u>	<u>1958</u>	<u>1964</u>
en tonnes métriques	632 000	422 000	1 662 000
en pourcentage des ventes de tous les produits sidé- rurgiques	0,83	0,79	2,17

De tels aciers sont utilisés pour des canalisations qui à des températures climatiques sont soumises à de hautes pressions, comme par exemple pour le transport du pétrole ou du gaz naturel, pour des véhicules automobiles et des machines de construction de routes, pour ne citer que leurs principaux champs d'application. Pour être à même de parvenir à une grande précision dans la production de ces aciers qui, eu égard à leur soudabilité, ne peuvent présenter qu'une faible teneur en carbone, il convient de connaître avec exactitude les additions qui, conjuguées avec un cycle thermique approprié, donnent un grain très fin et un durcissement structural.

Rappelons brièvement les aciers résistant aux intempéries (corrosion atmosphérique) qui sont connus depuis longtemps mais auxquels on attache aussi depuis peu un intérêt croissant dans les pays de la C.E.C.A., leurs possibilités d'utilisation ayant été explorées méthodiquement par l'industrie sidérurgique américaine.

Les aciers pour réservoirs à pression et chaudières à vapeur sont à peu près identiques dans les pays industriels les plus importants. On peut déduire des discussions sur le plan international entreprises sur les conditions de livraison et les règles de calcul, ainsi que des discussions scientifiques, que les techniciens d'Europe occidentale paraissent avoir de meilleures connaissances en ce qui concerne la capacité de résistance et les valeurs caractéristiques de matériaux déterminantes pour le calcul.

En ce qui concerne le groupe important des aciers doux pour le formage à froid - tôles fines, tôles très minces, fer blanc et larges bandes correspondantes - on peut considérer que leur qualité est sensiblement la même dans tous les pays ayant une industrie sidérurgique. Il ne s'agit pas de contester que l'Amérique a joué un rôle de pionnier dans la production et l'utilisation de certaines nuances d'acier. On peut citer, à titre d'exemple, l'acier d'emboutissage calmé uniquement à l'aluminium, la production d'acier à faible

1909/67 f

teneur en carbone et en azote obtenu par recuit en boîtes expansées, la bande étamée électrolytiquement d'une épaisseur de 0,05 mm seulement, le traitement thermique des bandes étamées électrolytiquement pour obtenir une résistance élevée ou une couche d'alliage fer-étain plus résistante à l'égard de certains produits, la bande pour boîtes à conserves métallisée à l'aluminium. Parmi les contributions japonaises à la production d'acier pour boîtes à conserves non entamées, mentionnons les bandes revêtues d'oxyde chromique ou de chrome métallique. Certains de ces produits ne sont pas encore fabriqués à l'heure actuelle dans les pays du Marché Commun, les possibilités d'exploitation économique n'ayant pas encore été créées et la demande étant de ce fait inexistante.

#### 1.2 Aciers pour trempe et revenu et pour trempe superficielle

Pour la majorité des aciers pour traitement de trempe et revenu, de cémentation, pour trempe superficielle par induction, de nitruration, des aciers à ressorts et à roulements, utilisés pour les machines, les automobiles, le matériel roulant et les avions, on peut également affirmer que leur composition et leurs propriétés mécaniques ne varient guère de pays à pays. Le fait que, suivant les pays, on écoule une plus grande quantité d'aciers ayant, soit une assez forte teneur en molybdène, soit une assez forte teneur en nickel, ou encore d'aciers faiblement alliés, est dû aux disponibilités en alliages ou aux prix des divers alliages d'une part et à l'attitude ou aux exigences des transformateurs et des utilisateurs d'autre part.

Pour les pièces très fortement sollicitées qui, si elles venaient à se détériorer prématurément, entraîneraient des dommages importants, voire des dangers considérables, dans le domaine de l'aéronautique par exemple, il est normal qu'on exige une propreté très poussée en inclusions non métalliques. Les procédés spéciaux d'élaboration qui sont alors nécessaires ont été mis au point en Europe, bien qu'aujourd'hui ils soient peut être utilisés par l'Amérique et peut être aussi la Russie sur une plus grande échelle, parce que ces pays ont de plus grands besoins en matériaux pouvant être soumis à de très fortes sollicitations pour l'aéronautique, les engins spatiaux et les fusées.

Les Américains ont de l'avance dans la production d'aciers de construction à très haute résistance ayant des limites d'élasticité comprises entre 150 et 220 kg/mm<sup>2</sup> et possédant une ténacité suffisante, dont le développement est également lié à la technique aéronautique et spatiale.

Les aciers "maraging" qu'il faut mentionner ici sont fabriqués également sous licence dans la Communauté européenne et il en serait de même des aciers "ausforming" s'il existait une demande de ces produits.

Les impulsions reçues de la construction d'avions et de fusées ont aussi donné de l'avance à l'Amérique dans le domaine des aciers résistant à des températures très élevées (et des alliages non ferreux); nous ne possédons pas de publications assez précises pour la Russie. Toutefois, étant donné que des recherches sont également constamment effectuées dans ce domaine par les pays de la Communauté, la situation pourrait facilement se renverser.

Pour les aciers ferritiques et austénitiques résistant à des températures pouvant aller jusqu'à environ 700°, l'état des connaissances et de la production semble être à peu près identique dans tous les pays.

## 2. Aciers à outils

Les aciers utilisés en quantités assez importantes pour la fabrication d'outils travaillant à froid ou à chaud sont à peu près les mêmes dans tous les pays. Toutefois, pour ces aciers également, on note l'influence de l'approvisionnement en alliages sur la relativité des prix d'éléments d'alliages interchangeable; c'est ainsi qu'en Amérique on préfère le molybdène, en Russie le tungstène - à côté d'autres additions bien sûr. Il est encore impossible de juger si les aciers désignés dans les publications américaines comme aciers pour usinage à froid avec addition de cuivre et aciers pour usinage à chaud avec addition de cobalt, constituent un progrès durable.

Même pour les aciers à coupe rapide, on ne peut observer que des différences minimes dans la composition, l'élaboration, le traitement thermique et le rendement. Tous les pays comparés connaissent les aciers ayant une teneur en carbures particulièrement élevée qui se caractérisent par la résistance à l'usure et la dureté au rouge et ont éventuellement une teneur élevée en cobalt destinée à améliorer leur ténacité.

### 3. Aciers résistants aux produits chimiques

Les aciers inoxydables ordinaires sont équivalents dans tous les pays industriels. De même le développement des catégories principales par adaptation aux domaines d'application respectifs se caractérise par une large harmonisation. Des entreprises de la Communauté s'efforcent, par addition d'azote, de remédier au désavantage que représente la limite d'élasticité relativement faible des aciers austénitiques à très faible teneur en carbone et semblent en avance sur d'autres pays dans ce domaine. Par contre, les entreprises américaines offrent un plus large éventail d'aciers à durcissement structural et par conséquent très résistants. Ce sont elles aussi qui ont eu l'idée d'améliorer par l'addition de cuivre l'emploi des aciers austénitiques pour le refoulement à froid.

Pour les aciers résistant aux températures élevées, y compris les alliages conducteurs de la chaleur, la composition des alliages est presque la même dans tous les pays. Cela n'exclut pas que l'on utilise en Amérique des catégories d'aciers qui ne sont pas fabriquées en Europe et vice-versa.

Par contre, en ce qui concerne les alliages pour les températures très élevées, c'est l'Amérique du Nord qui est à nouveau le chef de file.

En ce qui concerne les aciers résistant à l'action de l'hydrogène sous pression, dont on a besoin pour le traitement du pétrole et la fabrication de matières colorantes, de matières plastiques et d'engrais, les progrès ont été réalisés alternativement par l'Europe et l'Amérique.

Les progrès accomplis dans le domaine des aciers pour soupapes d'admission et d'échappement de moteurs à combustion sont dus en grande partie à des travaux effectués par les Américains. Mais cela ne signifie pas que ces aciers ne pourraient pas être fabriqués en Europe avec une capacité égale.

#### 4. Aciers ayant des propriétés physiques particulières

Mentionnons tout d'abord le groupe le plus important par les quantités : le groupe des aciers doux magnétiques pour générateurs (dynamos), transformateurs, translateurs, convertisseurs et relais pour lesquels importe la faible perte de magnétisation ou la perméabilité élevée. Des entreprises américaines ont fait de grands efforts de développement dans ce domaine de l'acier, surtout en recherchant les conditions du laminage à froid et du traitement thermique permettant d'obtenir dans les tôles minces des grains uniformément orientés aussi gros que possible. Mais, à condition de payer des droits de licence, on peut aussi fabriquer des matériaux identiques en Europe.

Dans le domaine des aciers pour aimants permanents on constate à l'heure actuelle une légère avance de l'Amérique et du Japon, mais, grâce aux travaux qui sont constamment effectués par les sociétés européennes, cette avance pourrait facilement se transformer en retard.

En ce qui concerne les alliages pour les bilames, les fils pour soudure au verre et les aciers amagnétiques, on ne peut signaler aucune différence importante quant à leur état de développement entre les pays faisant l'objet de la comparaison.

#### 5. Résumé

Pour l'essentiel, les pays de la Communauté disposent d'aciers ayant les mêmes propriétés pour les différents champs d'application que les aciers des autres grands pays industrialisés. Les Etats-Unis et le Japon ont de l'avance dans le domaine des aciers de construction soudables à haute résistance et ayant des limites d'élasticité

1909/67 f

minimales allant jusqu'à  $90 \text{ kg/mm}^2$ ; l'Amérique a également de l'avance dans le domaine des aciers de construction très résistants ayant des limites d'élasticité supérieures à  $150 \text{ kg/mm}^2$ . Ces deux groupes d'aciers sont là pour témoigner que les besoins de secteurs de la technique extérieurs à l'industrie sidérurgique entraînent le développement d'aciers particuliers et que l'on peut s'attendre avec certitude à ce que de tels aciers soient fabriqués dans la Communauté lorsqu'il existera une demande correspondante.

