



HAL
open science

Modèles du temps et conception d'aides au pilotage des systèmes complexes de production discrète

Marie-Françoise Valax, Elyeth Tremblay

► **To cite this version:**

Marie-Françoise Valax, Elyeth Tremblay. Modèles du temps et conception d'aides au pilotage des systèmes complexes de production discrète. Jean-Marie Cellier; Véronique De Keyser; Claude Valot. La gestion du temps dans les environnements dynamiques, Presses universitaires de France (PUF), pp.320, 1998, Le travail humain (coll.), 978-2-13-048076-1. halshs-02479029

HAL Id: halshs-02479029

<https://shs.hal.science/halshs-02479029>

Submitted on 14 Feb 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CHAPITRE XII

MODELES DU TEMPS ET CONCEPTION D'AIDES AU PILOTAGE DES SYSTEMES COMPLEXES DE PRODUCTION DISCRETE

Marie-Françoise Valax et Elyeth Tremblay

La modélisation de la situation de travail est une étape essentielle dans la conception d'aides au travail (Sperandio, 1993). Combinant les informations issues de l'analyse de la tâche et des connaissances théoriques disponibles, elle détermine la pertinence et la rapidité de la démarche (Leplat et Hoc, 1983). De ce point de vue, la modélisation des situations dynamiques se heurte souvent à l'inadéquation relative des modèles concernant une des dimensions essentielles de la situation : le temps. Généralement, les situations étudiées en psychologie du temps sont des micro-tâches d'une durée souvent inférieure à quelques minutes (Valax, dans ce volume). Les connaissances produites sont locales, hétérogènes et rarement applicables aux situations complexes. Néanmoins, dans la littérature on trouve des modèles qui ont un certain pouvoir heuristique pour l'analyse des situations complexes. D'une part, des modèles du temps généraux, issus de la philosophie ou de l'intelligence artificielle, permettent une modélisation conceptuelle susceptible d'étayer la définition des principes d'une aide (Dieng, 1993 ; Karbach, Linster et Voss, 1990). D'autre part, des connaissances théoriques issues de travaux impliquant un horizon temporel relativement vaste (Sougné, Valax, dans ce volume) permettent de résoudre des problèmes de conception ponctuels. Dans ce chapitre, nous montrerons l'intérêt de ces modèles dans la conception d'aides au pilotage de systèmes de productions discrètes, diversifiées et à la demande.

Privilégiant les aspects techniques du processus, les aides traditionnelles au pilotage des productions complexes sont conçues sur la base d'un temps linéaire, déterminé. En faisant comme si le système productif était prévisible sur un horizon de quelques semaines, les systèmes informatiques génèrent des plans complets, qui définissent un ordre strict d'opérations, à appliquer directement. Si on considère les aspects techniques, organisationnels et humains de la situation, ce type d'aide n'est plus satisfaisant. La description de la situation doit alors se fonder sur un modèle de temps ramifié, continu et ouvert sur le futur (McDermott, 1982). Dans ce contexte, les plans incomplets (Javaux, dans ce volume) et les systèmes de gestion de contraintes associés sont les seuls types d'aides envisageables (Erschler et Thuriot, 1991). Par ailleurs, la complexité et l'imprévisibilité de la situation imposent une coopération entre l'homme et l'aide logicielle. Cette dernière ne peut se réduire à un guide au comportement ou un support de données. Elle doit être un véritable soutien au raisonnement (De Keyser, dans ce volume). Ici, des connaissances théoriques sur les repères temporels (Valax, dans ce volume) permettent de fonder la réflexion sur la réduction du coût de traitement des plans incomplets.

Dans ce chapitre, nous décrirons tout d'abord les exigences du pilotage des systèmes de production discrète. Ensuite, nous discuterons de l'adéquation des plans complets ou incomplets à ces exigences. Enfin, nous présenterons un outil qui, fondé sur le concept de plan incomplet, est susceptible de soutenir le raisonnement des utilisateurs.

