

MISE EN PLACE D'UN MODULE DE PLANIFICATION AVANCEE REPOSANT SUR LA THEORIE DE CONTRAINTES

Patrick GENIN*, Samir LAMOURI* & Claude ALBAIN**

Résumé. - Les entreprises doivent rester compétitives malgré les évolutions rapides de leurs clients. Cela nécessite des processus organisationnels consistants qui peuvent réagir facilement et d'une manière intégrée. VALTI, filiale du groupe VALLOUREC, livre des tubes sans soudure laminés à froid ou écrous pour les segments mécaniques et roulements à billes. Suite à la réorganisation de son service planification et à l'évolution de son logiciel de planification, la société VALTI souhaite adapter son processus de planification depuis le Plan Industriel et Commercial jusqu'au pilotage d'atelier autour de son logiciel de planification basé sur la théorie des contraintes. Cet article présente la structure du système de planification traditionnelle MRP II (Manufacturing Resources Planning) mis en place pour le pilotage des flux basés sur la théorie des contraintes. Cet article conclura sur les liens qui existent entre l'outil de planification et les processus organisationnels pour proposer un cadre de référence.

Mots-clés : Théorie des contraintes, Planification, Ordonnancement, Système d'Informations.

1. Introduction

VALTI est l'une des filiales du groupe Vallourec. Elle fabrique des tubes acier laminés à froid, brut ou écrous pour des applications automobiles (roulements) ou mécaniques. VALTI utilise le logiciel OPT21 (basé sur la philosophie de pilotage par les contraintes) comme outil de

* Laboratoire d'Ingénierie des Structures Mécaniques et des Matériaux, Institut Supérieur de Mécanique de Paris.

** Valti.

gestion de production depuis l'entrée matières premières jusqu'à la sortie produits finis. Un ensemble d'outils EXCEL et ACCESS ont été développés pour assurer un jalonnement de la charge complémentaire aux fonctions assurées par l'outil et faciliter les analyses de charges et la remise de délai de confirmation.

Suite à la décision de migration de son système d'informations d'un système propriétaire à SAP R/3 (prévue ultérieurement), à l'évolution de version du logiciel de planification OPT21 utilisé par VALTI et à la réorganisation du service, VALTI a exprimé le besoin de pérenniser son processus de planification en l'appuyant de manière plus avancée sur la nouvelle version du logiciel de planification. Les principales évolutions concernent essentiellement le système d'exploitation et le mode de navigation dans les fonctionnalités de l'outil. Il est en particulier souhaité d'intégrer les 4 horizons de planification traditionnels PIC, PDP, Ordo et suivi de production.

Ce changement d'architecture oblige à définir les processus permettant l'utilisation d'un système de planification par les contraintes en utilisant au mieux ses fonctionnalités standard.

2. La typologie industrielle et l'organisation de la planification

Pour présenter l'entreprise, nous nous sommes appuyés sur la typologie de l'AFGI (AFGI, 1998) pour mettre en avant ses problématiques logistiques.

2.1 L'organisation du flux physique

Les matières premières sont des tubes qui sont ensuite différenciés par des opérations successives, décapage, traitement thermique, laminoir à froid, finition. Le processus est donc une typologie de produits en V : différenciation par la nuance, le diamètre puis l'épaisseur, la longueur et la finition.