Une demande importante conditionne également, en Amérique et en partie aussi au Japon, la production de bandes d'acier particulièrement minces ou à faible teneur d'étain voire sans étain, pour la fabrication des boîtes à conserves.



P H Y S I Q U E   D U   M E T A L

2e PARTIE : Etude comparative sur l'état de la  
recherche-innovation dans le domaine de la  
physique du métal dans la Communauté et les  
pays tiers

---

(par M. HABRAKEN, Ingénieur en Chef  
au Centre National de Recherches  
Métallurgiques - LIEGE)



## Introduction

La comparaison du développement des diverses catégories d'aciers produites dans les pays de la Communauté et dans d'autres pays industriels, montre que les Etats-Unis et le Japon notamment ont une certaine avance. Celle-ci se marque spécialement pour des catégories d'aciers bien définies, comme il ressort de la première partie de cette étude. De plus, dans certains cas, si la situation est plus favorable, elle est due, semble-t-il, à l'acquisition de licences provenant des Etats-Unis d'Amérique notamment.

On peut se demander dans quelle mesure les progrès réalisés dans ces pays sont liés aux développements scientifiques récents, notamment de la physique du métal, ou uniquement à d'autres facteurs tels que :

- la plus grande échelle des entreprises sidérurgiques;
- une demande plus forte pour des produits spéciaux;
- le fait que la sidérurgie soit orientée plus nettement vers les produits nouveaux et moins vers l'amélioration des procédés d'élaboration;
- l'orientation plus marquée de la physique du métal vers l'application.

Certes, et spécialement dans nos pays, la sidérurgie a pris conscience dans les dernières décades, de l'utilité des connaissances scientifiques. Grâce aux données physico-chimiques récentes, elle a pu mieux comprendre et adapter ses procédés d'élaboration, améliorer les produits, obtenir un métal plus propre, réaliser un acier dont la composition chimique corresponde aux propriétés mécaniques souhaitées. Ces travaux ont été menés avec d'autant plus de célérité, que jusqu'à ces dernières années, la sidérurgie lourde estimait souvent que la composition chimique était l'unique variable intéressante pour l'obtention des propriétés mécaniques.

Par contre, la sidérurgie ne semble pas avoir pris conscience aussi aisément du rôle de la physique du métal, et cependant, en dernière analyse, c'est celle-ci qui seule est réellement apte à

établir la corrélation entre la structure à l'état solide et les propriétés mécaniques des aciers.

### La physique du métal

Nous voudrions pour débiter analyser l'état d'avancement de la physique du métal, dans les pays de la Communauté, et le comparer à celui des autres grands pays industrialisés. Nous définirons tout d'abord ce que nous entendons par la physique du métal.

Cette science presque limitée, il y a quelques années encore, à l'utilisation du microscope optique et d'analyses physiques (thermique, magnétique et dilatométrique) s'est développée brusquement par l'introduction de nombreuses techniques nouvelles de rayons X, de microscopie électronique, de frottement intérieur, etc., en même temps que les méthodes de mesure des propriétés physiques et mécaniques s'affinaient et se perfectionnaient de plus en plus. Ces techniques ont confirmé la structure cristalline des métaux et récemment montré le rôle majeur des imperfections (dislocations et lacunes), ainsi que le rôle des atomes d'insertion et de substitution, et des précipités. Ces défauts de structure sont en fait à la base des propriétés mécaniques. C'est la raison pour laquelle, en quelques années, on a vu se développer un ensemble de disciplines très diverses, groupées sous l'un ou l'autre des vocables collectifs: métallurgie structurale - métallurgie physique - physique du métal - science des matériaux, qui toutes tendent, à des degrés divers, à une connaissance de plus en plus complète de la structure et des relations entre la structure et les propriétés. C'est l'appellation "Physique du Métal" que nous utiliserons dans le présent rapport pour désigner l'ensemble de ces disciplines.

### Situation de la physique du métal à l'étranger

On assiste actuellement dans plusieurs pays, et principalement aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne, en Russie et au Japon, à une activité croissante en physique du métal. Le travail des chercheurs se situe sur le plan scientifique et sur le plan pratique. Il intéresse l'université, les instituts de recherches, le laboratoire

des sociétés industrielles. Sur le plan scientifique, il conduit à une meilleure connaissance des phénomènes. Sur le plan pratique, il s'étend déjà aux applications, permettant la réalisation d'aciers de plus en plus résistants. Les idées avancées conduisent même à définir des techniques nouvelles pour l'amélioration des propriétés des aciers et alliages.

Aux Etats-Unis, et peut-être dans une mesure moindre au Japon, il est incontestable que les groupes sidérurgiques importants ont créé de grandes unités de recherches, bien équipées. Elles ont d'abord, conjointement avec l'université, cherché à comprendre les résultats acquis empiriquement, et très vite, elles ont appliqué les connaissances de la physique du métal à des cas nouveaux. De plus, leur activité a permis d'accroître considérablement nos connaissances de base sur les propriétés du fer et de l'acier. Celles-ci étaient comparative-ment moins développées que pour les métaux cubiques à faces centrées, ou pour les semi-conducteurs. Les données nouvelles ont été mises en application par des équipes de chercheurs plus proches des fabrications. Dans ces industries le rôle de la physique du métal s'accroît progressivement et nous n'en voudrions comme preuve que la mise au point des aciers à "dispersoides", des aciers "maraging" et des tôles à grains orientés. Il est certain que de telles unités ont apporté une aide efficace dans la réalisation d'aciers à haute et à très haute résistance, si même leur effet a été moindre pour les aciers de masse. Ceci laisse présager que la sidérurgie arrivera dans un avenir très proche à un stade où la physique du métal lui sera indispensable; les produits nouveaux trouvent leur point de départ, non dans un semi-empirisme, mais dans les connaissances scientifiques.

#### Situation de la physique du métal dans la Communauté

Au sein de la Communauté, il est incontestable que si l'on excepte quelques cas particuliers, le développement de la physique du métal est plus lent et n'atteint pas le niveau observé dans certains pays étrangers. Les réalisations spectaculaires que nous venons de décrire ont toutefois suscité une certaine réaction. Elle

a conduit à des développements dans les universités, certains instituts de recherches, mais d'une manière générale, on ne rencontre pas d'école spécifiquement européenne, ni en physique du métal (sauf pour le magnétisme), ni dans le domaine de ses applications.

En ce qui concerne les premiers instituts de recherches liés à la sidérurgie, on peut observer qu'ils comportaient souvent des laboratoires de physique importants. Toutefois, ceux-ci ne semblent pas s'être développés dans le même sens que les unités de recherches étrangères décrites ci-dessus. Peut-être un certain manque de liaison avec les milieux de fabrication, une importance numérique trop faible, les ont amenés parfois à ne pas trouver assez rapidement leur place, et de ce fait, à se replier sur eux-mêmes. La sidérurgie, tout en admettant l'intérêt des travaux accomplis, n'a pas vu la nécessité d'accroître l'effort initial, estimant que des résultats tangibles ne pouvaient être que l'aboutissement de longs efforts d'équipes nombreuses.

Cependant, si l'on établit un rapide inventaire des connaissances acquises au cours des dernières années dans le monde, et si l'on se demande notamment quel est l'apport des pays de la Communauté à la physique du métal, on peut se rendre compte que :

- un certain nombre de techniques nouvelles y ont pris naissance : microanalyse par sonde électronique, frottement intérieur, microfractographie, ... mais il faut reconnaître qu'elles ont été largement développées aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne. Le volume des travaux que ces techniques a entraîné est actuellement plus élevé que dans les pays de la Communauté grâce à la formation plus "physique" donnée par les universités à leurs métallurgistes;
- l'étude des imperfections de la structure qui sont à la base des propriétés du métal a également pris naissance en Europe occidentale, mais des pays comme la Grande-Bretagne et les Etats-Unis ont réalisé des efforts considérables pour l'étude de ces anomalies de structure. Leur importance semble y avoir été mieux comprise, et l'effort dans ce domaine de recherches plus élevé que dans les pays de la Communauté;

- on trouve la même situation dans les travaux sur les solutions solides interstitielles, les phénomènes de précipitation et d'apparition d'une structure ordonnée, le vieillissement, dont on connaît l'importance particulière pour les propriétés des aciers. Ici encore, l'impulsion initiale a été donnée dans nos pays, mais l'effort de recherche est actuellement plus grand à l'étranger et jusque dans les laboratoires des sociétés sidérurgiques;
- dans des domaines plus pratiques, certains aciers spécifiques, des techniques telles que le laminage contrôlé ou le filage à la presse,... sont aussi l'oeuvre de techniciens de la Communauté; mais alors que les uns et les autres se développent largement dans les pays à technologie très avancée, ils se développent peu dans nos pays;
- signalons enfin que dans certains domaines de recherches, des laboratoires de la Communauté, universitaires ou autres, passent actuellement des contrats avec des organismes américains tels que la NASA, l'U.S. Air Force, pour l'étude de matériaux spéciaux. Les sujets étudiés s'intègrent dans des études de groupes où l'on laisse à l'Europe une partie des aspects scientifiques. De plus, des laboratoires de recherches privés américains s'installent en Europe, pour y bénéficier des connaissances et de l'ingéniosité des chercheurs de la Communauté (Battelle, ERA,...).

Cette situation générale, tant dans le domaine fondamental que dans le domaine appliqué, montre que les pays de la Communauté possèdent certainement un noyau de chercheurs qualifiés, et même que la valeur de ces chercheurs est reconnue à l'étranger.

