

**EVOLUTION DE LA DEMANDE SIDERURGIQUE  
COMPLEXIFICATION DU SYSTEME DE PRODUCTION  
ET REPERCUSSIONS EN TERMES DE PILOTAGE DES  
FLUX DE PRODUCTION**

*Lamia Najjar - Ben Mahmoud  
Etudiante - Ecole des Mines de Paris*

## **Evolution de la demande sidérurgique, complexification du système de production et répercussions en termes de pilotage des flux de production.**

### **Introduction**

Dans la littérature de gestion de production, l'industrie sidérurgique a été relativement peu traitée. Pourtant, à l'instar des autres industries, dites de pointe (industries de grande consommation, de biens d'équipement etc...), la sidérurgie subit des pressions de son environnement, à savoir :

- des clients de plus en plus exigeants vers :
  - \* une diversification de la production et une offre plus large en termes de variétés de produits.
  - \* une flexibilité et une rapidité de réponse aux variations aussi bien en termes de quantité que de qualité.
  - \* une ponctualité/fiabilité au niveau des délais.
  - \* une exigence croissante en termes de qualité.
- un marché de concurrence internationale,
- la concurrence d'autres matériaux substituables.

Cette évolution de la nature de la demande a engendré une complexification au niveau du système de production qui, à son tour, a nécessité des outils logistiques rigoureux de gestion et de pilotage de la production.

Cet article aura pour ambition de traiter un exemple d'évolution des problèmes de production dans une industrie *process* ( un type d'industries relativement peu traité dans la littérature de gestion industrielle). Ce type d'industrie est de plus en plus soumis aux mêmes impératifs de production que les autres industries (respect des délais, assurance qualité, réduction des stocks etc...) ; cependant, la différence par rapport à ces dernières réside dans le fait qu'il se caractérise par la difficulté de maîtriser la production (traduite généralement par une reproductibilité/répétabilité non assurée du procédé, vu la difficulté

d'appréhender et de maîtriser le nombre de paramètres entrant en jeu). Ceci entraîne, non seulement un besoin en termes de gestion de production pertinents, mais surtout en termes d'outils de pilotage (en temps réel) rigoureux et performants, permettant de mieux gérer les régimes dégradés engendrés par les dérives dues à la non reproductibilité du procédé de production.

Pour bien mettre en évidence l'évolution des problèmes de production dans l'industrie sidérurgique, nous traiterons, successivement, des 3 thèmes introduits par le titre, à savoir :

- I - Evolution de la demande des produits sidérurgiques
- II - Un environnement de production complexe
- III - Les nouvelles approches de gestion et de pilotage de la production

#### **I Evolution de la demande des produits sidérurgiques**

L'industrie sidérurgique mondiale produit 800 MT/an (Pengelly 1990). Ce chiffre indique bien que c'est une industrie de masse, mais contrairement à l'ancienne vision qui persistait de la sidérurgie, ce n'est plus une industrie où le tonnage (volume de production) représente la préoccupation majeure. En effet, comme les autres industries, la sidérurgie abandonne de plus en plus l'ancien dogme "produire d'abord, vendre ensuite" pour adopter la nouvelle devise "vendre d'abord, produire ensuite". Devant cette situation, où la production n'est plus basée sur "la stratégie de quantité à n'importe quel prix" mais sur "la stratégie de spécificité", la sidérurgie doit faire face à 4 défis :

- la diversification de la production (une offre plus large en termes de qualité d'aciers de plus en plus sophistiqués, spécifiques et à bas résiduels, qui s'accompagne d'une complication supplémentaire qualifiée d'"atomisation de la demande", et se traduisant par une diminution du tonnage par commande).
- la production à coût compétitif (diminution du coût de revient),
- l'amélioration et la maîtrise de la qualité (chose non évidente, quand nous rappelons la difficulté de reproductibilité),
- réduction et fiabilisation des délais de production/livraison.

Signalons, à ce propos, qu'un article, d'une revue allemande spécialisée en sidérurgie (Voigt 1990), effectue le classement des critères que les clients de la sidérurgie appliquent, dans le choix des fournisseurs. Ces critères ne sont pas classés de la même manière selon que :

- le client accorde beaucoup d'importance aux critères logistiques (voir classement A dans ce qui suit),
- le client n'accorde pas de préférence particulière aux aspects logistiques (voir classement B dans ce qui suit).

#### **Classement A**

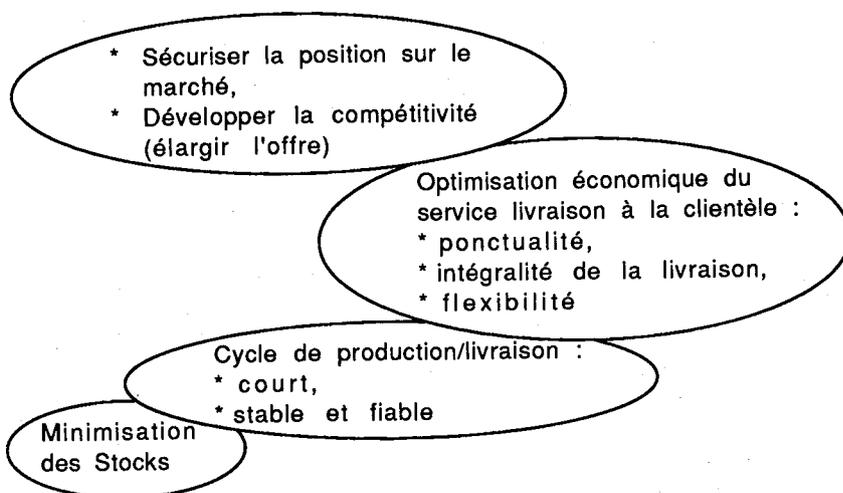
- qualité
- \* ponctualité
- \* rapidité
- partenariat
- \* flexibilité
- prix
- \* intégralité de la livraison
- aptitude au conseil
- efficacité administrative
- offre large de produits
- \* proximité du site
- notoriété

#### **Classement B**

- qualité
- prix
- \* intégralité de la livraison
- \* rapidité
- partenariat
- aptitude au conseil
- \* ponctualité
- efficacité administrative
- offre large de produits
- \* proximité du site
- notoriété
- \* flexibilité

(l'astérisque (\*) indique les critères logistiques).

Ce même article effectue par ailleurs une synthèse schématique, des exigences de l'environnement, aussi bien internes qu'externes à l'entreprise (ces exigences mettent, une fois de plus, en évidence le besoin accru en termes d'outils intégrés de gestion et de pilotage de la production). Voir fig. 1.