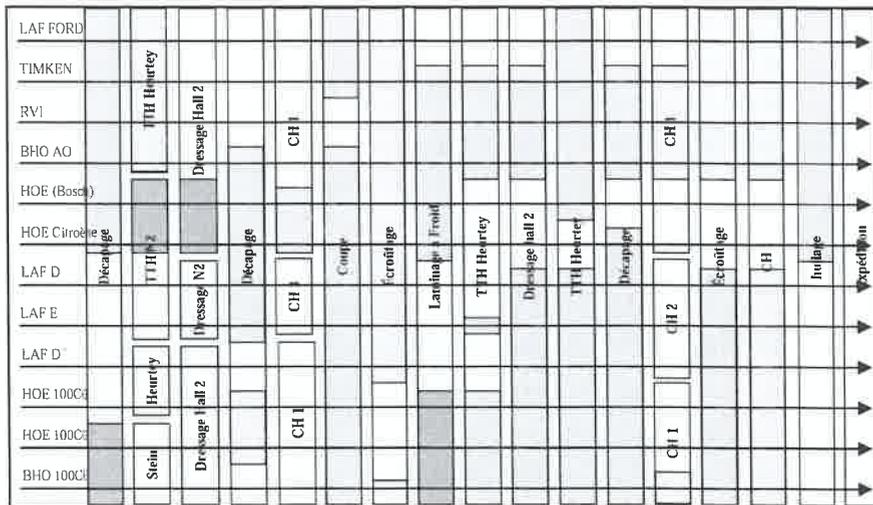


Figure 1 : Ensemble des gammes de fabrication.

Les produits peuvent être regroupés en 4 gammes types. L'ensemble des produits passent sur un traitement thermique (3 fours possibles avec des préférences de passage) et une seule famille passe par les laminoirs à froid (avec des substitutions possibles suivant les articles et les laminoirs).

La production est organisée en lot de taille variée en fonction des commandes et la création de valeur est essentiellement technique.

2.2 L'organisation du flux d'information

Selon les produits, Valti s'est organisé autour de trois types de point de pénétration de la commande :

- ⇒ Pour des nuances particulières, Valti passe commande auprès de ses fournisseurs qui travaillent alors à délai long. La fabrication se fait ensuite dès réception de l'approvisionnement.
- ⇒ Pour les nuances à petits volumes, Valti fabrique à la commande en remettant un accusé-réception dépendant du délai du fournisseur. Celui-ci, travaillant par campagne de nuance et sur quotas, en fonction du portefeuille de commandes et du passage de cycle, le délai d'approvisionnement est plus ou moins long.
- ⇒ Sur les produits dont les ébauches sont communes et / ou ayant un volume mensuel suffisant, un stock de découplage au niveau des matières premières a été mis en place.

Ainsi le délai de livraison vu par le client correspond uniquement au délai de fabrication de Valti. (Figure 2).

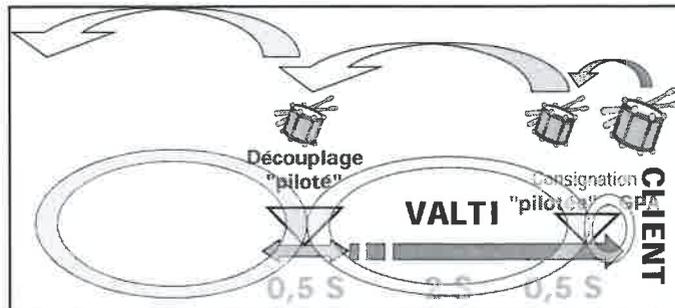


Figure 2 : Exemple du point de pénétration de la commande (Délai court).

Pour certains clients, un stock géré selon les principes de la Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA) a pu être mis en place.

2.3 Structure de planification

Valti organise sa planification autour des 4 processus traditionnels MRP II, le PIC, le PDP, l'ordonnancement et le suivi de production. Le mode de gestion est glissant.

Niveau	Horizon	Maille	Fréquence	Décisions
Plan Industriel et Commercial	6 mois	Mensuelle	Mensuelle	Ouvertures équipes sur postes de charge critiques
Programme Directeur de Production	5 semaines	Semaine	Hebdomadaire	Ajustements de capacités, lissage et affectation de produits
Ordonnancement	Semaine	Heures	quotidien	séquences des OFs selon les contraintes techniques ou les préférences
Suivi d'atelier	Journée	Jour	événementielle	Modification de séquence, d'affectation d'installation

Tableau 1 : Les niveaux de planification de VALTI.

En complément de ces processus, le processus transverse de remise de délai à une commande client joue un rôle important. Suite à une prise de commande, la disponibilité de la matière ainsi que des capacités est vérifiée. Après accord avec le client sur ce délai, la commande

est confirmée et cela génère un Ordre de Fabrication planifié et une commande de matière correspondante en lot pour lot.

Ce processus fait ainsi le lien avec la nomenclature et la gamme pour alimenter la gestion de production.