Il en résulte que dans le cadre de la recherche fondamentale, les pays de la Communauté ont donné, il y a quelque vingt-cinq ans, l'impulsion initiale dans de nombreux domaines de la physique du métal. Il est certain que l'avance que la Communauté possédait à cette époque s'est perdue, parce que des pays tels que les Etats-Unis et la Grande-Bretagne ont développé un effort de recherche considérable. Peut-être à l'époque déjà, les dialogues entre métallurgistes et physiciens n'ont pu suffisamment s'établir dans nos pays, en raison des structures ou de la mentalité existante, ce qui a amené un certain isolement des chercheurs. Il en résulte d'ailleurs que pro-

gressivement, le déphasage entre les recherches effectuées dans la Communauté et à l'étranger s'est accentué. Actuellement, si la Communauté dispose de chercheurs, on peut se demander s'ils sont en nombre suffisant, si les équipes sont assez importantes, s'il n'y aurait pas lieu d'orienter même au point de vue fondamental, certains groupes dans d'autres voies.

Pour situer la position de la recherche fondamentale, dans les pays de la Communauté, nous pouvons faire l'inventaire des travaux publiés au cours des dernières années, dans une revue internationale de niveau très élevé "Acta Metallurgica". Parmi les études théoriques susceptibles d'intéresser la sidérurgie, nous avons relevé en 1963 et 1964, 177 publications réparties comme suit (voir tableau). Si l'on compare le nombre de travaux publiés par chaque pays à la production d'acier, on note que pour les Etats-Unis et la Grande-Bretagne, on se trouve dans une position assez comparable, alors que les pays de la Communauté se situent nettement en arrière. Ces chiffres n'ont qu'une valeur relative, mais nous pourrions souligner que d'autres revues aux Etats-Unis ou en Grande-Bretagne, traitent encore souvent de physique du métal, tandis que des revues de ce niveau existent peu dans les pays de la Communauté, ce qui ne fait qu'accroître ce décalage. Or, il est évident que des travaux de ce genre constituent la base des recherches d'application pour l'avenir.

Il faudrait pouvoir établir la même comparaison en ce qui concerne les recherches s'occupant d'applications. Il semble ici que la Communauté soit dans une position encore plus défavorable. Ceci est dû peut-être à l'échelle de nos sociétés industrielles qui ne peuvent entreprendre individuellement des recherches d'envergure.



TABLEAU

	1963	1964	Totaux
U.S.A.	53	50	103
Grande-Bretagne	11	20	31
Pays de la C.E.C.A.	16	10	26
Commonwealth	1	4	5
Autres pays y compris le Japon	4	8	12
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	85	92	177



En effet, le coût des travaux de ce genre est élevé et cette charge ne peut être supportée par une seule société. Or, les recherches à ce stade s'intéressent au produit fini, et la concurrence entre les différentes sociétés joue pleinement. Dans ces conditions, les entreprises ne peuvent que partiellement s'unir pour organiser les recherches en commun. Pour certains de ces travaux, on peut se demander si les directions n'écourent pas trop leurs conseillers économiques, qui s'attardent à un esprit de concurrence à court terme, perdant de vue qu'elles auraient peut-être intérêt à s'unir en vue de lutter contre une concurrence à long terme. On peut aussi noter que, pour ces recherches appliquées, la demande de certains aciers, où la physique du métal joue vraiment son rôle, existe à peine dans les pays de la Communauté. Si l'on attend cette demande, la physique du métal dans nos pays tendra à suivre le progrès plutôt qu'à le précéder. On pourrait imaginer la situation inverse dans laquelle la physique du métal, mieux comprise, s'attacherait à la recherche de nouvelles propriétés et à la création de nouveaux aciers. Si ceux-ci pouvaient être fabriqués dans des conditions satisfaisantes, s'ils permettaient à l'utilisateur une construction plus économique, ils trouveraient certainement leur place sur le marché. Cette conception serait plus rentable à long terme que celle consistant à attendre que la demande de nouveaux aciers vienne de la clientèle, ce qui revient en fait à suivre avec un retard inévitable, les initiatives de la concurrence étrangère.

En résumé, notre comparaison montre que:

- la recherche fondamentale en physique du métal s'est laissé devancer dans les pays de la Communauté et demanderait à être développée, et peut-être réorientée;
- les groupes de recherches d'application n'ont pu, pour diverses raisons, se développer d'une manière satisfaisante, ce qui a fortement contribué à accentuer le retard des pays de la Communauté;

- le manque d'industries avancées, nucléaires, spatiales ou aéronautiques n'a pas permis, comme dans d'autres pays, de préciser les "besoins" et de mettre en oeuvre de grandes équipes de recherches, souvent subventionnées directement par les pouvoirs publics.

Toutefois, il semble que la Haute Autorité prenne conscience de ces problèmes et cherche à promouvoir des recherches générales, tant fondamentales que pratiques, dans le domaine de la physique du métal. Ce serait le cas d'une recherche commune sur les aciers à dispersoïdes.

#### Extension des recherches en physique du métal

Que pourrait apporter au développement de l'acier, à son pouvoir concurrentiel, une extension des recherches en physique du métal ?

Pour notre part, nous sommes convaincus que cette extension est indispensable, car la complexité croissante des problèmes qui se posent laisse de moins en moins de place à l'empirisme.

Pour les aciers de masse, les problèmes de laminage, de refroidissements contrôlés, peuvent bénéficier des connaissances de la physique du métal et améliorer les qualités de l'acier, et ceci n'est qu'un exemple.

Dès que l'on passe aux aciers à haute résistance, les problèmes de traitements thermiques, la soudure, en plus de la détermination des compositions ultimes sont intimement liés aux connaissances en physique du métal.

Dans les aciers à très haute résistance, les alliages ferreux, il est incontestable - et trop souvent ce sont les travaux étrangers qui nous le montrent - que ce sont les données de la physique du métal qui conduisent aux propriétés ultimes.

En résumé, on ne peut concurrencer avec succès les aciers américains ou japonais qui, indépendamment d'autres facteurs, ont largement utilisé les connaissances de la physique du métal, sans faire appel aux mêmes moyens. Une utilisation bien comprise d'unités

de recherches suffisamment nombreuses, pouvant à la fois s'occuper des aspects fondamentaux et des problèmes pratiques, les seconds surtout ayant les liaisons voulues avec l'industrie, permettraient certainement à nos pays de reprendre les positions de tête qu'ils avaient antérieurement.

### Conclusions

Nous croyons que les conclusions suivantes se dégagent de cette analyse générale :

1. l'utilisation de la physique du métal, à côté d'autres facteurs, a permis le développement d'aciers nouveaux de haute qualité aux U.S.A., au Japon, en Grande-Bretagne.
2. la position de la physique du métal dans les pays de la Communauté est dans l'ensemble moins avancée que dans d'autres pays. Souvent le nombre de chercheurs s'occupant de ces questions est insuffisant, même si l'orientation des recherches est satisfaisante.
3. une extension de l'activité en physique du métal est indispensable, et nous voudrions suggérer qu'elle se fasse à plusieurs niveaux.

a) Un premier effort devrait être fait au niveau universitaire, l'enseignement de la métallurgie est encore actuellement très axé sur les aspects physico-chimiques.

Ces aspects ont une importance capitale dans l'élaboration de ces aciers, il ne peut être question de les négliger ou de les réduire. Mais il est tout aussi certain que la physique du métal présente la même importance pour les propriétés mécaniques et physiques et qu'elle ne peut être traitée en parent pauvre. Il est essentiel d'orienter certains enseignements dans des voies plus "physiques". Il serait tout aussi utile de compléter ces enseignements par des cours postuniversitaires à l'intention d'ingénieurs en activité.

b) En ce qui concerne la recherche, nous pensons qu'il serait nécessaire d'accroître dans les années qui viennent l'effort dans le domaine de la physique du métal. Toutefois, les plans de recherches devraient être pour la plus grande partie établis en étroite liaison entre les chercheurs et l'ensemble des spécialistes intéressés dans les usines sidérurgiques, de manière à combler au plus tôt le retard actuellement constaté dans les pays de la Communauté. On devrait veiller, dans cette liaison, à ce que les chercheurs prennent exactement conscience des problèmes utiles à résoudre, et également veiller à ce que les sidérurgistes soient mieux informés des possibilités de la physique du métal.

c) Ces recherches auraient deux volets: l'un dont le rôle serait de conduire à des applications à court ou moyen terme, et l'autre qui se consacrerait à des recherches à caractère fondamental, pouvant donner des résultats à long terme. Les recherches dans ce cadre ne devraient pas dépasser quelque 20% de l'ensemble de l'effort total, mais ces dernières recherches sont aussi nécessaires que les précédentes.

ANNEXE 2

HAUTS FOURNEAUX

Etude comparative sur l'état de la recherche-innovation  
et de l'introduction du progrès technique dans le domaine  
de l'élaboration de la fonte dans la Communauté et les  
pays tiers

---

(par le Dr Ing HEYNERT, Direktor bei der  
Phoenix-Rheinrohr A.G. - DUISBURG)





Dans cette étude on trouvera, pour plusieurs secteurs importants de la production de fonte, des comparaisons entre la Communauté et les pays tiers fortement industrialisés, plus particulièrement les Etats-Unis d'Amérique, en ce qui concerne les résultats obtenus en matière de progrès technique et de recherche scientifique, ainsi que les conclusions qui en découlent quant aux mesures qui apparaissent devoir être prises.