### F.1 - Les exigences internes et externes de l'entreprise

Ces données d'évolution du marché et de la demande, accompagnées d'un souci croissant :

- d'amélioration des conditions de production (minimiser la pénibilité du métier)
- d'amélioration des conditions de sécurité (minimiser la probabilité d'occurrence d'accidents fatals),
- de contribution à la protection de l'environnement,
- d'optimatisation de la consommation énergétique,
- etc...

ont poussé les industries sidérurgiques à procéder à des changements et à

des restructurations à deux niveaux :

- (1) Au niveau du système physique : amélioration du procédé de fabrication par l'introduction de nouvelles techniques, afin de répondre aux impératifs du marché (diversification, amélioration de la qualité, fiabilité des délais, réduction des coûts ...), et aux impératifs de sécurité etc...

L'introduction de nouvelles techniques a particulièrement touché les aciéries, étape d'élaboration de l'acier. Elle sera discutée dans la partie II.

- (2) Au niveau du système de pilotage et du système d'information : introduction de nouvelles méthodes organisationnelles (application des principes du J.A.T., mise en place des cercles de qualité ...) et développement d'outils de gestion de production, de gestion de la qualité (SPC...), de gestion de la maintenance..., intégrés et assistés par ordinateur, afin d'accompagner les évolutions techniques d'une meilleure maîtrise du flux physique et du flux d'informations (voir Hong 1990). Ceci sera en partie traité dans la partie III.

## **II Un environnement complexe de production**

L'évolution de la nature de la demande (décrite ci-dessus), en particulier vers une plus grande variété d'aciers spécifiques, sophistiqués, voire nobles, avec une grande exigence au niveau de la qualité, a entraîné la complexification du système de production à la suite de changements structuraux : introduction de nouvelles techniques et étapes supplémentaires, en particulier au niveau des aciéries, maillon crucial et décisif du système, étant donné qu'il représente le stade de la production où l'acier est élaboré sur le plan qualitatif, avant d'être laminé en produit fini. Un certain nombre de cas illustratifs de ces évolutions structurelles dans British Steel, existent dans la littérature (Richardson 1990, Hong 1990, Neesam 1990).

Dans cette partie nous nous emploierons, en particulier, à décrire les contraintes de cette unité de production (l'aciérie), contraintes engendrées par la double modification des données du marché (spécificité et atomisation de la demande dans un environnement concurrentiel), et les données de production (évolutions techniques au sein des unités de production). Mais auparavant, une brève description du processus sidérurgique complet s'impose pour mieux distinguer et mettre en

évidence la place cruciale qu'occupe l'aciérie dans la chaîne de production, et justifier le besoin accru en termes d'outils de pilotage rigoureux à ce niveau.

### II.1 Description du processus sidérurgique complet

Pour l'élaboration de l'acier deux filières sont possibles :

- la filière fonte, où l'acier est obtenu à partir du traitement de la fonte avec la ferraille. La fonte étant obtenue à partir du mélange et chauffage du minerai de fer avec du coke,
- la filière électrique, où l'acier est obtenu à partir de la fusion d'apports de ferro-alliages, provenant de ferrailles recyclées.

La filière fonte, que nous étudions dans cet article, est la plus indiquée pour l'obtention d'une large variété d'aciers spécifiques et de haute qualité (la filière électrique ne permettant pas d'éliminer totalement les impuretés contenues dans la ferraille).

Le processus qui part du minerai de fer pour aboutir au produit fini plat (bobine de tôle ...) ou long (rails, poutrelles, fils machine etc...) est fort complexe et comporte un certain nombre d'étapes, ayant généralement lieu dans différentes unités de production :

- la 1ère étape, qui se déroule dans les hauts fourneaux (HF), consiste à produire de la fonte liquide à partir de la combustion du mélange minerai de fer et coke.
- la 2ème étape, qui se déroule dans l'aciérie (qualifiée d'aciérie à oxygène), consiste à produire, à partir d'un mélange initial de fonte liquide et de ferrailles, des demi-produits sous deux formes principales selon l'utilisation finale :
  - \* sous forme de blooms (barres d'acier carrées ou rectangulaires de différentes sections), destinés au laminage des produits longs.
  - \* sous forme de brames (ébauches aplaties d'acier), destinées au laminage des produits plats, en l'occurrence les tôles.
- la 3ème étape se déroule dans les laminoirs - appelés trains

finisseurs - et consiste à laminier après rechauffage les demi-produits en profils de produits finis.

- d'autres étapes peuvent suivre, en particulier dans la branche produits plats, et consistent à relaminier à froid et à effectuer des traitements thermiques et/ou de surface.

Certaines industries sidérurgiques intègrent certaines ou toutes ces étapes (élaboration et laminage de l'acier) dans une même unité de production, afin d'optimiser la consommation énergétique en éliminant totalement ou partiellement l'étape de rechauffage. Ce procédé s'appelle, en terminologie anglo-saxonne, Hot Direct Rolling (HDR) et Direct Hot Charge Rolling (DHCR), voir à ce propos Lin et Moodies 1989 et Hong 1990.

## **11.2 L'Acierie : Unité de production complexe**

Dans le processus sidérurgique décrit plus haut et comportant 3 types d'unités de production (hauts fourneaux, aciéries et trains laminaires), nous avons choisi de focaliser notre propos sur l'unité de production aciérie, en vue d'en étudier les modes de pilotage, et ce pour les raisons suivantes :

- cette unité de production est généralement multiserveur, en ce sens qu'elle approvisionne un grand nombre de trains finisseurs,
- elle représente l'étape qualitative cruciale et décisive du processus, au cours de laquelle l'acier est mis à la nuance souhaitée.
- c'est une unité de production qui a subi de grandes évolutions techniques et une modernisation au niveau des installations et s'est, par conséquent, dotée de nouveaux outils de gestion et de pilotage.

Dans ce qui suit, nous décrirons le procédé de fabrication au sein de l'aciérie, pour dresser ensuite une typologie des principales contraintes.

### **Description du procédé de fabrication au sein de l'aciérie.**

Comme signalé plus haut, les aciéries ont dû, ces dernières dix années, procéder à des modifications techniques et à des restructurations substantielles, au niveau du procédé d'élaboration de l'acier liquide et de

sa solidification, afin de satisfaire la demande évolutive vers des aciers spécifiques, à faibles niveaux inclusionnaires.