1. Les systèmes de productions : des réseaux complexes et réactifs

Les systèmes de productions discrètes, diversifiées et à la demande concernent la réalisation de produits variés composés de différentes pièces (quelques dizaines à quelques centaines) souvent identiques d'un produit à l'autre et dont la fabrication nécessite un enchaînement de tâches (ou opérations) distinctes (gammes de fabrication). Exigée par l'adaptation à la demande, la diminution des cycles de fabrication (quelques jours à quelques semaines) et des stocks d'en-cours de production impose des croisements entre gammes de fabrication qui déterminent l'organisation en réseau du système productif. Ce dernier est composé d'unités de fabrication autonomes mais néanmoins dépendantes puisque participant au même processus. L'autonomie est liée à la nécessité de regrouper la fabrication de pièces et/ou les moyens techniques pour diminuer les cycles de fabrication. Au niveau du produit, on peut regrouper les pièces en modules fonctionnels qui participent à la composition de différents produits. Au niveau des moyens techniques, on peut regrouper des machines (Hatchuel et Sardas, 1992) : (a) en "lignes flexibles", en constituant des minichaînes qui fonctionnent avec des moyens autonomes pour produire des familles de produits ; (b) en "îlots", en regroupant des machines identiques (ou proches) qui fabriquent des familles de pièces. Lignes flexibles et îlots de fabrication sont eux-mêmes regroupés dans des ensembles plus vastes, les ateliers. Ces derniers sont généralement définis par le procédé de fabrication (par ex., moulage, usinage) et/ou la capacité des machines, ou encore par la nature du travail réalisé (par ex., assemblage, fabrication).

La régulation des stocks d'en-cours de fabrication est souvent assurée par des pilotages réactifs, dans lesquels s'inscrit la méthode "Kanban". Cette méthode permet de coordonner les différentes phases de la production "en imposant à chaque étape de produire en fonction des consommations réellement constatées à l'étape suivante" (Hatchuel et Sardas, 1992, p.14).

La variété des produits et la réduction des cycles de fabrication accroissent la complexité de ce réseau productif et, par là même, sa réactivité et son incertitude. Les aléas sur les commandes, sur les ressources matérielles et humaines sont autant de facteurs d'incertitude à contrôler. Les décisions de pilotage de la production jouent un rôle central dans ce contrôle. En ce sens, cette situation est une sous-classe d'environnements dynamiques qui partage un certain nombre de caractéristiques avec les situations évoquées au chapitre I (Cellier, dans ce volume) :

a- *Distance entre décideur et processus.* Le champ de travail est vaste, d'un point de vue spatial et temporel. Les unités de fabrication peuvent couvrir plusieurs ateliers, voire plusieurs entreprises quand, par exemple, une partie du travail est sous-traitée. Une même pièce pouvant participer à la composition de différents produits, la production globale n'a ni début, ni fin. Ainsi, le champ de travail n'est pas directement accessible dans sa globalité, seulement dans une unité de fabrication et à un moment donné.

b- *Dynamique d'évolution du processus.* Le délai de réponse peut être considéré au niveau du produit et au niveau d'une opération de fabrication. Dans les deux cas, il varie en fonction des unités de fabrication. La fabrication d'un produit peut s'étendre de quelques jours (par ex., interrupteur de système électrique) à plusieurs mois (par ex., réacteur d'avion). La réalisation d'une opération peut varier de quelques heures (par ex., filetage d'un lot de vis) à plusieurs jours (par ex., usinage de carters). Généralement, la durée des opérations est homogène au sein d'une unité de fabrication (sinon d'un atelier) mais pas forcément sur l'ensemble du réseau. Parallèlement à la dynamique du travail à réaliser, coexiste celle des ressources matérielles (par ex., variabilité de la performance des machines pour une même opération, pannes) et humaines (par ex., disponibilité, compétence des hommes).

c- *Ouverture du système.* Par sa constitution en réseau, le système de production est ouvert. Tout événement aléatoire ou contrôlé qui survient dans une unité de fabrication a une implication sur les autres unités. Par ailleurs, s'adaptant au plus près à la demande, les

événements extérieurs au réseau de production proprement dit ont des implications sur son fonctionnement.