## I. Etat de la technique et rentabilité dans le domaine de la production de la fonte

La capacité concurrentielle de la sidérurgie dépend dans une large mesure de la rentabilité de la production d'acier brut. Mais le coût de la fabrication d'acier brut est déterminé, non seulement par celui de la transformation, mais aussi par celui des matières enfournées, en premier lieu la fonte et la ferraille. Avec l'extension du procédé de soufflage à l'oxygène, à laquelle il faut s'attendre, la fonte prend de plus en plus d'importance et le coût de sa fabrication devient le pivot de toutes les considérations économiques.

La rentabilité de la production de fonte dépend dans une même mesure de l'évolution et du progrès technique dans le secteur des procédés métallurgiques et de l'équipement mécanique. L'évolution dans ces deux secteurs a été très différente, en particulier de celle des grands pays industriels que sont les U.S.A., l'U.R.S.S., le Japon et la Grande-Bretagne, de telle sorte qu'il apparaît opportun d'étudier ci-après séparément ces deux secteurs.

### 1. Le progrès technique dans le secteur des procédés métallurgiques

Les recherches et le progrès du secteur métallurgique sont accélérés essentiellement par les exigences de qualité améliorée et plus régulière de la fonte, d'économie de coûts sur l'énergie et à la transformation, ainsi que par les recherches sur les meilleures possibilités d'emploi économique de certaines matières enfournées, et notamment des minerais indigènes et des

minerais à caractéristiques spéciales.

Le besoin en énergie étant l'un des principaux facteurs du coût de production de la fonte, c'est sur ce facteur qu'ont porté les premières recherches et études systématiques. Comme le prix de l'énergie est en Europe particulièrement élevé par rapport aux autres pays, les recherches européennes dans ce domaine ont ouvert la voie. Peu après la première guerre mondiale, plusieurs usines sidérurgiques européennes se sont livrées, en coopération avec les instituts de recherche existant à l'époque, à des travaux théoriques fondamentaux aussi bien qu'à des recherches à l'échelle semi-industrielle et industrielle sur les facteurs qui influencent la consommation de coke au haut fourneau. Il faut citer ici l'étude de l'équilibre dans le déroulement des réactions au haut fourneau, du comportement à la réduction, la mise au point des bilans thermiques et les essais d'écoulement sur modèle et dans la pratique. Au cours de ces recherches, il est apparu qu'outre la teneur en fer des minerais enfournés un rôle décisif revenait à la préparation des minerais. Tant sur le plan théorique que dans la pratique, il avait été démontré que l'énergie fournie par le coke au haut fourneau pouvait être beaucoup mieux employée grâce à une charge composée de minerai en morceaux relativement petits et d'un calibre homogène. La conséquence fut la construction d'ateliers de concassage et de criblage des minerais.

De plus, il était apparu que l'emploi de matières à enfourner très fines agissait défavorablement sur les caractéristiques des hauts fourneaux. Il s'ensuivit l'adoption du procédé d'agglomération par frittage. L'importance du frittage pour le processus au haut fourneau et l'incidence du coût de l'agglomération et de sa qualité sur les résultats obtenus firent entreprendre de nombreuses recherches dans ce domaine. L'étude des différents facteurs agissant sur la résistance mécanique, la qualité chimique des produits et la productivité des ateliers d'agglomération est menée en Europe par un grand nombre d'organismes de recherche privés et publics. Il s'y ajoute des études visant à permettre la commande automatique du processus. On ne constate pas ici de retard par rapport aux autres pays, mais plutôt une avance.

Un autre moyen d'agglomération en morceaux est le bouletage. Sur ce procédé également des recherches furent entreprises très tôt en Europe. Comme toutefois il n'y avait pas d'enrichissement du minerai ni, par conséquent, de production d'éléments extra-fins, la mise au point de ce procédé n'a pas été poursuivie davantage. Ces derniers temps cependant, les essais de bouletage ont été repris de divers côtés, notamment en vue de produire des boulettes mixtes autofondantes, car on envisage de ne plus limiter le bouletage, comme jusqu'ici, aux mines situées outre-mer - où les éléments extra-fins nécessaires sont produits grâce au processus d'enrichissement - mais d'appliquer aussi ce procédé en partie dans les ports d'importation. Les boulettes se sont également révélées une excellente matière d'enfournement pour les hauts fourneaux. Les recherches dans le domaine de l'agglomération par frittage et du bouletage, ainsi que celles qui portent sur l'emploi des matières ainsi obtenues au haut fourneau, sont poursuivies activement dans tous les pays de la C.E.C.A. Elles ont permis de se rendre compte, ces dernières années, qu'une charge de haut fourneau contenant une très forte proportion d'agglomérés ou de boulettes permet d'obtenir les meilleurs résultats économiques. Toutefois il est apparu également qu'il n'est pas possible de donner une réponse valable dans tous les cas sur la proportion optimale d'agglomérés ou de boulettes, celle-ci étant fonction des sources de matières premières utilisées.

En dehors de la préparation du lit de fusion, principal facteur influant sur la consommation d'énergie, un grand nombre d'autres éléments ont été également étudiés et des essais ont été effectués pour savoir dans quelles conditions ils seraient applicables en pratique.

Des efforts considérables ont été entrepris dans le domaine du chauffage du vent. En coopération avec l'industrie des produits réfractaires et avec des spécialistes du secteur de l'énergie et du secteur thermique, c'est encore en Europe, précisément, que des réchauffeurs à haut rendement ont été mis au point et ont

fait l'objet d'essais de fonctionnement à très hautes températures de vent allant jusqu'à plus de 1100° C. Mais ici encore il faut constater que, bien que les travaux fondamentaux aient été effectués en Europe, la température moyenne du vent chaud, encore que supérieure à celle utilisée aux U.S.A., y est inférieure de 100 à 200° C aux températures moyennes auxquelles on opère au Japon et en U.R.S.S.

La différence de prix entre les diverses sortes d'énergie, et notamment le prix relativement très élevé du coke, a donné l'impulsion à des recherches dans un nouveau secteur, celui du remplacement du coke par d'autres combustibles. On notera que c'est dans la Communauté qu'a été mise au point l'injection du fuel oil dans les hauts fourneaux et que c'est elle qui l'a introduite dans d'autres pays, en particulier au Japon. Ainsi l'avance que l'U.R.S.S. et le Japon avaient prise dans le domaine des injections a pu être rattrapée grâce aux encouragements financiers apportés par la C.E.C.A. Il est vrai que, par rapport aux pays situés hors d'Europe, ces combustibles de remplacement ne sont encore employés que dans des proportions modestes. Au milieu de 1964, 40 % environ des hauts fourneaux des U.S.A. étaient chauffés au gaz naturel, 8 % environ au fuel et 2 % au gaz de four à coke. Jusqu'à présent, la Grande-Bretagne et l'Allemagne ne se sont engagées que timidement dans cette évolution, mais ce procédé ne s'arrêtera pas aux frontières de ces pays. Dans les autres pays de la C.E.C.A., au contraire, les installations ont été modifiées à peu près dans la proportion suivante pour permettre l'injection de fuel : 25 % en Belgique, 35 % en France, 40 % en Italie, 50 % aux Pays-Bas, 70 % au Luxembourg.

Une autre possibilité de diminuer la consommation de coke et d'améliorer le rendement des hauts fourneaux consiste à enfourner des matières préalablement réduites. Mais dans tous les pays le procédé de réduction directe des minerais de fer en est encore à ses débuts. Les études et les recherches devraient être suivies attentivement et encouragées.

Un autre moyen d'abaisser la mise au mille de coke et d'accroître la productivité consiste à augmenter la teneur en fer des matières enfournées. On sait que, dans la Communauté, les minerais ont une faible teneur en fer. Aussi divers instituts

procèdent-ils à des recherches intensives sur la possibilité d'enrichir les minerais indigènes. Un certain nombre de procédés ont été élaborés; d'autres recherches, financées en partie par la Haute Autorité, sont en cours. Toutefois, exception faite de cas spéciaux, il n'a pas encore été trouvé de procédé suffisamment rentable pour faire face à la concurrence des minerais riches étrangers. Aux U.S.A., où l'enrichissement des minerais est déjà pratiqué à très grande échelle, cette évolution est rendue possible soit par la qualité du minerai à enrichir, soit, dans une plus large mesure encore, par les aides de l'Etat.

Des recherches importantes sont effectuées quant à la qualité du coke. Les notions aujourd'hui couramment utilisées, telles que l'essai Micum, les indices Graaf et Thibault, ont été développées en Europe; toutefois il semble que ce soit aujourd'hui le Japon qui emploie le meilleur procédé de préparation physique du coke. En Europe, la discussion se poursuit encore sur la rentabilité de telles mesures; des recherches plus poussées pourraient apporter quelque clarté.

Comme une grande partie des minerais indigènes et une certaine partie des minerais étrangers contiennent des impuretés qui en rendent difficile le traitement, des recherches ont commencé très tôt sur le comportement métallurgique de divers laitiers de hauts fourneaux et sur la possibilité d'influer sur ce comportement. Mentionnons, parmi les résultats de ces travaux, la fusion en milieu ultra-acide des minerais de Salzgitte, le travail avec un laitier à fort pourcentage d'alumine et la désulfuration de la fonte hors du haut fourneau.

L'effort d'automatisation ne s'est pas arrêté au seuil de la fabrication de la fonte. Des hommes de science et des instituts connus poursuivent depuis quelques années des recherches très poussées pour trouver une solution à ces problèmes. Les travaux publiés ces dernières années au sujet de modèles mathématiques de hauts

fourneaux, d'une part, et de leur emploi pratique, d'autre part, permettent de se rendre compte qu'ici également l'Europe a accompli les progrès les plus importants.