Ces modifications ont consisté à :

- évoluer de la "voie lingot", où l'acier liquide est coulé dans des moules lui procurant, à sa solidification, la forme d'un lingot, à la "voie coulée continue", où l'acier liquide est coulé, solidifié et oxycoupé en continu, permettant ainsi d'obtenir des profils (blooms ou brames) faciles à laminier.
- introduire dans le procédé de nouvelles étapes d'affinage, de dégazage et de décantation, sous forme de nouvelles installations qui sont respectivement, les fours poche ou stations d'affinage, les stations de dégazage et les stations de transvasement. Ces nouvelles installations ont pour but d'affiner l'acier à la qualité spécifique souhaitée.

Dans l'aciérie dotée des installations sus-mentionnées, le procédé d'élaboration de l'acier se déroule de la manière suivante (voir la fig. 2):

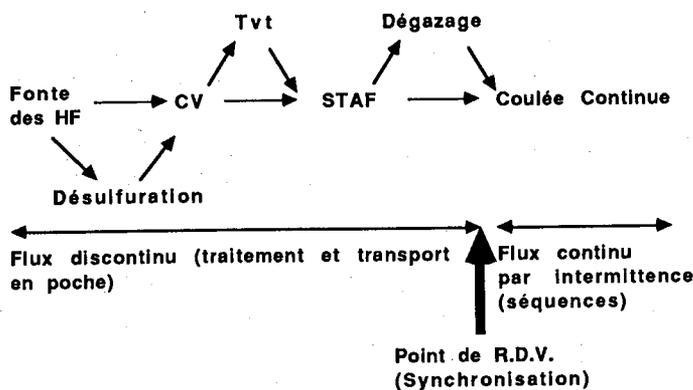


Fig. 2 - Procédé de fabrication dans l'Aciérie

La fonte est livrée à l'aciérie dans des wagons torpilles puis versée dans une poche dite de transfert. Selon la nuance désirée et le programme de fabrication, la fonte est ou non désulfurée. Par la suite, la fonte est enfournée dans le convertisseur (CV) avec de la ferraille pour

commencer l'opération d'extraction des impuretés : carbone, phosphore etc, par soufflage d'oxygène et versement d'additions (d'où le nom d'acier à oxygène). A la fin de ce traitement, on obtient un acier dit sauvage destiné à être mis à nuance.

L'acier sauvage est coulé dans une poche de transfert si on veut effectuer un transvasement (Tvt) afin de séparer par décantation les scories phosphatées qui contiennent en outre des impuretés. A la fin de cette opération, l'acier est contenu dans une poche de traitement ou ASEA. Si le transvasement n'est pas nécessaire (cela est fonction de la nuance souhaitée), l'acier est directement versé dans une ASEA à la sortie du convertisseur.

La poche ASEA est ensuite transportée vers une station d'affinage (STAF) pour être mise à nuance : respect d'une analyse chimique par addition de différents éléments chimiques et mise à température avant la coulée en continue. En fonction du taux d'hydrogène souhaité, la poche passe ou non à la station de dégazage sous vide.

En sortie de station d'affinage, la poche (contenant une coulée d'environ 230 t) est transportée vers les coulées continues (CC) pour l'étape de mise en forme et solidification du métal. La busette en bas de la poche est ouverte, le métal coule dans le répartiteur, réservoir tampon d'environ 35t, permettant le changement de poche sans interruption de la coulée. Ce répartiteur alimente un certain nombre de lignes de coulée continue et distribue le métal liquide dans des lingotières sans fond. Ce métal va se solidifier au contact des lingotières refroidies à l'eau et tout le long de sa descente dans la "chambre à buées", avant d'atteindre l'oxycoupage, où une fois totalement solidifié, il est découpé en blooms ou en brames.

En fonction des qualités métallurgiques recherchées, les poches sont coulées ou non les unes à la suite des autres dans le même répartiteur. Plusieurs coulées versées dans le même répartiteur forment une séquence. Pour des raisons techniques et métallurgiques, le nombre de coulées tolérées dans une séquence (donc dans un même répartiteur) est limité à un maximum. En fonction des nuances coulées et de leurs compatibilités, deux séquences successives peuvent être séparées par un agrafage (changement de répartiteur qui dure environ 20'), ou par un réarmement (changement de répartiteur, avec nettoyage des lingotières, qui dure environ 90'). Les séquences reliées par des agrafes forment une série, et les séries sont délimitées par un réarmement.

Nous avons ainsi une description simplifiée du procédé d'élaboration de l'acier, mais qui nous permet déjà d'entrevoir et d'appréhender les problèmes de pilotage liés en particulier à la synchronisation entre le flux continu et le flux discontinu. Ceci nous mène à aborder de manière plus explicite les contraintes intervenant dans le pilotage.

### **Typologie des contraintes de l'aciérie.**

Un certain nombre de contraintes régissent la manière de piloter l'aciérie, et peuvent être regroupées en différentes rubriques :

- **Les contraintes de traitement du flux** : une mauvaise synchronisation au niveau des arrivées des poches à la coulée continue, risque d'engendrer des réarmements intempestifs, donc une réduction de la capacité.
- **Les contraintes commerciales**, liées aux délais à respecter et aux commandes spéciales, et qui exigent un certain nombre de conditions à satisfaire.
- **Les contraintes de capacité**, obéissant aux :
  - \* lois de capacité des installations et inter-installations (les différentes qualités d'aciers nécessitent différentes filières et différents temps de traitements, ce qui fait que la formation des goulots est conjoncturelle et fonction du "mix de produits",
  - \* nombre d'outils et durée de cycle (chaque poche et chaque répartiteur nécessite un revêtement du réfractaire toutes les n et n' coulées).
- **Les contraintes de disponibilité** :
  - \* réservation des ressources (répartiteurs spéciaux etc...),
  - \* périodes d'arrêts programmés pour entretien ou changement de format au niveau des coulées continues.
- **Les contraintes métallurgiques** :
  - \* en fonction du code acier visé, une gamme ou filière particulière doit être suivie, et une certaine anticipation sur

la fonte est parfois nécessaire, notamment pour les aciers nécessitant une désulfuration en amont du convertisseur.