2.4 Systèmes d'informations associés

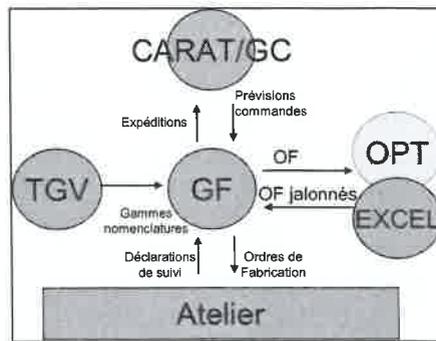


Figure 3 : Architecture actuelle des systèmes d'informations.

Valti soutient ses processus par une architecture de systèmes d'informations hétérogènes (Figure). GF est un outil développé en interne pour assurer le suivi de fabrication (déclarations de production, OF à réaliser, suivi des stocks et encours). Ce système central est alimenté par d'autres également développés en interne :

- ⇒ TGV est le générateur de gamme qui en fonction de la nuance, diamètre, épaisseur longueur et finition du tube commandé crée une gamme et une nomenclature utilisées dans GF à travers les ordres de fabrication
- ⇒ CARAT/GC est un outil du commerce utilisé pour traiter le carnet de commandes client et le prévisionnel en fonction d'historique. Il est interfacé à GF par un dispositif développé en interne GC qui permet d'assurer le suivi de commandes
- ⇒ Excel qui permet après des extractions de la base de données de GF et plusieurs macros de proposer un Programme Directeur de Production à capacité infinie puis de jalonner les OF en tenant compte de contraintes techniques ou de préférences selon les installations.

OPT apparaît dans la Figure en pointillés car aujourd'hui il n'est pas utilisé pour deux raisons principales :

- ⇒ le Travail à Façon pour le fournisseur génère des besoins non intégrés dans OPT en raison d'une interface obsolète,
- ⇒ la non prise en compte d'un horizon figé dans lequel l'outil ne remettrait pas en cause la programmation faite manuellement par le gestionnaire.

En complément de ces systèmes, SAP R/3 a été déployé pour couvrir la facturation et la comptabilité.

3. L'étude de la bibliographie

Les travaux se sont appuyés sur deux axes de recherche : la planification hiérarchisée et le pilotage par les contraintes.

3.1 La planification hiérarchisée

Hax et Meal (1975) ont initié les travaux sur la planification de production hiérarchisée (HPP). Ils traitent une entreprise multi-sites avec 4 niveaux de décision. Le niveau le plus élevé distribue les produits à produire sur les usines. Les trois autres traitent un site individuel. Le concept d'horizon glissant est utilisé pour réaliser des optimisations répétitives. Bitran et Hax (1977), et Bitran *et al.* (1982) ont développé cette méthodologie sous d'autres conditions. Ces modèles considèrent trois niveaux d'agrégation des produits : les articles, les familles et les types (de produits). Le problème est formulé comme un problème de sac à dos convexe (convex knapsack problem) qui minimise les coûts de setup. Axsater (1981), Hillion *et al.* (1988), Meier (1989), Thompson et Davis (1993), Thompson *et al.* (1993) traitent d'un schéma de double agrégation sur les produits et les machines, où au niveau le plus agrégé, les entités significatives sont les départements et les familles d'article. L'organisation qui en découle est par elle-même fonctionnelle, chaque niveau prenant les décisions associées au modèle, celles-ci servant de cadre au niveau inférieur.

Plusieurs applications de structures de planification hiérarchisées sont relatées dans la littérature, telles que les aciéries (Bowers et Jarvis, 1992 ; Lin et Moodie, 1989 ; Mackulak *et al.*, 1980), les laminoirs (Gelders et Steelandt, 1980). Bitran et Tirupati (1993) en font une revue intensive. La plupart des entreprises manufacturières investissent dans des systèmes MRP. MRP représente un système hiérarchisé avec deux niveaux clés (hors du PIC qui n'est pas considéré ici) : le Programme Directeur de Production (PDP) au niveau des produits finis et la désagrégation du PDP au niveau des composants à travers les nomenclatures (Vollmann *et al.*, 1997). Une critique majeure des systèmes MRP est son manque de prise en compte de la capacité dans l'élaboration des plans, ce qui conduit à simuler différents PDP de manière itérative pour

trouver un plan réaliste en capacité. Par conséquent les utilisateurs MRP ont besoin d'un système complémentaire pour obtenir un plan à capacité finie.