Certainement, il sera bien difficile, une fois épuisées toutes les possibilités futures d'amélioration, d'éliminer aussi vite le haut fourneau comme partie intégrante d'une usine sidérurgique mixte existante et comportant de grandes unités de production. Néanmoins on ne peut encore savoir si, dans l'avenir, les usines sidérurgiques ne modifieront pas de fond en comble leurs procédés et si, allant jusqu'au bout des conséquences, elles ne renonceront pas à toutes les installations exigeant beaucoup de capitaux, placées en amont des aciéries, telles que mines, cokeries, ateliers de préparation du lit de fusion et hauts fourneaux, pour charger directement dans des fours électriques de grande capacité, des matières préalablement réduites de qualité homogène.

#### Conclusions sur l'état de la technique métallurgique dans le domaine de la production de la fonte

Quelques exemples significatifs permettent de se rendre compte qu'en ce qui concerne la recherche fondamentale et appliquée relative à la technique métallurgique dans le domaine de la production de la fonte, le niveau atteint dans la C.E.C.A. est parfaitement comparable à celui des pays tiers. Le bas fourneau de Liège, au financement duquel la Haute Autorité a contribué, et un grand nombre d'autres recherches bénéficiant d'aides financières de la C.E.C.A. y contribuent fortement. Toutefois, les résultats obtenus en matière de recherche n'ont pas encore été utilisés dans la pratique autant qu'on pourrait le souhaiter. Tel est le cas pour la préparation du lit de fusion, l'agglomération par frittage, le bouletage, l'emploi de vent à températures très élevées et l'injection de combustibles de remplacement.

On peut, sous certaines réserves, considérer comme critère pour l'application de découvertes modernes la mise au mille de coke et par conséquent le rendement des hauts fourneaux. Parmi les pays

comparés, c'est le Japon qui, en 1963, avait la plus faible consommation spécifique de coke, avec 520 kg/t de fonte. Les U.S.A. et l'U.R.S.S. ont des chiffres de 690 et 644 kg/t de fonte. En 1964, la Grande-Bretagne a pu abaisser la mise au mille de coke à 698 kg/t de fonte. Dans la Communauté, l'ordre est le suivant en 1964 : Luxembourg (880), France (795), RFA (691), Belgique (686), Italie (636), Pays-Bas (623). Les chiffres de la mise au mille se rapportent au total de la fonte produite, de sorte que les chiffres varient légèrement si l'on considère seulement la production de fonte Thomas et de fonte d'affinage. En outre, il faut tenir compte des différences entre les bassins, notamment pour la Belgique, la France et l'Allemagne.

Les raisons de cette application insuffisante peuvent, pour certaines des découvertes, être dues à une insuffisance de capitaux; tel est le cas, par exemple, pour la construction des ateliers d'agglomération. Dans d'autres cas, des considérations économiques de groupe ont pu jouer. C'est ainsi, par exemple, que la décision d'injecter des combustibles de remplacement peut être plus difficile à prendre lorsque les usines sidérurgiques font partie d'un groupe possédant des mines de charbon et des cokeries.

## 2. Equipped mécanique

L'examen de la compétitivité de la production de fonte de la C.E.C.A. par rapport à celle des pays tiers serait incomplet s'il ne portait aussi sur l'équipement mécanique, bien que celui-ci dépende moins de la recherche à l'intérieur de la sidérurgie. Le coût de la transformation et, par conséquent, celui de la fabrication de la fonte dépend aussi pour une part essentielle, des frais de transport (frets maritimes et fluviaux, prix du transport par voie ferrée), des frais de transbordement et d'entreposage dans les ports maritimes ou les usines sidérurgiques, et enfin de la dimension des ateliers de préparation du lit de fusion en amont des hauts fourneaux, ainsi que des hauts fourneaux eux-mêmes.

Alors que les installations nouvelles édifiées après la guerre, et surtout celles qui sont à proximité des côtes, correspondent parfaitement au standard international, bien des améliorations pourraient encore être apportées aux usines situées dans les bassins miniers traditionnels. Ces dernières années, la technique des constructions mécaniques, celle des transports, l'électrotechnique, et l'électronique ont mis sur le marché un certain nombre de perfectionnements qui peuvent contribuer à réduire notablement le coût de la transformation en ce qui concerne également la production de la fonte. Mais ces perfectionnements n'atteignent leur rentabilité optimale que pour de grandes capacités et leur adoption accélérée, même dans les usines assez anciennes, dépend de facteurs sur lesquels la recherche technico-scientifique n'a pas d'action directe.

Il ne faut pas manquer d'indiquer qu'à l'exception de l'équipement électronique, l'évolution en Europe dans le domaine de l'équipement mécanique supporte également la comparaison avec les pays tiers.

#### I. Autres facteurs agissant sur la compétitivité

Bien que le présent rapport vise essentiellement à établir une comparaison du niveau technique et de la recherche entre les sidérurgies des différents pays industriels, il convient néanmoins de signaler que d'autres facteurs agissent également et peut-être davantage même sur la position concurrentielle de ces sidérurgies.

Mentionnons ici simplement :

- 1) les conditions structurelles (dimensions des usines);
- 2) les problèmes d'implantation;
- 3) la recherche sur la qualité et l'évolution de la production, l'étude des marchés et la publicité;
- 4) l'organisation de la vente et le service à la clientèle.



### III. Conclusions

Ce bref aperçu de la position concurrentielle de la sidérurgie des pays de la C.E.C.A. permet de dégager les conclusions suivantes:

Le retard de la sidérurgie européenne par rapport à ses concurrents des pays tiers ne se situe pas tellement sur le plan technique et scientifique, bien que, là aussi, il existe de nombreuses possibilités d'amélioration. En ce qui concerne la production de fonte, des économies sont réalisables en premier lieu sur les frais de combustibles et de transformation, par un abaissement de la mise au mille et une augmentation du rendement, par la construction de hauts fourneaux de grande capacité et par une qualité plus régulière de la fonte.

Ce retard, plus ou moins partiel, s'explique davantage par des conditions structurelles très défavorables, dues à l'existence d'unités de production trop petites, de moyens de financement trop faibles et de conditions d'implantation qui ne cessent de se détériorer. Les tâches importantes ci-dessus mentionnées à accomplir dans l'avenir exigent des investissements considérables qui supposent notamment une structure financière favorable des entreprises.

En résumé on peut dire que:

1. L'état de la technique des principales entreprises des pays de la C.E.C.A. et leur capacité concurrentielle sont parfaitement comparables aux situations existant dans les pays tiers. Mais les nombreuses petites usines, dont l'existence est due à l'évolution historique, rencontreront désormais des difficultés si elles ne s'intègrent pas à des unités plus grandes ou ne se spécialisent pas dans des productions déterminées.
2. En matière de recherche technique, et en particulier dans le développement de nouveaux procédés, la sidérurgie de la C.E.C.A. n'est nullement en retard par rapport aux pays tiers. Il faut souligner ici le travail de pionnier accompli par les techniciens

européens et les inventions dans les secteurs tels que la préparation du lit de fusion, la métallurgie des laitiers, l'emploi de vent à très hautes températures, d'oxygène et de combustibles d'appoint.

A C I E R I E S

Etude comparative sur l'état de la recherche-innovation  
et de l'introduction du progrès technique dans le domai-  
ne de la production de l'acier dans la Communauté et  
les pays tiers

(par le Dr-Ing. C. RICCI,  
Conseiller à la  
Direction Générale Acier  
de la C.E.C.A.)

•

•

•



Dans le domaine des aciéries, les six pays de la C.E.C.A. pris dans leur ensemble ne paraissent pas accuser du retard en matière de recherche. Tout au plus l'application des résultats des recherches à l'industrie (développement) s'y fait-elle parfois plus lentement que dans certains pays tiers (Etats-Unis, Japon, U.R.S.S.). Ceci est dû, en ordre principal, à la dimension et à la structure des entreprises sidérurgiques, plus grandes et plus puissantes dans ces pays tiers.

#### CONVERTISSEUR THOMAS

##### a) Recherches

Il s'agit d'un procédé spécifique C.E.C.A.; il est donc normal que la recherche sur ce procédé soit plus poussée dans la Communauté que dans les pays tiers

- vent enrichi en oxygène (premier essai réalisé en Allemagne avant la dernière guerre mondiale et généralisation dans toute la Communauté);
- remplacement de l'air par un mélange oxydant sans azote (oxygène-vapeur et oxygène-anhydride carbonique, procédé Warnand (Belgique);
- adaptation du procédé THOMAS à l'élaboration d'aciers de qualité.
  - . 2e laitier essentiellement sodique,
  - . élaboration d'acier selon le procédé SR (usine de Rodange).

##### b) Application industrielle

Ce procédé étant employé presque exclusivement dans les pays de la C.E.C.A., son industrialisation s'y trouve à l'avant-garde.



## FOUR "MARTIN"

### a) Recherches

Le four MARTIN a été jusqu'à présent le plus grand producteur d'acier dans les pays tiers, c'est pourquoi les recherches y sont probablement plus avancées que dans les pays de la C.E.C.A. Néanmoins, des essais - qui ne sont pas toujours connus - ont été effectués par des entreprises communautaires.

Une des causes de notre retard probable réside dans l'enfournement qui, jusqu'à une date récente, était surtout basé, dans la Communauté, sur l'emploi de la ferraille tandis que, dans les pays tiers, la charge en fonte liquide était plus répandue. De là, la possibilité plus grande et le besoin plus impérieux, pour ces derniers, de tirer avantage de l'emploi de l'oxygène en vue d'accélérer le processus de fabrication.

Cependant, si les recherches sur l'emploi de l'oxygène ont été plus poussées dans les pays tiers, il ne faut pas méconnaître les travaux effectués dans ce domaine par des entreprises et par des instituts de recherche.

En ce qui concerne l'étude des flammes, les recherches dans la C.E.C.A., notamment dans une station expérimentale spécialisée ont permis de mieux connaître les lois régissant les flammes utilisées dans les fours Martin, en vue d'obtenir un meilleur rendement thermique.