- \* en fonction du degré de corrosivité de l'acier (vis-à-vis du réfractaire du répartiteur), est déterminé le nombre maximum de coulées tolérées dans une séquence.
- \* en fonction de la compatibilité/maniabilité de certaines nuances d'aciers, sont déterminés :
  - + les types d'aciers à tolérer dans une même séquence,
  - + le nombre de coulées dans une séquence,
  - + le type de changement de répartiteur à effectuer entre deux séquences consécutives. Un agrafage sépare 2 séquences compatibles, un réarmement sépare deux séquences incompatibles.

- **Les contraintes de non stockage du produit** : le métal liquide en cours de fabrication doit absolument être traité.

- **La contrainte de reproductibilité/répétabilité non assurée** au niveau du procédé : un grand nombre de facteurs et de paramètres influe sur la qualité de l'acier aux différents stades du procédé :

- \* la qualité des additions chimiques,
- \* états inclusionnaires de la fonte et de la ferraille,
- \* conditions climatiques, humidité influant, entre autres, sur la réussite de l'opération de dégazage,
- \* âge des électrodes de la station d'affinage,
- \* âge des poches et leur degré de contamination par les différents types d'acier,
- \* vitesse d'extraction au niveau des coulées continues, variant en fonction d'un certain nombre de paramètres, etc...

Ces facteurs peuvent varier dans des intervalles de tolérance, engendrant

ainsi une immense combinatoire de situations possibles et donc une répétabilité non systématique du procédé.

La restructuration et la complexification des systèmes de production sidérurgique engendrées par les changements au niveau de la demande, nous mènent à aborder en dernière partie (partie III), les nouveaux modes de gestion et de pilotage de la production, nécessaires pour faire face à ces évolutions.

### **III Les nouvelles approches de gestion et de pilotage de la production**

Actuellement, toutes les industries de sidérurgie sont en train de développer, sur mesure, leur propre système de gestion de production assisté par ordinateur (planification, ordonnancement-séquençement, contrôle et pilotage), et de plus en plus ces systèmes suivent une architecture type CIM (Computer Integrated Manufacturing). Ces systèmes ont pour but une vision transversale du processus physique et informationnel (transparence totale au niveau informations et stocks...), accompagnée d'une amélioration sur le plan technique, d'une adaptation organisationnelle et d'une structure décisionnelle cohérente, à tous les niveaux et horizons, avec les objectifs globaux.

Le développement et la mise en oeuvre de ces systèmes sont difficiles, voire périlleux ; ils nécessitent beaucoup de travail rigoureux de formalisation, et coûtent plusieurs années hommes, voire décennies hommes (man decades) (voir Steinberg 1990).

Nous proposons, dans ce qui suit, de présenter les approches de la gestion de production (à travers des exemples puisés dans la littérature et des études de cas), avant de nous concentrer sur les impératifs de pilotage au niveau de l'unité de production cruciale qu'est l'aciérie.

#### **III.1 Les approches hiérarchiques de la gestion de production**

En ce qui concerne les approches hiérarchiques de la gestion de production (GP) dans la sidérurgie, deux types complémentaires d'approches peuvent être répertoriés :

(1) Approche de formalisation mathématique (théorique),

(2) Approches de formalisation instrumentale, consistant en la conception et mise en oeuvre d'un système hiérarchisé de GPAO.

**(1) Un exemple d'approche de formalisation mathématique**

Une **approche de formalisation mathématique** a été présentée par Lin et Moodies en 1989 : elle consiste en deux modèles mathématiques et une heuristique développés sur trois niveaux hiérarchiques intégrés.

Cette approche réalisée par le PLAIC (Purdue Laboratory of Applied Industrial Control), a pour objectifs majeurs :

- \* la réduction de la consommation énergétique,
- \* la satisfaction des clients,
- \* la réduction des stocks,
- \* d'éviter les retards sur les opérations continues.

La méthode générale comporte 3 étapes correspondant aux 3 niveaux hiérarchiques (Fig. 3) :

- (i) Plan Directeur de Production (PDP), *Master Production Schedule*,
- (ii) Plan des Besoins en Production (PBP), *Production Requirements Planning*
- (iii) Séquencement et Ordonnancement de la Production (SOP), *Production Sequencing and Scheduling*.

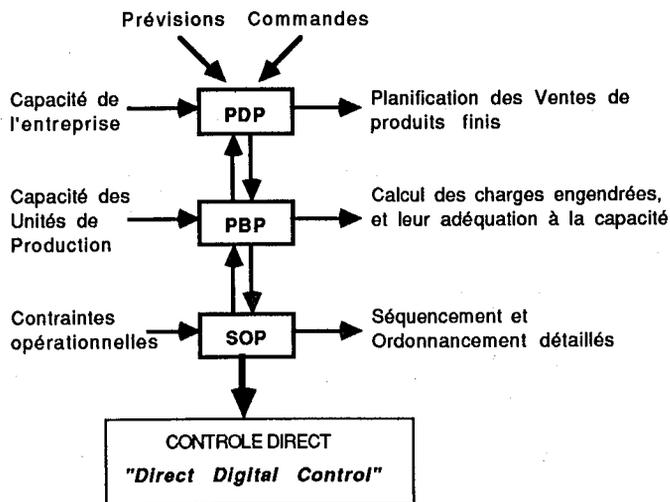


Fig. 3 - Modèle Hiérarchisé de Gestion de Production  
(Lin et Moodies 1989)

( i ) Le PDP est présenté sous forme d'un modèle mathématique à multiples objectifs :

- a) satisfaire la macro-capacité limite de l'entreprise,
- b) satisfaire les commandes,
- c) minimiser les stocks,
- d) équilibrer l'utilisation de la capacité (et la maintenir en deçà d'une limite inférieure).

Le modèle mathématique est sous forme d'une programmation par objectifs. La fonction objective consistant à minimiser les déviations/écarts par rapport aux objectifs pondérés fixés.

( ii ) Le PBP est construit à partir du PDP en ayant aussi recours à une programmation par objectifs. Ceux-ci consistent à :

- a) respecter la capacité réelle des unités de production,
- b) satisfaire les exigences du PDP,

c) minimiser les pertes d'énergie (optimisation de son utilisation).

(iii) Le Séquencement et Ordonnancement de la Production (SOP) est présenté sous forme d'une heuristique, destinée à une aciérie où coexistent la voie lingot et la voie coulée continue (ce qui complique la tâche).

## (2) Exemples d'approches instrumentales hiérarchisées

Comme mentionné dans l'introduction de cette partie (III), toutes les industries de sidérurgie sont en train de développer, sur mesure, leur propre approche instrumentale et hiérarchisée de la gestion de production, sous forme d'un système de GPAO (Gestion de Production Assistée par Ordinateur), avec une architecture plus ou moins proche de celle du CIM (voir FIG. 4).