Ces structures de planification hiérarchisées proposent des décisions à des niveaux agrégés sous l'axe produit ou l'axe ressources posant ensuite des difficultés de désagrégation. La théorie des contraintes propose une alternative pour gérer cette complexité en simplifiant les structures produit aux contraintes.

3.2 La théorie des contraintes

La théorie des contraintes (TOC - Theory Of Constraints) a été développée par Goldratt comme un processus d'amélioration continue (Goldratt, 1990). Le premier objectif de la TOC est de gérer les activités goulot qui limitent les performances de l'entreprise. Comme noté par Goldratt (1990), chaque système doit avoir au moins une contrainte. La TOC consiste en un ensemble de procédures ciblées pour identifier le goulot et gérer le système de production en fonction de cette contrainte. Celle déclinée dans le contexte manufacturier est le Drum-Buffer-Rope informatisé à travers le logiciel de programmation OPT (Optimized Production Technology, de Creative Output Inc., Figure). Ronen et Starr (1990) analysent le concept et les principes d'OPT.

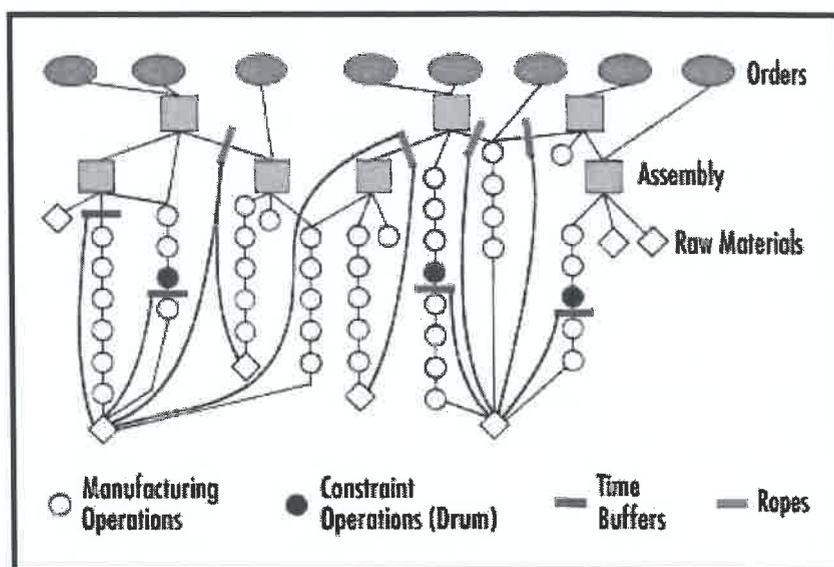


Figure 4 : Réseau OPT.

Le PDP est ainsi réalisé à capacité finie en ordonnant (au plus tôt) les ordres de fabrication sur les opérations contraintes et en tenant compte d'un délai d'attente positionné devant ces contraintes. Les opérations non contraintes sont ensuite positionnées en appliquant un MRP traditionnel (au plus tard).

Cependant peu d'articles traitent des modes d'organisation qui peuvent supporter un tel mode de gestion. Le plus souvent, le pilotage du PDP se fait au niveau des contraintes et les listes de passage sont transmises en production qui doit respecter l'ordre dans la file d'attente de ces contraintes.

4. L'architecture de planification mise en place

L'architecture cible est reprise sur la figure 5. En raison du décalage de la mise en place de SAP R/3 et du MES, nous nous sommes concentrés sur la partie planification en supposant que les nomenclatures et les gammes seront gérées dans SAP ainsi que le processus de remise de délai (à l'exception de la date de disponibilité qui sera lu dans OPT).

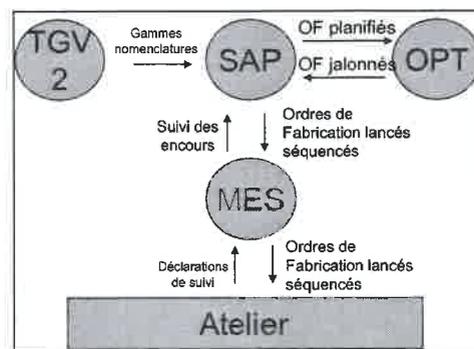


Figure 5 : Architecture cible.