### b) Application industrielle

Comme nous l'avons expliqué plus haut, l'emploi de l'oxygène dans les fours MARTIN a fait l'objet de recherches plus poussées dans les pays tiers; de même l'industrialisation dans ce domaine y a eu un départ plus rapide.

La raison en est que les procédés de conversion de la fonte à l'oxygène pur mettaient en danger toutes les installations des fours MARTIN dont la productivité était très inférieure à celle des nouveaux procédés; d'où l'effort réalisé pour maintenir les installations existantes compétitives par l'emploi de l'oxygène.

#### CONVERTISSEUR A L'OXYGENE PUR

##### a) Recherches

Les procédés LD (et similaires) et KALDO sont nés en Europe, mais en dehors de la Communauté

- le LD en Autriche, le KALDO en Suède -
- quoique certains essais aient aussi été effectués en Italie.

Le procédé LD, efficace pour la conversion des fontes hématites, ne convenait pas pour l'emploi des fontes phosphoreuses. Des recherches ont dû être entreprises en vue d'adapter ce procédé.

Les premiers à les entreprendre furent les Suédois qui mirent au point le procédé à l'oxygène KALDO, les procédés similaires LDAC et OLP, ainsi que diverses variantes, ont été mis au point dans la Communauté. D'autre part d'importantes études, en partie financées par la Communauté, ont été entreprises concernant d'autres procédés tels que l'affinage continu des fontes à l'oxygène, lequel donne déjà des résultats satisfaisants à l'échelle pilote.

##### b) Application industrielle

L'industrialisation de ces procédés se poursuit à un rythme très soutenu dans les pays de la C.E.C.A. Si, dans ce domaine, certains pays tiers ont marqué une certaine avance, celle-ci est due essentiellement à la supériorité économique de l'industrie sidérurgique de ces pays. D'autre part, il faut tenir compte du fait que les pays plus grands producteurs d'acier de la C.E.C.A. étaient orientés vers la production THOMAS; il convient toutefois de souligner que les plus gros convertisseurs LD sont à présent installés dans la Communauté (usine de Taranto de la Sté Italsider).



La capacité de production dans le monde, d'après les données statistiques les plus récentes (portant sur les installations en service, en construction ou en projet), se répartit comme suit :

	1	2	3	% de la capacité à l'oxygène (1 + 2) sur la production probable en 1970 (3)
	capacité actuelle (1965)	augmentation de capacité prévue pour 1970	production acier totale probable en 1970	
(en mio tonnes)				
C.E.C.A.	28.-	13.-	95.-	43,2
U.S.A.	38.-	15.-	128.-	41,4
Japon	35.-	13.-	37.-	84,2
U.K.	7.-	1.-	30,75	26.-
U.R.S.S.	10.-	4,4	126,5	11,4

#### FOUR ELECTRIQUE

##### a) Recherches

Les recherches dans ce domaine doivent être considérées sur deux plans :

1. D'une part, les recherches entreprises par les constructeurs de fours qui se situent sur un plan international et un peu en-dehors du domaine véritable de l'acier :

- développement technique de l'engin (augmentation des capacités, de la puissance des transformateurs, du réglage des électrodes, chargement par bennes ...).

Il est difficile d'établir une distinction entre les améliorations apportées par les pays de la C.E.C.A. et celles apportées par les pays tiers.

2. D'autre part, les recherches entreprises par les utilisateurs de fours sur les procédés :

- emploi de l'oxygène pour l'accélération de la fusion et de la décarburation.

L'emploi de l'oxygène dans la première phase du procédé (fusion) donne la possibilité d'utiliser la ferraille d'acier alliée dans la charge de ces fours, avec le double avantage suivant :

1. Récupération d'une quantité importante de certains éléments d'alliage qu'il n'est pas possible de récupérer sans l'emploi de l'oxygène.
2. Forte réduction de la formation d'oxydes, alors qu'avant l'emploi de l'oxygène dans les fours électriques, on était obligé - si l'on utilisait la ferraille alliée - de procéder à une double élaboration du métal pour ne pas compromettre la qualité du produit.

On peut dire que les recherches ont été menées parallèlement dans les pays gros producteurs d'acier et surtout d'aciers spéciaux et il est très difficile également, voire impossible, de déterminer la part exacte qu'y ont prise les pays de la C.E.C.A.

#### b) Application industrielle

On ne peut pas dire qu'il y ait du retard dans la Communauté, en ce qui concerne l'application industrielle des résultats de la recherche dans le domaine des fours électriques. Les applications se sont poursuivies avec un certain parallélisme dans les pays de la C.E.C.A. et les pays tiers, surtout en ce qui concerne les aciers spéciaux.

## COULEE DE L'ACIER

### 1. COULEE CONTINUE

#### a) Recherches

Les procédés de base de la coulée continue appliquée à l'acier ont été mis en oeuvre avant la guerre par des Européens et ils continuent de faire l'objet de recherches importantes tant dans les pays de la C.E.C.A. que dans les pays tiers. Deux tendances se dessinent : les partisans de la coulée verticale et ceux de la coulée en "S".

#### b) Application industrielle

Les premières réalisations industrielles sont apparues vers 1951-1952 en France puis en Allemagne (coulée continue en "S" à l'usine de DILLINGEN). Ce procédé se développe actuellement dans le monde entier.

Le procédé de coulée continue verticale présente l'inconvénient de son encombrement, surtout en hauteur, ce qui peut être gênant dans les usines sidérurgiques construites depuis un certain temps. Par contre, il ne soumet pas le métal en voie de solidification à certaines sollicitations qui peuvent nuire à ses qualités.

La coulée continue en "S" a le grand avantage d'être plus compacte et d'une installation plus facile dans les usines sidérurgiques anciennes, mais la qualité du métal peut en souffrir en raison des sollicitations mentionnées ci-dessus.

## COULEE SOUS VIDE

### a) Recherches

Il est difficile de préciser où les premières recherches ont été menées dans ce domaine.

Le but était d'éliminer les défauts dus à l'inclusion de gaz (en premier lieu l'hydrogène) et qui apparaissaient surtout dans la production des aciers alliés. Des recherches poussées ont été effectuées en Allemagne (procédés BOCHUM, RUHRSTAHL, D.H.H.U. (Dortmund Hörder Hüttenunion); le procédé européen GAZID avec insufflation de gaz neutre par briques poreuses a également été appliqué dans une usine de la Communauté; on peut donc dire que la sidérurgie communautaire a fait figure de pionnier.

### b) Application industrielle

Industriellement, la coulée sous vide s'est bien développée dans les usines de la C.E.C.A.; le retard quantitatif probable accusé vis-à-vis de certains pays tiers s'explique encore par la plus grande puissance économique des usines sidérurgiques de ces pays.

## CAPTATION DES FUMÉES

### a) Recherches

Dans le domaine de la captation des fumées produites dans les convertisseurs à l'oxygène et THOMAS, les pays de la C.E.C.A. sont à l'avant-garde et les recherches s'y poursuivent très activement.

Par contre, en ce qui concerne la captation des fumées produites dans les fours électriques, les recherches sont plus avancées dans les pays tiers mais, étant donné le caractère international de la construction des fours, l'application se fait presque parallèlement de part et d'autre.

b) Application industrielle

Dans ce domaine, les pays de la C.E.C.A. sont constamment à l'avant-garde. Le dépoussiérage grève le prix de revient et la seule loi qui régit son application est liée aux exigences des réglementations en matière sanitaire dans les différentes régions.

AUTOMATISATION

a) Recherches

Les recherches sur l'automatisation dans le domaine de l'élaboration de l'acier se poursuivent activement dans tous les pays du monde producteurs d'acier et, dans la Communauté, notamment en Belgique (Chertal), en France (Denain), en Italie (Taranto).

b) Application industrielle

Les pays de la C.E.C.A. n'accusent aucun retard, mais l'industrialisation dépend à la fois de la mise au point des recherches en cours et de la connaissance des avantages réels qu'engendrera l'automatisation dans le domaine de l'élaboration de l'acier.

-----

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

1. 1. 1.

ANNEXE 4

L A M I N O I R S

Etude comparative sur l'état de la recherche-innovation  
et de l'introduction du progrès technique dans le  
domaine du laminage dans la Communauté  
et les pays tiers

---

(par M. F. SPIECE, Conseiller à la  
Direction Générale Acier de la C.E.C.A.)





Les utilisateurs de produits laminés en acier, pour faire face à la concurrence, réclament de la sidérurgie un effort continu d'adaptation à des exigences toujours croissantes.

La construction métallique pour sa part exige, en vue d'un allègement des constructions et d'une utilisation rationnelle des procédés modernes d'assemblage par soudure, des profils de formes mieux adaptées; calculant avec des taux de travail toujours plus élevés, elle a besoin de matériaux de qualité uniforme avec des tolérances dimensionnelles de plus en plus réduites.

Les industries transformatrices de leur côté travaillent de plus en plus en continu et avec des vitesses toujours plus grandes; qu'autorise l'évolution des constructions mécanique et électrique et des techniques d'automatisation; pour réduire les temps morts ou permettre la soudure bout à bout, les machines doivent être alimentées en produits laminés de très grande longueur, enroulés en bobines, dont le poids demandé croît sans cesse. Ces machines perfectionnées exigent cependant, pour une marche sans accroc, d'être alimentées avec des produits de qualité uniforme et ayant des tolérances dimensionnelles réduites.

Dans certains cas, une légèreté plus grande est demandée - diminution de poids pour fabriquer une pièce déterminée (récipients d'emballage par exemple) - ou bien des grandes qualités de surface sont nécessaires, en particulier pour l'emploi de certains revêtements.