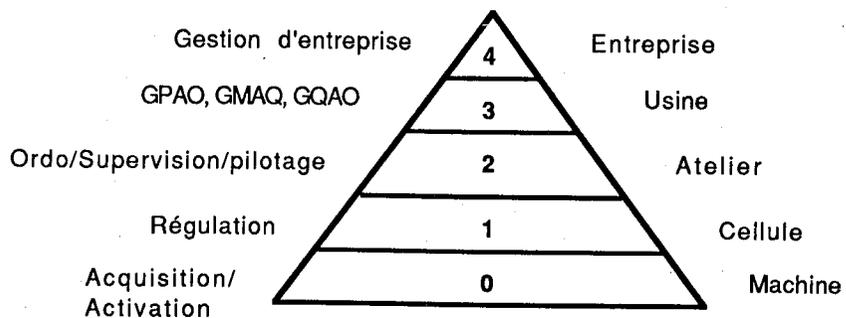


Fig. 4 - Les 5 niveaux de l'architecture CIM

Dans ce paragraphe nous citerons à titre illustratif deux cas, qui seront brièvement présentés : le cas d'Unimétal (branche produits longs du groupe français Usinor-Sacilor) et le cas de Hoesch Stahl (sidérurgie allemande).

## **Le système de Gestion de Production à Unimétal**

Une étude effectuée à Unimétal (Najar et Poste 1990), nous a permis de prendre connaissance du projet VEGA (Vente Et Gestion de production des Aciers longs). Ce projet a été lancé, il y a 3 ans, lors de la mise en évidence des difficultés du système de planification/programmation à respecter les délais face à une demande évolutive. Cette demande, se traduisant par une atomisation au niveau des commandes (tonnage des commandes souvent inférieur au tonnage d'une coulée) et une spécificité au niveau de la nuance, a engendré une difficulté accrue d'évaluation de la charge aciérie au moment du traitement des commandes et de leurs affectations à des stades de laminage au niveau des trains finisseurs. Ce qui entraîne généralement des retards dans la livraison du métal (blooms) aux trains.

Le projet VEGA a pour objectif, à travers la construction d'une "structure d'accueil prévisionnelle" commerciale et industrielle, d'établir une vision transversale sur la totalité du système de production, permettant ainsi d'évaluer et de gérer la charge engendrée par chaque commande sur chaque unité et outil de production.

Le projet VEGA comporte 3 volets ou grands modules :

- La planification des prévisions : qui consiste en l'établissement de la structure d'accueil prévisionnelle, commerciale et industrielle.
- La gestion des commandes : qui se charge d'effectuer la saisie, le traitement et le suivi des commandes, afin de les insérer dans la structure d'accueil pré-établie, dans le volet précédent.
- La gestion des outils, qui se charge de passer les "contrats" ou ordres de fabrication aux unités de production. C'est la phase où on passe du prévisionnel à l'opérationnel, et où il est nécessaire d'avoir un outil de pilotage rigoureux pour gérer, au besoin, les régimes dégradés (en particulier au niveau de l'aciérie).

Le volet planification adopte une approche hiérarchisée, analogue dans sa formulation à celle de Lin et Moodies (1989), voir Fig. 5. En effet, elle consiste à :

- élaborer, à partir des prévisions commerciales et historiques des

ventes aux clients, un **plan de vente**.

- élaborer un **plan de charge**, qui est la traduction des prévisions de ventes, en termes de charge sur les différentes installations (en tenant compte des filières/gammes correspondant à chaque produit, et des disponibilités des outils correspondants),
- élaborer un **plan de marche**, qui consiste à quantifier les lots de fabrication (les séquences pour les aciéries) et à calculer les dates de début et de fin à travers des procédures de séquençage et ordonnancement.

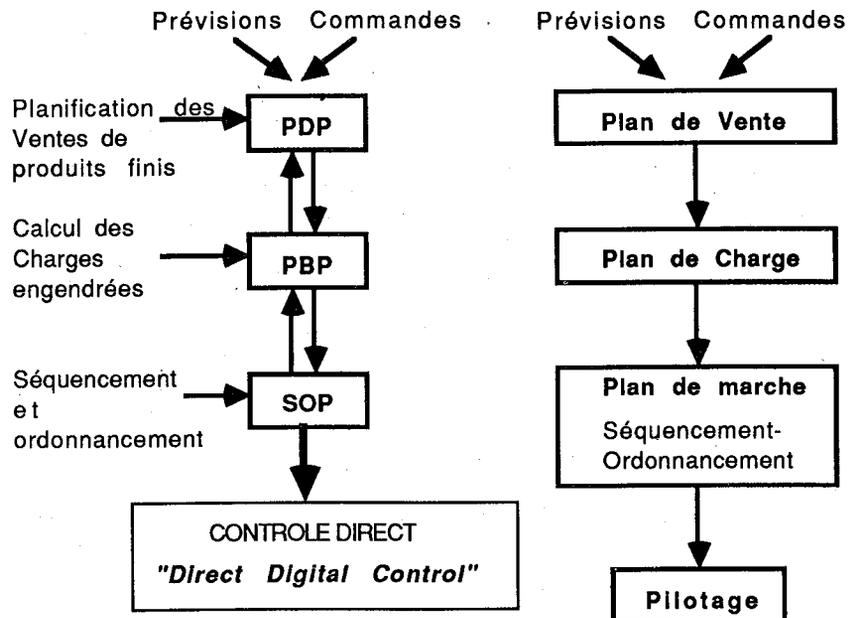


Fig. 5 - Analogie entre l'approche VEGA et celle de Lin et Moodies (1989)

### Le système de GP à Hoesch Stahl A.G. (Allemagne)

Dans son article sur la modification de la demande sidérurgique, Voigt (1990) présente le synoptique des principaux modules du système de gestion et de pilotage de la production assistée par ordinateur, développé à Hoesch Stahl. Ce système adopte une architecture CIM.