Comme le montre la figure 5, OPT est positionné comme un module d'aide à la décision. L'évolution vers l'architecture cible se fera pas la rédaction d'interfaces qui prendront et émettront des données depuis et vers SAP. Les modèles et modes d'organisation liés à l'outil ne devraient plus être remis en cause.

4.1 Modélisation des prises de décisions

L'objectif de l'utilisation d'OPT comme support à l'élaboration du PDP et des ordonnancements est de fournir des programmes réalisables (i.e. à capacité finie) et réalistes (tenant compte des contraintes techniques et des préférences des opérateurs).

Ainsi l'outil a été positionné sur trois niveaux.

Le PIC et le PDP utilise le même modèle avec un jalonnement à capacité infinie et au plus tard des ordres de fabrication. Le PIC agrège les résultats par famille en unité (Tonnes) par mois afin de permettre de prendre des décisions d'ouverture de postes. Sont également décidées des

réservations de capacité auprès des fournisseurs ainsi que des décisions concernant les quotas éventuels par famille de produits.

Concernant le PDP, celui-ci est d'abord réalisé à capacité infinie pour avoir une vision de la capacité hebdomadaire à installer. Suite à ce calcul, les décisions d'ouverture des calendriers des postes sont saisies dans l'outil. Le jalonnement à capacité finie est alors effectué sur les ressources identifiées comme critiques (TTH et LAF) sous contraintes de disponibilités des matières premières et en cherchant à maximiser le taux de service (nombre de commandes livrées à l'heure sur l'horizon de planification). Ce modèle global à capacité finie est décrit dans la partie suivante (figure 6). On obtient ainsi des dates de passage ordonnancées sur les installations critiques pour chaque ordre de fabrication sur l'horizon de planification.

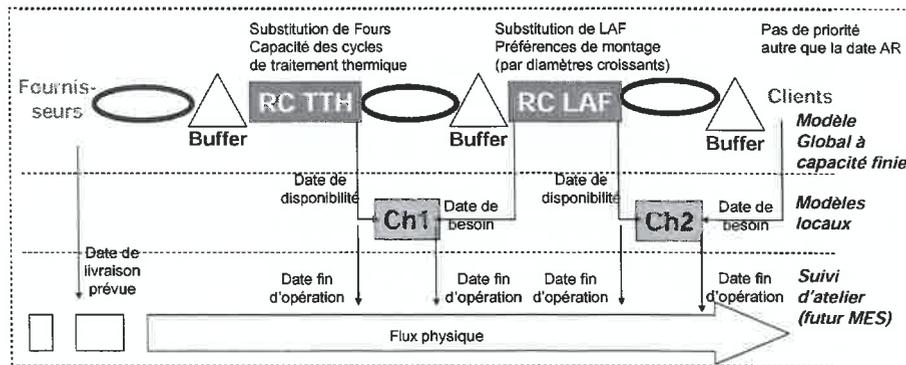


Figure 6 : Architecture des modèles mis en place.

Les ressources non critiques sur le flux nécessitent cependant une programmation. Ces modèles locaux sont simplifiés car ils ne concernent qu'une seule installation. Il s'agit d'ordonnancer les opérations sous contraintes de mise à disposition des matières premières et de capacités pour assurer le taux de service à 100 %. Ces modèles mettent en œuvre des préférences dans l'ordre de passage. Le modèle de l'installation Ch2 sera décrit ci-après.

4.2 Description des modèles

Les modèles sont décrits en appliquant la méthodologie Ressources-Activités-Résultats (Gagné *et al.*, 1998).

4.2.1 Le modèle global pour le PDP à capacité finie

Ce modèle réalise un ordonnancement des Ordres de Fabrication en tenant compte de la capacité des machines, les substitutions possibles de laminoirs à froid et de traitements thermiques suivant les gammes de fabrication qui représentent l'ensemble du flux.