d- *Médiation entre décideur et processus.* Prise de décision et exécution de la décision sont effectuées par des opérateurs différents. Comme dans la régulation de trafic, la médiation pose aussi bien des problèmes d'interprétation de décision par les "effecteurs" que des problèmes de transfert d'information vers les "décideurs" (Pave, 1992). Le service planning qui coordonne les décisions de fabrication, et les ateliers qui les exécutent, se différencient quant à la hiérarchisation des critères de décision. Le planning privilégie la gestion des délais et l'atelier la gestion des ressources (Valax, Mariné et Reinert, 1990). Dès lors, les décisions issues du planning sont adaptées par l'atelier en fonction de ses propres critères. Inversement, prendre des décisions adaptées suppose des informations fiables sur l'état du système. S'il existe parfois des capteurs sur les machines pour informer le planning sur l'état des en-cours, ce sont généralement les ouvriers qui déclarent eux-mêmes le travail effectué. La gestion des salaires étant souvent associée à la gestion de la production, le travail déclaré ne correspond pas forcément à la réalité du travail effectué (Valax et Cellier, 1992).

e- *Répartition des décisions.* Cette caractéristique, partagée en partie avec les situations de gestion de sinistre (Rogalski et Samurçay, 1993) est une des spécificités du pilotage des systèmes complexes de production. La coordination des fabrications impose une planification centralisée. Toutefois, parce que la modélisation du système est inadéquate et que les données à traiter sont trop nombreuses, les plans construits sont inadaptés à la situation réelle. Ainsi, outre les services centraux, chaque unité de fabrication constitue un centre de décision de pilotage du système, à la fois autonome et dépendant des autres (de Terssac et Erschler, 1992). La diversité des exigences de chacune des unités de fabrication et des logiques des décideurs pose des problèmes de cohérence et de robustesse des décisions au sein du réseau (de Terssac, 1992 ; Schmidt, 1994).

Les systèmes de productions discrètes, diversifiées et à la demande sont confrontés à d'importants problèmes de coordination et de planification qui ne peuvent être traités par les seules avancées techniques. L'intégration des aspects techniques, organisationnels et humains est indispensable (de Terssac et Dubois, 1992). Actuellement, le premier primant sur les deux autres, et tout particulièrement sur l'aspect humain, les outils d'aide ne répondent pas de manière satisfaisante aux exigences de flexibilité et de cohérence du réseau productif (Sanderson, 1989).

2. Plan complet ou plan incomplet pour l'autonomie et la cohérence des décisions

Dans un système déterministe, la cohérence des décisions peut être assurée par le calcul d'un plan complet, optimal (et sa stricte application). Dans le cas d'un système dynamique, multi-déterminé, l'optimalité est impossible à atteindre. L'intelligence artificielle produit des systèmes informatiques qui, fondés sur des méthodes heuristiques, génèrent des plans satisfaisants (Szelke et Kerr, 1994). Toutefois, la complexité et/ou la méconnaissance des mécanismes de production ne permettent pas d'intégrer toutes les données nécessaires à la construction d'un plan directement applicable. Les outils informatiques élaborent des plans complets que les unités de fabrication corrigent "en aveugle", ce qui remet en cause la cohérence du plan sur l'ensemble du réseau.

Afin d'assurer simultanément l'autonomie respective des centres de décision et leur cohérence, une solution serait de présenter des plans incomplets comportant un certain nombre de degrés de liberté (Javaux, dans ce volume). Cependant, la complexité de traitement de ce type de plan impose une réflexion sur le soutien au raisonnement à apporter à

l'homme. En référence à certains travaux en psychologie du temps, la structuration temporelle du plan incomplet serait un des facteurs d'économie de traitement.