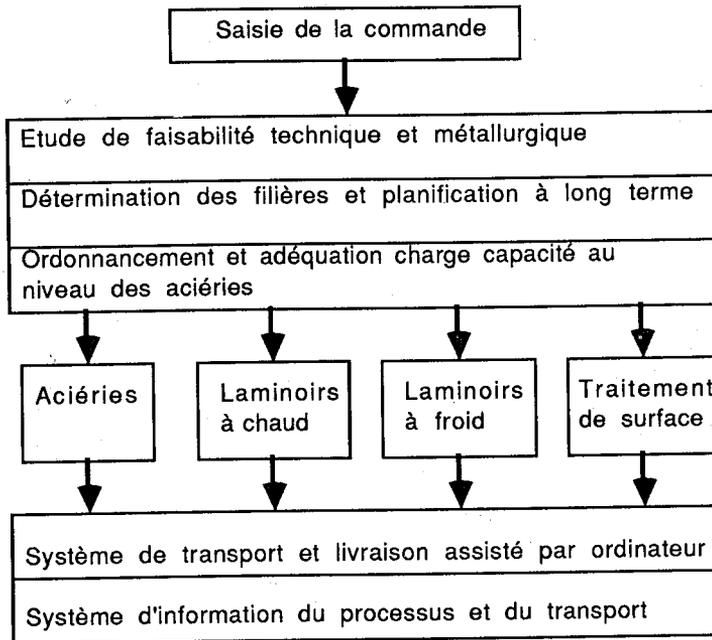


Fig. 6 - Le système de GPAO à Hoesch Stahl A.G.

Il est à noter que, dans les industries sidérurgiques et par rapport à la pyramide CIM (Fig. 4), les niveaux 0, 1 et 2 peuvent être considérés confondus, étant donné que :

- le niveau 4 correspond au système entier, comprenant toutes les unités de production : laminoirs, aciéries, hauts fourneaux etc...,
- le niveau 3 correspond à une unité de production, telle que l'aciérie, le train finisseur ...,
- le niveau 2, 1 et 0 (l'atelier, la cellule et la machine) sont confondus et correspondent aux outils ou installations tels que les stations d'affinage, les coulées continues etc...

### **III.2 Les impératifs de pilotage au niveau des aciéries**

Un nombre croissant d'articles de littérature sidérurgique insiste sur l'importance d'un pilotage rigoureux de la production au niveau des aciéries. L'étude du cas d'Unimétal corrobore cette opinion, et insiste sur la nécessité de développer un outil de pilotage et d'aide à la décision, permettant de faire face aux régimes dégradés, dans cette unité de production complexe.

Mais d'abord, qu'entendons-nous par "pilotage de la production" ?

Le pilotage en temps réel de la production peut être défini comme :

- \* le lancement et le suivi en temps réel de l'exécution des opérations (déterminées par un ordonnancement prévisionnel), avec une régulation si nécessaire,
- \* les activités de pilotage proprement dites qui consistent en l'analyse des performances du système et la prise de décision d'anticipation et de correction face à des situations d'atelier jugées anormales (régime dégradé).  
Les actions correctives consistent en général en un ré-ordonnancement qui détaille le programme prévisionnel des opérations sur chaque ressource, tout en essayant de se rapprocher au maximum de l'ordonnancement initial, qu'il était impossible de poursuivre à la suite de l'occurrence d'un aléa.

Pour mieux appréhender l'importance du pilotage, il est nécessaire de prendre connaissance, même d'une manière simplifiée, des "mécanismes" de l'ordonnancement dans une aciérie, et de définir les principaux régimes dégradés qui risquent d'y avoir lieu.

#### **L'ordonnancement d'une aciérie**

L'atomisation et la spécificité de la demande d'une part, la restructuration du procédé d'élaboration d'autre part, sont à l'origine de la complexification de l'ordonnancement.

Dans ce contexte, une description du circuit des commandes et de la construction des lots de fabrication (condition des OF : Ordre de

Fabrication), s'impose. Voir à ce propos la Fig. 7.

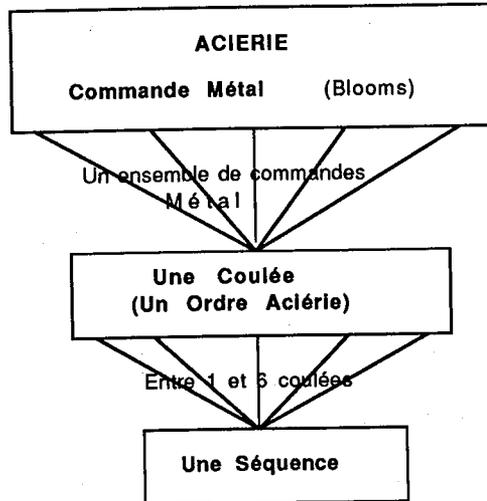


Fig. 7 - La constitution des Lots (Ordres) de Fabrication

L'aciérie reçoit des commandes, qualifiées de commandes métal, sous forme d'un tonnage à respecter, dans une certaine qualité acier, et avec un profil ou format donné. Dans le cas où la commande métal est de l'ordre de la coulée, un OF (qualité d'OA : Ordre Aciérie) peut être constitué. Le problème se pose, par contre, lorsque les commandes ont des tonnages inférieurs à la coulée. Dans ce cas, il faudra chercher dans l'ensemble des commandes passées, celles qui ont la même nuance d'acier, ou une nuance voisine et substituable (possédant des caractères mécaniques similaires), et ceci afin de pouvoir regrouper plusieurs commandes jusqu'à atteindre le volume (tonnage) d'une coulée, et donc constituer un OA.

Lorsque le tonnage d'une coulée n'est pas totalement affecté à des commandes, les blooms ou brames coulés en sus seront affectés aux stocks de demi-produits (situation qu'on essaie d'éviter, étant donné que l'industrie sidérurgique produit à la commande et que les stocks sont indésirables).

Une fois les OA constitués, on essaie de former des séquences maximales avec les nuances d'aciers compatibles et variables.

L'organisation de l'atelier n'est pas un flow-shop classique étant donné que le(s) convertisseur(s) alimente(nt) généralement deux ou plusieurs stations d'affinage. Les flux ne sont pas parallèles non plus, car ils s'entrecroisent à la sortie des stations d'affinage avant d'aller aux coulées continues. La circulation des lots de produits est donc dépendante des encours et de leur traitement. Cette contrainte, combinée à l'obligation d'arrivées synchronisées des poches aux coulées continues, impose un ordonnancement au plus tard et rend tout le flux sensible à une perturbation.