En résumé, le progrès technologique dans le domaine des laminoirs va dans le sens d'une adaptation aux exigences de la clientèle, notamment d'une réduction des dispersions tant dans les qualités que dans les dimensions des produits laminés.

Une structure métallurgique satisfaisante et régulière du produit laminé à chaud réclame une température déterminée de fin de laminage; les tolérances dimensionnelles réduites exigent non seulement l'uniformité de la température, mais également des

dispositions de construction et d'exploitation tendant à réduire le cé dage au minimum et régularisant éventuellement les tractions entre cages sur la barre. La production de bobines plus lourdes, donc de très grandes longueurs de laminage, qui s'applique spécialement au fil-machine, à certains profils de barres marchandes, aux feuillards et aux larges bandes à chaud, a nécessité, pour respecter l'impératif de la température de fin de laminage, une augmentation de la vitesse de sortie des trains laminant ces produits.

Les problèmes importants pour le progrès technologique dans le domaine des laminoirs sont donc surtout d'ordre constructif : les accroissements des vitesses, la réduction du cé dage, le réglage des boucles et des épaisseurs sont essentiellement des problèmes de constructions mécanique et électrique; ce sont ces industries qui étudient et appliquent à la construction des laminoirs, les progrès obtenus dans des domaines non sidérurgiques.

L'application croissante de l'automatisation aux laminoirs fait également appel à des techniques de mesure, de transmission de signaux de mesure, de types et de circuits de commande qui relèvent du domaine de l'électronique.

Les problèmes se rapportant plus spécifiquement à l'opération de laminage proprement dite sont extrêmement complexes, à cause du nombre de paramètres à faire intervenir; ces problèmes fondamentaux connaissent un regain d'actualité, en corrélation avec le problème de l'automatisation, pour l'établissement de modèles mathématiques; actuellement, les Anglais et les Russes semblent être en avance dans ce domaine.

L'étude difficile du coefficient de frottement barre-cylindre, qui est un des paramètres importants du laminage, a été entreprise dans un des pays de la Communauté.

Des hypothèses simplificatrices sont nécessaires pour la résolution mathématique, mais elles ne sont pas sans danger vis-à-vis de la réalité physique. Cette méthode théorique se révèle souvent décevante et, en général, les modèles mathématiques les plus valables ont été élaborés à partir de nombreux relevés expérimentaux.

Les résultats obtenus par la méthode expérimentale présentent toutefois rarement un caractère général, et, de ce fait, la transposition à d'autres installations s'avère délicate.

Vu l'importance croissante des produits plats, de nombreuses études expérimentales de caractère fondamental ont été entreprises sur les trains à larges bandes. L'un des problèmes-clés, fortement étudié, est la prévision de l'échelonnement des températures en fonction des conditions de marche.

Dans la Communauté, d'importantes études expérimentales et théoriques ont été conduites sur la déformation des cylindres. Elles présentent des constatations et conclusions originales. D'autres études connexes ont été faites aux U.S.A. sur les contraintes thermiques et déformations élastiques des cylindres, et à la BISRA sur l'usure des cylindres.

Grâce à l'aide de la C.E.C.A., une étude fondamentale des conditions de laminage sur les trains réversibles a été entreprise en vue de l'optimisation du processus automatisé.

En plus de la connaissance de ces phénomènes purement physiques, il est très important, en particulier pour les trains à larges bandes à chaud et les trains à tôles fortes, de connaître l'influence des conditions de travail au laminoir sur la qualité des bandes au point de vue métallurgique. A cet effet, un appareil original a été mis au point dans un Institut de recherche de la Communauté, qui permet la simulation par torsion du laminage à chaud et l'étude de l'influence des divers paramètres : valeur de la réduction aux diverses passes, température finale de laminage, vitesse de laminage, refroidissement de la bande après laminage. Cet appareil donne la possibilité de prédéterminer les effets "déformation-temps" sur la structure, donc l'influence a priori des grandes vitesses de déformation ou de laminage. Des essais sont effectués pour le compte de sociétés ayant l'intention de construire des laminoirs dont les conditions de laminage diffèrent des conditions normales : trains planétaires, trains à grande vitesse de sortie; ainsi, l'U.S. Steel a fait étudier par cet Institut les effets d'une vitesse de sortie d'environ 20 m/sec, prévue pour son nouveau train à larges bandes à chaud.

### Nouveaux types de laminoirs

Pour réduire les investissements, il a paru intéressant de réaliser des types de laminoirs permettant une très forte réduction en un seul passage. Des essais, effectués en Pologne principalement, sur des laminoirs du type classique, c'est-à-dire faisant une seule passe, mais exceptionnellement forte, ont donné quelques résultats intéressants.

Les laminoirs agissant dans l'emprise par passes successives, planétaires ou pendulaires, paraissent cependant plus prometteurs, dans certains cas spéciaux notamment. Les planétaires à bandes, d'invention américaine, ont déjà reçu un certain développement; un nouveau type de laminoir planétaire, inventé en Europe, est en cours de mise au point industrielle dans la Communauté. D'autres trains planétaires destinés au laminage des barres ont été essayés en URSS sans beaucoup de succès par l'Institut de Recherches Scientifiques pour la Construction des Machines destinées à la Métallurgie. Ce même Institut a développé des laminoirs très spéciaux permettant d'obtenir des axes, des billes de roulement, des boulets de broyeur, des engrenages, des essieux; le but est d'arriver à laminier par un procédé continu des pièces obtenues ordinairement par un procédé discontinu, par exemple le marteau-pilon. Ces engins, d'une productivité très grande, capables par conséquent de produire à des prix de revient intéressants, ne sont concevables que dans des usines centralisées et spécialisées telles qu'il n'en existe pas actuellement dans les pays de la Communauté.

Dans le domaine des laminoirs plus classiques, les constructeurs européens se sont assuré une place non négligeable en ce qui concerne les nouveaux types de laminoirs pour produits longs (y compris les accessoires), tandis que le progrès dans le laminage des produits plats vient presque exclusivement des Etats-Unis. A part un type de laminoir pour bandes à froid, qui remplace avantageusement le laminoir Sendzimir, et un train skin-pass à allongement

imposé, les installations communautaires pour la production des produits plats, ou bien viennent des U.S.A., ou bien sont construites en Europe soit sous licence U.S., soit en plagiant les installations américaines si aucun brevet n'est en jeu : trains continus à chaud et à froid, recuit en continu ou en bobines expansées, étamage électrolytique, galvanisation continue, etc.

Certains perfectionnements ont été apportés dans la Communauté aux installations types des Américains, par exemple : planage en continu des longues bandes de faible épaisseur; planage et conditionnement des bandes galvanisées, nouvelles possibilités de la technique des bobines expansées.

Les Etats-Unis sont également les premiers dans l'invention des produits nouveaux et des moyens de les réaliser : fer blanc ultra-mince; tôles magnétiques, à grains orientés ou non, produites en larges bandes à froid. Dans le domaine des tôles fortes, les installations de trempe-revenu pour l'obtention de tôles en qualités nobles, en particulier à haute limite d'élasticité, ont également vu le jour aux Etats-Unis; une seule installation existe à ce jour dans la Communauté.

Dans le domaine des profilés, les réalisations communautaires de laminage de poutrelles à ailes à faces parallèles (séries IPE et HE), qui représentent un effort spectaculaire des producteurs, n'ont fait que suivre l'exemple américain; les Etats-Unis gardent toujours une certaine avance sur nous, quant à l'économie des séries qu'ils améliorent continuellement, grâce à des installations de laminage de mieux en mieux conçues.

Signalons ici qu'une étude fondamentale a été effectuée dans la Communauté sur les couples et énergies de laminage dans les trains à profilés. D'autres études très importantes ont été entreprises sur le plan national par un groupement de producteurs, de constructeurs d'installations mécaniques et électriques et d'instituts de recherche, en vue de déterminer en particulier les paramètres énergétiques, les causes de leurs variations et leurs conséquences sur la construction des installations et des machines motrices; ces études ont porté sur des bloomings, des slabblings, un train continu à demi produits, un train à petits fers et à fil-machine.

Fin

1909/67 f

Pour le laminage des produits longs, et en particulier pour les petits fers et le fil-machine, les constructeurs européens sont en bonne place : trains finisseurs à fil-machine laminant avec des séries de galets réducteurs et permettant de très grandes vitesses et des tolérances dimensionnelles très réduites. Des projets sont à l'étude pour le soudage des billettes à la sortie du four poussant permettant le laminage d'une barre continue, et admettant de ce fait, après la mise en route, une augmentation de la vitesse jusqu'à 60 m/sec. Les équipements pour changements rapides de dimensions laminées ont excité l'imagination des constructeurs européens, car ils étaient nécessaires pour assurer une rentabilité suffisante des installations avec les lots limités de laminage que permet l'organisation actuelle du marché européen de l'acier. Les installations européennes de finissage et de parachèvement des laminoirs à barres - refroidisseurs mécaniques, cisailles diverses, dresseuses, machines à botteler - sont toujours à l'avant-garde du progrès technologique.

Le filage de l'acier enfin, avec lubrification au verre ou au graphite est une réalisation européenne.

#### Automatisation et régulation

Une technique ne peut voir développer ses applications que dans la mesure où elle peut apporter des solutions aux problèmes fondamentaux de la gestion et, en premier lieu, aux problèmes de prix de revient et de qualité des produits, dont, en particulier, la régularité. Le point de vue des Américains, chez qui l'incidence des divers facteurs du prix de revient n'est pas la même qu'en Europe, diffère de celui des Européens sur la façon d'appliquer l'automatisation aux laminoirs : alors que, dans la Communauté, on recherche l'optimisation du processus - qui exige certes des études et des mises au point plus importantes, mais permet d'utiliser à plein les avantages de l'automatisation (des essais importants, financés par la C.E.C.A., concernent l'automatisation des trains réversibles) - les Américains, par contre, préfèrent utiliser partiellement mais immédiatement les avantages de l'automatisation : régularité et productivité. Cette voie est également suivie dans la Communauté pour la plupart des automatisations, souvent partielles d'ailleurs, en service actuellement dans les laminoirs.