2.1. Aides traditionnelles aux décisions

Le pilotage d'un réseau productif est assisté par des systèmes de G.P.A.O. (Gestion de Production Assistée par Ordinateur) qui coordonnent la fabrication des différents produits. Ces systèmes mettent en œuvre une planification hiérarchique en trois étapes. Les plans définis sont :

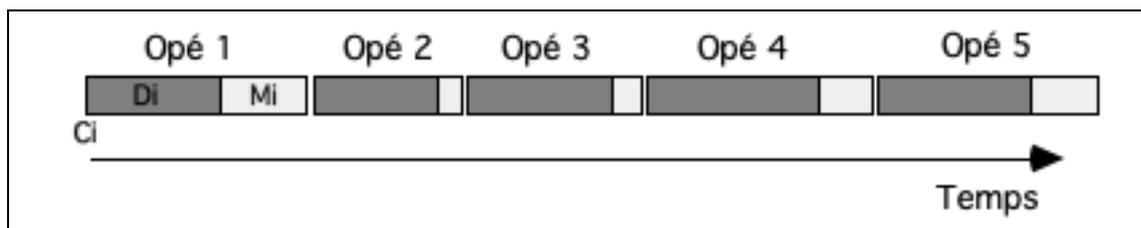
a- *Le plan directeur*, qui répartit dans le temps les ventes de produits sur un horizon de 1 à 3 ans.

b- *Le plan de production*, qui distribue dans le temps des quantités à fabriquer et à approvisionner sur un horizon de 1 à 3 mois. Ce plan de production peut être calculé de deux manières. La diminution des cycles de fabrication et la réduction de stocks d'en-cours supposent que les pièces qui composent un produit arrivent au bon moment au bon endroit. Pour calculer les dates de besoin des différentes pièces, on peut jalonner les étapes de fabrication de façon rétrograde. En partant de la date de livraison du produit fini et en remontant jusqu'au premier besoin, on construit un plan "au plus tôt", qui alloue une certaine marge de temps à chaque étape de fabrication. En supprimant la marge allouée à chaque étape, on obtient un plan "au plus tard".

c- *L'ordonnancement*, qui distribue dans le temps (horizon de 1 à 3 semaines) le travail à réaliser par une machine donnée. Ce travail est décomposé en opérations indépendantes, relatives (en fonction du procédé) à une ou plusieurs étapes de fabrication d'un lot de pièces. Une opération est définie par :

- une durée, qui représente la moyenne des durées des opérations identiques réalisées antérieurement ou une estimation si l'opération est nouvelle ;
- une marge de temps faible et arbitraire qui fait référence au cumul du temps de réglage de la machine, à l'attente au pied de la machine, etc. ;
- une date de début, c'est-à-dire le moment de l'exécution de l'opération.

Figure 1 : Définition d'un ordonnancement traditionnel



Opé : opérations Di : durée de l'opération Mi : marge de temps Ci : date de début

L'ordonnancement (figure 1) est un plan complet qui définit une séquence stricte d'opérations découpée par unité de fabrication. Il constitue l'outil essentiellement utilisé par les décideurs locaux (chef d'atelier et/ou chef de section et/ou chef d'équipe) pour gérer la partie du travail qui les concerne.

Le principe de construction d'un ordonnancement par la G.P.A.O. ne permet pas de garantir l'adéquation de ce plan à la situation réelle. D'une part, la séquence stricte d'opérations n'est pas optimale. En effet, quand elles sont modélisables, les données à considérer dans les calculs sont trop nombreuses pour éviter une explosion combinatoire. L'approche développée est donc fondée sur des méthodes heuristiques qui génèrent par simulation plusieurs solutions satisfaisant, a priori, certains critères. Par exemple, un ordonnancement peut être calculé à partir d'un plan de production au plus tôt ou au plus tard. Dans ces deux cas,

l'ordonnancement obtenu sera différent. D'autre part, le service central de planification choisit la solution à appliquer parmi l'ensemble de solutions générées. Parce qu'il n'existe pas de règles de sélection et que le coût de fonctionnement des systèmes est important, le choix porte généralement sur la première solution générée.