L'ordonnancement au plus tard consiste à déterminer, à partir des dates au plus tard d'arrivées des coulées (constituant les séquences) aux coulées continues, les heures de leurs passages respectifs sur les autres installations (STAF, Transvasement etc...). La circulation des lots de fabrication (les poches), les temps de traitement sur chaque installation et les temps de transport sont visualisés sur un diagramme de GANTT, tel que celui de la Fig. 8. On distingue sur ce schéma l'importance de la synchronisation du flux discontinu, en amont des coulées continues, avec le flux continu au niveau de ces dernières. Il existe des points de rendez-vous, à ne pas rater, au risque d'avoir des agrafages ou réarmements intempestifs (non prévus dans l'ordonnancement prévisionnel).

### **Les objectifs de l'ordonnancement**

L'objectif visé à travers l'ordonnancement d'une aciérie, est de produire les nuances d'acier requises, à l'instant requis, en quantités requises et dans les profils (format) requis. Et ce en vue de respecter les délais et éviter la constitution de stocks.

Or, un réflexe historique persiste toujours, chez les aciéristes, et consiste en un souci constant de productivité. Néanmoins, productivité dans une aciérie n'implique pas nécessairement respect des commandes et service à la clientèle. En effet, on peut avoir une productivité de 100 % et un taux de service moindre. Nous verrons cette distinction dans le paragraphe suivant qui traite des régimes dégradés.

Face à ces objectifs contradictoires (respect des délais, réduction des stocks, souci de productivité), l'ordonnancement essaie d'établir un compromis en visant :

- des séquences les plus longues possibles, pour limiter l'utilisation

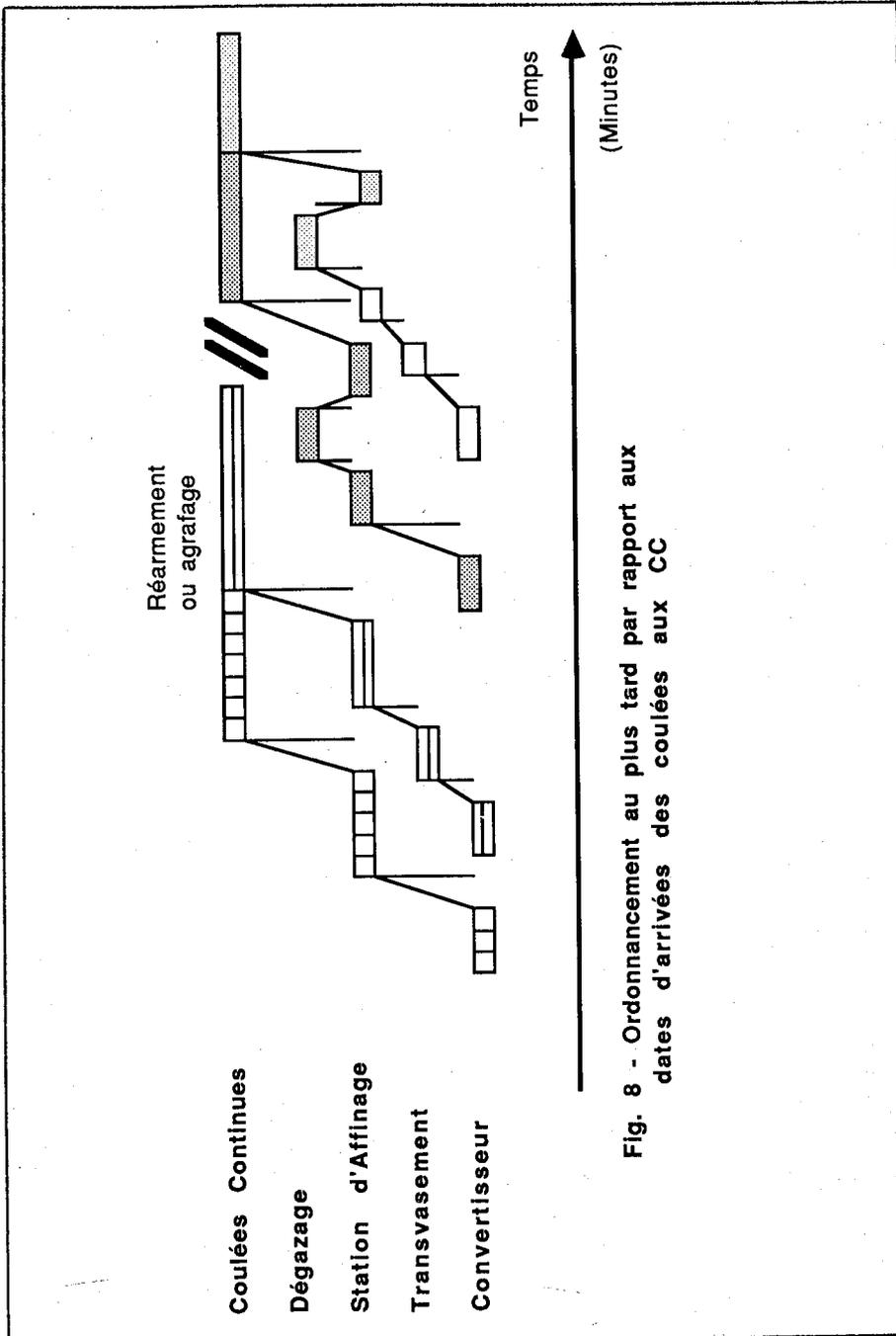


Fig. 8 - Ordonnement au plus tard par rapport aux dates d'arrivées des coulées aux CC

des répartiteurs, les chutages obligatoires au niveau des agrafes, et les temps d'arrêt pour agrafage.

- des séries les plus longues possibles en limitant le nombre de réarmements, qui provoquent de longs temps d'arrêt.

### **Les régimes dégradés**

Comme toute unité de production, une aciérie est sujette à un certain nombre de dysfonctionnements, qui sont à l'origine des régimes dégradés. Deux catégories de régimes dégradés sont possibles :

- ( 1 ) les régimes dégradés générés par des pannes (panne d'une STAF, ou d'un pont roulant ...) ou des incidents (rupture d'approvisionnement en fonte ...),
- ( 2 ) les régimes dégradés générés par des problèmes de qualité, où la nuance ou qualité réalisée lors de la coulée est inadéquate avec celle visée dans l'ordonnancement initial. En effet, la qualité est un paramètre très délicat à gérer au sein d'une aciérie, et ceci est principalement dû au problème, soulevé précédemment dans cet article, concernant la reproductibilité non assurée du procédé.