Les ressources en entrée de ce modèle sont classiques : besoins exprimés par une date de fin de l'ordre de fabrication, la nomenclature et la gamme (indiquant les substitutions possibles et leurs ratios d'efficacité), la disponibilité de la matière (commande avec date de mise à disposition ou stock disponible), la position de l'encours, les calendriers des machines (nombre de postes et horaires). Il est à noter que les gammes nécessitent un traitement réalisé par l'interface afin de retraiter les temps gammes qui ont été calculés dans le générateur de gammes sur la base d'un lot servant au calcul du coût de revient. Ce nouveau temps est calculé sur la base d'une cadence moyenne.

L'horizon ferme est modélisé sous la forme d'opération dont les dates ont été fixées et imposées à l'outil d'ordonnancement.

Les préférences d'ordonnancement sont modélisées par une matrice de réglage dont les temps sont identiques mais les « coûts » représentent ces préférences.

L'heuristique appliquée par le logiciel est la propriété de la société Manugistics. La programmation réalisée est une heuristique de tri des ordres de fabrication en fonction des priorités de commandes (ici la date de fin), puis d'un chargement au plus tôt sur les installations. Le coût des réglages sont pris en compte ensuite par un re-séquençement limité.

Des délais de sécurité sont positionnés devant les ressources critiques et sont des contraintes « molles » que l'outil utilise pour protéger l'ordonnancement des ressources critiques.

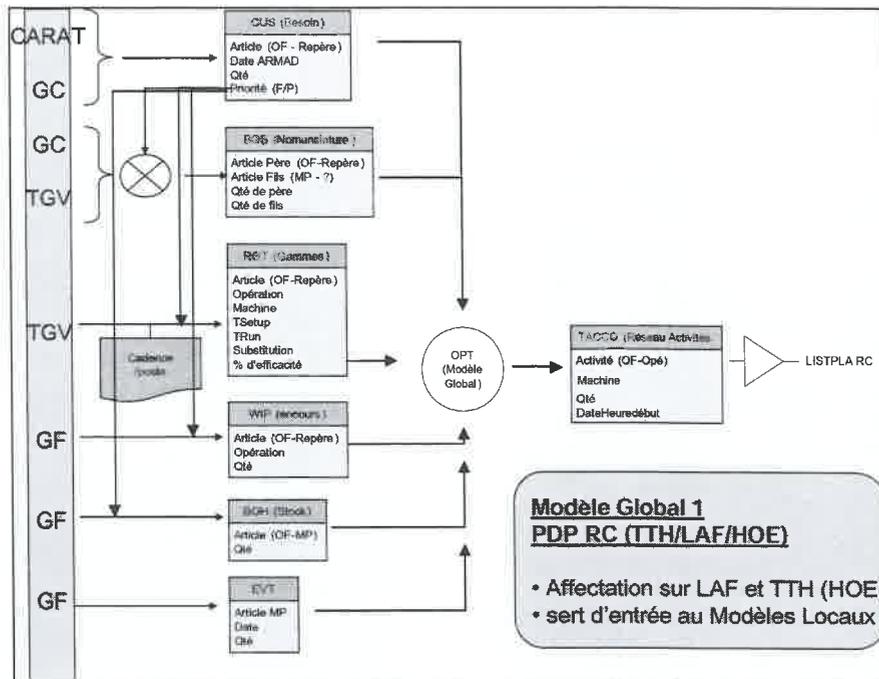


Figure 7 : Modèle global.

Ce modèle permet d'obtenir ainsi une liste de planification (ordre de passage des OF) sur les installations critiques. Cette liste est la continuité de l'horizon figé. Elle est ensuite transférée par une interface dans l'outil de gestion de production où les ajustements manuels du gestionnaire sont possibles.

4.2.2 Le modèle local pour l'ordonnement de la CH2

Ce modèle correspond aux ordonnancements locaux qui doivent satisfaire la date de mises à disposition de l'OF pour le passage sur les ressources critiques.