L'automatisation, telle qu'elle a été réalisée au début aux Etats-Unis, présentait l'inconvénient d'être trop rigide, et de ne pouvoir atteindre pleinement tous ses objectifs, car ceux-ci nécessitent la mise en oeuvre de techniques plus évoluées que celles utilisées, et qui n'en sont actuellement qu'au stade de l'étude ou des essais.

Dans l'automatisation des trains réversibles - bloomings, slabblings, trains à tôles fortes, cages universelles et trains à larges bandes à chaud et à froid - les Etats-Unis ont une avance certaine sur la Communauté, aussi bien sur le plan des techniques que des réalisations.

On constate, en effet, que la plupart des producteurs et vendeurs d'appareillages d'automatisation fournissent des références américaines; ils exploitent des licences américaines qu'ils ont plus ou moins perfectionnées. Cette avance est due aux investissements importants faits aux Etats-Unis pour des études, qui ont abouti à des solutions valables. Le développement des appareillages d'automatisation aux U.S.A. semble cependant procéder d'un certain empirisme, alors qu'en Europe on s'efforce d'approfondir la connaissance des lois, afin de réaliser un modèle mathématique. Sur le plan des moyens d'investigation, des procédés de mesure, des études analytiques des phénomènes, la Communauté serait plutôt en avance sur les Etats-Unis, tandis que ceux-ci sont les premiers sur le plan des techniques et des appareillages d'automatisation.

#### Développement de la recherche

Les nouveautés fondamentales sont rares dans le domaine des laminoirs : les lois régissant les phénomènes du laminage sont théoriquement assez mal connues; la méthode expérimentale a donné beaucoup de résultats intéressants pour la connaissance chiffrée des phénomènes intervenant au cours du laminage. Il ne faut cependant pas minimiser l'intérêt de la recherche fondamentale qui donne des résultats d'une portée plus vaste. Malgré son coût élevé, elle est à long terme plus rentable que la méthode expérimentale, particulièrement en vue de l'automatisation des processus de laminage.

Le progrès technologique dans l'équipement des laminoirs dépend surtout des constructeurs mécaniciens et électriciens, mais le rôle du sidérurgiste est cependant essentiel pour la mise au point industrielle et l'amélioration continue des résultats de la recherche.

Pour être efficace, celle-ci doit atteindre un certain seuil d'importance; les équipements indispensables à la recherche constituent souvent de véritables prototypes de fabrication délicate, dont la mise au point et la construction exigent beaucoup de temps et de crédits; il en est de même des essais jusqu'à l'exploitation industrielle. Le caractère même de la recherche implique des risques d'échec; il n'est donc pas rare que son coût s'alourdisse sensiblement par suite de tentatives, généralement assez nombreuses, qui ne sont pas couronnées de succès. En plus de leur importance, les dépenses de recherche présentent un caractère de permanence quasi inévitable; on ne peut guère les réduire au gré des fluctuations économiques, sans courir le risque de perdre le bénéfice de l'avance acquise vis-à-vis de la concurrence.

La recherche sur les laminoirs exige donc des budgets importants et le seuil d'efficacité ne peut être franchi que par de très grosses entreprises. C'est le cas notamment de certaines entreprises de constructions mécaniques et électriques des Etats-Unis, telles la General Electric et la Westinghouse, par exemple, qui ont une puissance de très loin supérieure à tout ce qui existe dans le même domaine en Europe.

Le gros avantage des recherches effectuées par les entreprises elles-mêmes est leur efficacité : la direction unique, l'aiguillon de la compétitivité vis-à-vis des concurrents, leur assurent un rendement meilleur que celui de recherches en commun, y compris celles entreprises par des Instituts nationaux.

La taille des entreprises de construction aux Etats-Unis, jointe à celle des Sociétés sidérurgiques qui forment leur clientèle, leur assure un avantage certain sur les entreprises communautaires. En Europe, les constructeurs de laminoirs et d'appareils annexes n'ont ni la puissance, ni le champ d'action de leurs confrères américains; aussi, plusieurs d'entr'eux ont-ils passé des accords avec des firmes U.S., surtout pour les installations à produits plats.



Dans le domaine des laminoirs, le rôle des Instituts de recherche est forcément limité : ils sont tout désignés pour faire les études analytiques nécessaires à l'automatisation et plus généralement à une meilleure connaissance des phénomènes; ils jouent parfois le rôle de conseiller et sont sollicités pour des mises au point d'appareillages; par contre, ils sont rarement consultés pour des projets d'installation.

En U.R.S.S., la centralisation a également été réalisée pour la recherche dans la construction, par la création d'un Institut de Recherches Scientifiques pour la Construction de Machines destinées à la Métallurgie, disposant de moyens très puissants, et où ont été développés les laminoirs spéciaux cités ci-dessus.

#### Vitesse et amplitude de diffusion des méthodes et équipements nouveaux

Dans le domaine des laminoirs, la plupart des nouveautés se rapportant aux équipements produits par des constructeurs sont rapidement portées par ceux-ci à la connaissance de tous les intéressés. La diffusion est donc plus rapide que dans d'autres domaines, celui des nouveaux types d'acier par exemple, où les entreprises sidérurgiques sont beaucoup plus réticentes à une diffusion rapide, même sous licence.

L'amplitude de diffusion des équipements nouveaux est uniquement fonction des possibilités technico-économiques et financières des entreprises. La plupart des nouveautés en laminoirs se rapportent en effet aux unités très productives, et celles-ci ne peuvent se concevoir que dans des entreprises d'une taille suffisante, ou pour un temps limité, par des accords de laminage entre sociétés.

L'autre facteur important est le pouvoir d'investissement des sociétés.

En ce qui concerne les Etats-Unis, il n'est malheureusement pas possible de distinguer les dépenses d'investissements effectuées dans le secteur du laminage de celles effectuées dans les autres secteurs; de 1946 à 1963, les dépenses totales d'investissements dans la sidérurgie U.S. ont représenté 16,7 milliards \$, soit 930 millions \$ en moyenne par an, pour une production moyenne

annuelle de 90 millions de tonnes d'acier brut, ce qui représente environ 10 \$ à la tonne/an. De 1954 à 1963, les dépenses totales d'investissements dans la Sidérurgie communautaire ont représenté environ 8 milliards \$, soit 800 millions \$ en moyenne par an, pour une production moyenne annuelle de 63 millions tonnes d'acier brut, ce qui représente 13 \$ à la tonne/an. A première vue, la moyenne des investissements communautaires dépasse celle des investissements américains, mais il ne faut pas oublier que les Etats-Unis ont fait, entre 1938 et 1946, un effort considérable d'investissements (la production d'acier brut a pratiquement triplé entre ces 2 dates), tandis que la sidérurgie des pays de la Communauté prenait pendant la même période un retard considérable, notamment dans le secteur des produits plats, qu'elle a dû essayer de combler plus ou moins par la suite (plus d'un quart des investissements totaux entre 1954 et 1963 a été affecté aux installations de laminage des produits plats).

L'effort d'investissements de la Communauté peut être considéré actuellement comme comparable à celui des Etats-Unis; l'application du progrès technique devrait donc s'y situer à un niveau à peu près semblable. Toutefois, les techniques de pointe, y compris celles d'automatisation, sont d'autant plus rentables qu'elles s'appliquent à des unités plus importantes et à plus grand rendement; c'est là qu'il faut voir un des avantages marquants des Etats-Unis qui, avec leurs entreprises de grandes dimensions, peuvent se permettre d'appliquer d'une manière plus générale les techniques de pointe dans leurs nouvelles constructions. Cette remarque s'applique d'ailleurs aussi à la Communauté dans certains secteurs de laminés où la presque totalité de la production est faite dans des usines intégrées de dimensions suffisantes : larges bandes à chaud, tôles fortes, fil-machine.

### Conclusions

La recherche dans le domaine des laminoirs est l'affaire essentiellement des industries de la construction mécanique et électrique; elle relève donc de disciplines non sidérurgiques. La taille des entreprises de construction est prépondérante pour l'efficacité de la recherche et la mise au point d'appareillages pour les laminoirs. Si, dans certains secteurs de produits laminés,

de gros constructeurs européens occupent une place non négligeable, d'une façon générale, la part prépondérante revient, sur le plan mondial, aux constructeurs géants américains, dont nombre de licences sont exploitées par les constructeurs européens.

Dans le domaine de l'automatisation des laminoirs, les réalisations américaines sont certes plus nombreuses, mais il n'est pas impossible que les efforts, plus rationnels des européens pour approcher les solutions du problème - méthodes d'investigation, de mesures et d'analyse des phénomènes - ne permettent à la Communauté de marquer des points (la recherche subsidée par la C.E.C.A. sur l'optimisation du laminage sur trains réversibles est la pièce maîtresse de ce problème).

L'application des techniques de pointe à l'industrie, qui ne trouve en général sa justification économique que sur les unités importantes, se fera le plus rapidement là où l'implantation de nombreuses unités est possible, autrement dit dans les pays où se trouvent le plus d'entreprises de taille suffisante. Les Etats-Unis, le Japon et, pour certains secteurs, le Royaume-Uni, ont à ce point de vue des avantages réels sur la Communauté.

En résumé, il semble donc que la taille des entreprises, tant du côté de la construction mécanique et électrique que du côté de l'industrie sidérurgique, conditionne l'intensité de la recherche et de l'introduction du progrès technique dans les laminoirs plus fortement encore que dans les autres domaines de la sidérurgie.