Le problème de qualité peut se traduire de différentes manières, et mener à un certain nombre de situations, dont les principales sont :

- l'obtention d'une coulée dont la qualité est non récupérable (non affectable sur des commandes présentes ou futures). Cette coulée sera destinée à être recyclée. Dans ce cas, l'ordonnancement/pilotage devra envisager de relancer un OA.
- l'obtention d'une qualité différente de celle visée initialement, mais récupérable à court ou moyen terme sur d'autres commandes. Ce phénomène mène à deux situations possibles :
  - \* la constitution d'un stock en vue d'affectation,
  - \* l'affectation de la coulée à des commandes (anticipation), et donc la création de situations d'avance.

Dans ce cas, de même que pour la cas précédent, l'ordonnancement/pilotage devra envisager de relancer un OA.

- l'obtention d'une coulée dont la qualité satisfait une partie des commandes. Dans ce cas, il faudra, à travers un suivi minutieux des commandes, constituer les OA, pour rattraper les déviations subies.

Ces régimes dégradés génèrent les écarts non souhaités, entre l'ordonnancement prévisionnel et les réalisations. Pour y remédier, deux types d'actions parallèles et complémentaires doivent être envisagés :

- ( 1 ) améliorer la maîtrise du procédé et du flux de production (*Process Control*), grâce à des actions de maintenance préventive, des AMDEC-produit (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et leurs Criticité), des démarches SPC, afin de maîtriser les paramètres de production, et tendre vers une assurance qualité (conformité aux spécifications, et reproductibilité dans le temps), etc...
- ( 2 ) améliorer le pilotage en temps réel de la production (*On line Production Control*), grâce à un système d'aide à la décision et à l'ordonnancement (réordonnancement) en temps réel, basé sur un système d'information et de traitement de l'information du même type (muni d'un journal de bord électronique à accès rapide et efficace), etc...

Signalons à ce propos que trois articles de notre bibliographie (Hong 1990, Neesam 1990 et Herbe 1990), traitent du pilotage de la production dans des aciéries à configurations différentes :

- Hong, (1990), présente le cas d'une aciérie moderne intégrant le processus d'élaboration et de laminage. L'objectif de l'ordonnancement et le pilotage consistent à maintenir et à optimiser, le plus possible, une liaison directe élaboration - laminage (*Direct linkage of steelmaking and Hot rolling* ). Un système de pilotage a été développé pour répondre à ces impératifs. Il porte le nom HIPASS (*Hot Charge Integrated Process Adjusting and Scheduling System* ). Ce système de pilotage temps réel permet de réordonnancer l'aciérie, en cas de régime dégradé, dans une moyenne de 6 à 8 fois par jour (les modules et fonctionnalités de ce système sont décrits dans l'article).
- Neesam, (1990), présente le cas d'une aciérie, qui a introduit récemment, des installations d'affinage, de transvasement et de dégazage, compliquant ainsi la gestion des flux et nécessitant un

outil de pilotage. Pour élaborer cet outil, deux modules ont été développés simultanément :

- \* un module qui consiste à aider le programmeur dans l'établissement d'un programme à moyen terme (32 heures),
- \* un module (se plaçant au niveau de l'exécution), qui aide l'opérateur dans le suivi et le réajustement en temps réel des opérations.

- Herbe, (1990), présente un autre cas d'aciérie, ayant développé un système d'ordonnancement/pilotage (*Real time scheduling system*) pour résoudre le problème complexe de synchronisation, de séquençage et d'affectation (des coulées aux ressources). Le système est basé sur un modèle mathématique interactif, qui intègre les exigences des clients, les contraintes opérationnelles et les conditions en temps réel des installations.

## CONCLUSION

Notre démarche dans cet article a été de tracer les évolutions qu'a connues et que connaît encore la sidérurgie, et ceci en termes d'évolution de la demande, ayant engendré une évolution technique au sein du procédé de fabrication, qui, à son tour, a nécessité de nouveaux outils rigoureux de gestion et de pilotage de la production.

Notre ambition à travers cet article, a été de mettre en évidence la mise en place, souvent insoupçonnée, de techniques de gestion et de pilotage de la production poussées et perfectionnées, dans des secteurs industriels jusqu'ici relativement peu abordés par la littérature de gestion industrielle (gestion de production). En effet, cette dernière s'est essentiellement préoccupée de traiter des problèmes de production dans les industries de masse, plus proches du consommateur (industries automobiles, assemblage électronique et informatique etc...), préconisant ainsi les techniques et outils de gestion tels que la GPAO, GMAO, GQAO, TGAO, systèmes des secteurs du *Process* qui font de plus en plus appel à ces techniques évoluées.

**BIBLIOGRAPHIE**

- Herbe 1990 D.G. Herbe et R.T. Ivey, "Twin Strand continuous slab caster scheduling model", Article de la 3ème conférence internationale sur l'acier à oxygène, The Institute of Metals, Londres, Mai 1990.
- Hong 1990 C.W. Hong, "Production scheduling in the modern steelmaking plant", Article de la 3ème conférence internationale sur l'acier à oxygène, The Institute of Metals, Londres, Mai 1990.
- Lin et Moodies 1989 C.W. Lin et C.L. Moodies, "Hierarchical production planning for a modern steel manufacturing system", International Journal of Production Research, 1989, Vol 27, N° 4, 613-628.
- Najar et Poste 1990 L. Najar-Ben Mahmoud et Y. Poste, "Planification et mesure de performances d'une production complexe", Etude au sein du projet VEGA, UNIMETAL (groupe Usinor-Sacilor), Mai-Septembre 1990.
- Neesam 1990 J. Neesam, D. Morris, D. Hogg et D.V. Barradell, "Operating results from a complex steelmaking route and scheduling control system developed to optimize production at Teesside works British Steel", Article de la 3ème conférence internationale sur l'acier à oxygène, The Institute of Metals, Londres, Mai 1990.
- Pengelly 1990 A. Pengelly, "Third international oxygen steelmaking Congress", Ironmaking and Steelmaking, 1990, Vol 17, N° 4, 221-242.
- Richardson 1990 J.A. Richardson et M.C. Pope, "Quality, productivity and scheduling developments at

British Steel's Scunthorpe Works BOS plant - 1980-1990", Article de la 3ème conférence internationale sur l'acier à oxygène, The Institute of Metals, Londres, Mai 1990.

Steinberg 1990

E.S. Steinberg, "Main development fields for the improvement of production planning and control", Stahl und Eisen 110, 1990, N° 4, 77-81.

Voigt 1990

J.P. Voigt, "Changed market and user demands on steel producers", Stahl und Eisen 110, 1990, N° 4, 59-63.