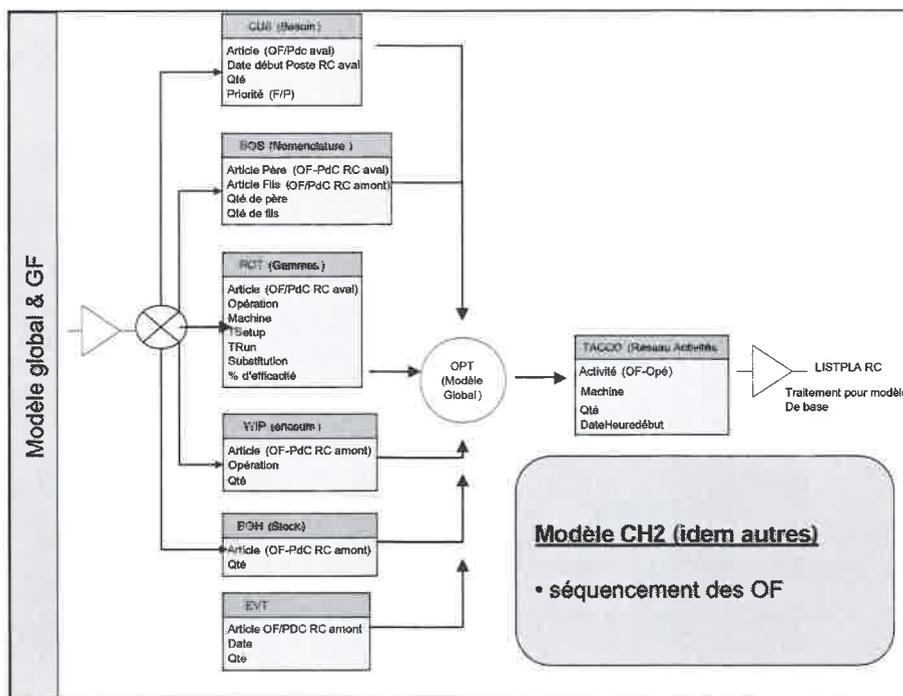


Figure 8 : Modèle local de la CH2.

Comme cela a été indiqué précédemment, ces modèles sont simplifiés car ils ne prennent en compte qu’une installation.

Les données d’entrée sont du même type que pour le modèle global. Seul le sens de l’information diffère. La date de besoin correspond à la date de passage sur l’opération critique suivante (ou la date de livraison client) programmée par le modèle global. La gamme de l’ordre de fabrication est tronquée pour ne traiter que les opérations du modèle local et la nomenclature à l’ordre de fabrication sur l’opération précédant les opérations du modèle local. Si la matière est dans la file d’attente du poste, elle est dite disponible en stock. Sinon la date de mise à disposition de la matière correspond à la date de passage sur la ressource précédente.

Un horizon figé permet également de modéliser les décisions prises par le gestionnaire. Les préférences de passage sont également modélisées par une matrice de montage par les coûts.

Le modèle applique la même heuristique afin de programmer le passage sur la ressource critique traitée par le modèle. Les ordres de passage sont modifiés pour prendre en compte les préférences (diamètres croissants par exemple) mais sans remettre la date de passage sur la ressource critique suivante. En effet, le modèle consomme le délai de sécurité qui constitue la marge de manœuvre des Ordonnanceurs.

Ces délais de sécurité ont ainsi été dimensionnés à 2 jours en fonction de l'encours moyen constaté.

4.3 Organisation de la planification

Ces modèles permettent d'assurer la programmation tout en supportant l'organisation du service planification.

En effet, le responsable du PDP gère l'ouverture des postes en fonction des contraintes commerciales. Il s'appuie donc sur le modèle global traité à capacité infinie. Ces ouvertures de poste sont décidées un mois à l'avance. Il est ainsi autonome sur son horizon et ces décisions. Elles sont cadrées par celles du PIC.

Le programmeur des ressources critiques réalise la programmation en synchronisant le flux afin de satisfaire au mieux les clients sous les contraintes de capacité et de disponibilité des matières premières.

Les Ordonnanceurs sont également autonomes dans la programmation de leurs ressources car elles sont découplées par les délais de sécurité positionnés devant les ressources critiques. Ils doivent respecter les dates de passage. Lorsque leur programmation remet en cause la mise à disposition des matières ou la date de passage sur la ressource critique suivante, ils alertent le programmeur des ressources critiques afin de trouver un compromis.

L'outil génère alors des alertes afin de vérifier la cohérence d'ensemble pour les ordres positionnés dans l'horizon figé.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons abordé à travers un cas pratique la mise en œuvre d'une organisation logistique. L'enjeu était de combiner le pilotage par les contraintes supporté par l'outil utilisé pour planifier les ordres de fabrication avec l'organisation du service.

Cela nécessite la mise en place de découplages permettant d'assurer une certaine autonomie de programmation de chacun des postes de charges tout en assurant une synchronisation globale du flux au niveau des ressources critiques.

Le développement d'un modèle global cadrant des modèles locaux a permis de mettre en œuvre une structure hiérarchisée ne répondant plus à une désagrégation des produits via une nomenclature mais reposant sur une hiérarchie des opérations. Certaines sont critiques pour assurer un « optimum global » alors que d'autres ne servent que dans des modèles locaux.

La prochaine étape porte sur la mise en place du processus Capable To Promise (CTP) en intégrant la prise de commande avec sa programmation afin de remettre un délai au client qui tienne compte de l'état actuel de la programmation (Stadtler and Kilger, 2000).

6. Bibliographie

- A.F.G.I., Typologie des entreprises industrielles, 1998
- Hax A. C., Meal H. C., Hierarchical integration of production planning and scheduling, In *Studies in the Management Sciences, Vol. 1, Logistics*, ed. Geisler M. A., North-Holland, Amsterdam, 1975.
- Bitran G. R., Hax A. C., On the design of hierarchical planning systems, *Decision Science*, 1977, 8, 28-55.
- Bitran G. R., Haas E. A., Hax A. C., Hierarchical production planning: a two stage system, *Oper. Res.*, 1982, 30, 232-251.
- Axsater S., Aggregation of product data for hierarchical production planning, *Oper. Res.*, 1981, 29, 744-755.
- Hillion H., Meier K., Proth J. M., Production subsystems and part-families: the top level model. In *Hierarchical Production Planning systems, Operational Research '87*, ed Rand G. K., Elsevier, Amsterdam, 1988.
- Meier K., Commande hiérarchisée d'un système de production, thèse de doctorat, Université de Metz, Frans, 1989.
- Thompson A. D., Davis W. J., An integration approach for modeling uncertainty in aggregate production planning, *IEEE Trans. Syst. Man Cybernetics*, 1990, 20, 1000-1012.
- Thompson A. D., Watanabe D. T., Davis W. J., A comparative study of aggregate production planning strategies under conditions of uncertainty and cyclic product demands, *Int. J. Prod. Res.*, 1993, 31, 1957-1979.
- Bowers M. R., Jarvis J. P., A hierarchical production planning and scheduling model, *Decision Sciences*, 23, 1992, 144-159.
- Lin C. W., Moodie C. L., Hierarchical production planning for a modern steel manufacturing systems, *International Journal of Production Research*, 27/4, 1989, 613-628.
- Mackulak, G. T., Moodie C. L., Williams T. J., Computerized hierarchical production control in steel manufacture, *International Journal of Production Research*, 18, 455-465.
- Gelders L. F., Steelandt F. V., Design and implementation of a planning system in a rolling mill: A case study, *AIIE Transactions*, 22, 54-58.
- Bitran G. R., Tirupati D., Hierarchical production planning, in S. C. Graves, A. H. G. Rinnooy Kan and P. H. Zipkin (eds), *Logistics of Production and Inventory*, North-Holland, Amsterdam.
- Vollmann T.E., Berry W.L., Whybark D.C., Manufacturing planning and control systems, 4th ed., New York et al., 1997.
- Goldratt E., What Is This Thing Called Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?, *North River Press, Croton-on-Hudson, NY*, 1990.

- Ronen B., Starr M. K., Synchronized manufacturing as in OPT: from practice to theory, *Computers & Industrial Engineering*, **18**, 4, 1990, Pages 585-600.
- Gagné R., Langevin J.-L., Sartori D., Combes J.-E., Castagné M., A chacun sa Propre Entreprise Performante au sein de l'entreprise, Ed Publi Union, Paris, 1998.
- Stadtler H., Kilger C., Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts Models, Software and Case Studies, Springer-Verlag, Berlin, 2000.