Le service central de planification demande aux unités de fabrication de suivre l'ordonnancement le plus fidèlement possible. Cependant, des corrections sont toujours nécessaires. A partir d'un ordonnancement de référence, plusieurs types de corrections sont possibles :

a- *Avancer ou retarder une (ou plusieurs) opération(s)*. Par exemple, si l'opération précédente est en retard ou bien si l'opération requiert un outil spécifique indisponible, ou encore si une opération devient prioritaire dans le cas où le stock d'en-cours correspondant est insuffisant.

b- *Décomposer une (ou plusieurs) opération(s)*. Par exemple, si une opération X devient prioritaire, on peut diviser le lot correspondant à l'opération précédente pour avancer la date de X.

c- *Regrouper deux opérations ou plus*. Par exemple, si le montage d'un outil est long ou délicat, on peut regrouper deux opérations qui nécessitent le même outil. La durée théorique d'une opération comprenant un temps de montage de l'outil, le regroupement a généralement pour conséquence de réduire la durée globale effective des opérations concernées.

d- *Ajouter ou supprimer une ou plusieurs opérations*. Par exemple, on ajoute une opération quand une commande imprévue arrive ou qu'un lot revient pour des retouches ; inversement, on supprime une opération quand une commande est annulée ou que l'opération est réalisée sur une autre machine.

e- *Arrêter l'exécution pour la reprendre plus tard*. Par exemple, si la qualité du travail réalisé par la machine n'est pas satisfaisante, on peut l'arrêter pendant un certain temps et reporter l'exécution des opérations prévues.

f- *Réduire ou augmenter la durée d'une ou plusieurs opérations*. Par exemple, si l'opération est affectée à une machine plus ou moins performante que la machine prévue, la durée de l'opération augmente ou diminue.

Remarquons que la plupart des corrections effectuées à un point donné du plan ont des implications sur l'ensemble des opérations suivantes. Leur date de début ne peut plus être respectée. Par ailleurs, les corrections pouvant se combiner, les séquences possibles sont nombreuses et parfois très différentes de la séquence initiale. Parce que le réseau productif ne permet pas de concertation constante entre unités de fabrication, le problème de la compatibilité entre les séquences partielles produites par chacune d'entre elles reste entier.

2.2. Une alternative à l'ordonnancement : le plan incomplet

A travers la résolution d'un problème simple de correction de plan, nous allons montrer que les contraintes d'ordre partiel associées à un plan incomplet sont plus adaptées au contrôle de la cohérence des décisions que les contraintes d'ordre strict associées à un plan complet.

Etant donné le problème suivant :

Figure 2 : Rôle des contraintes dans la correction d'un plan incomplet

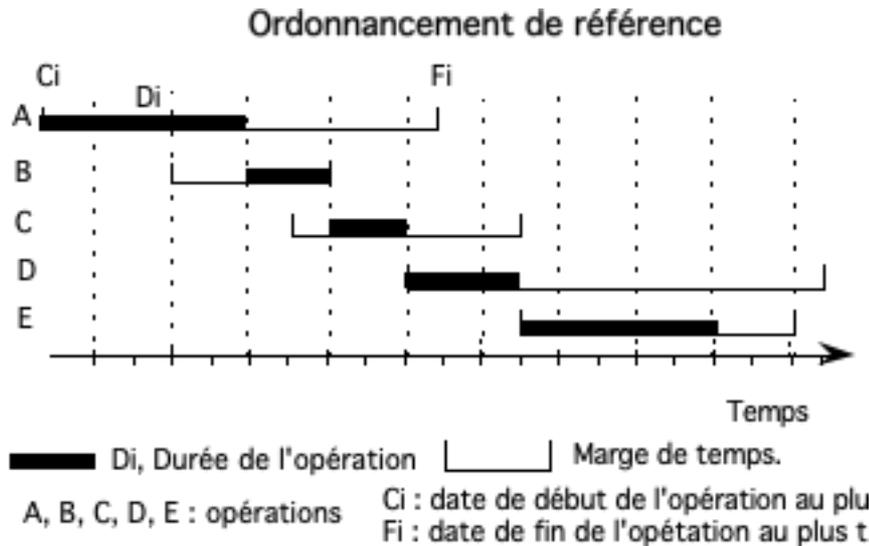


Figure 2a

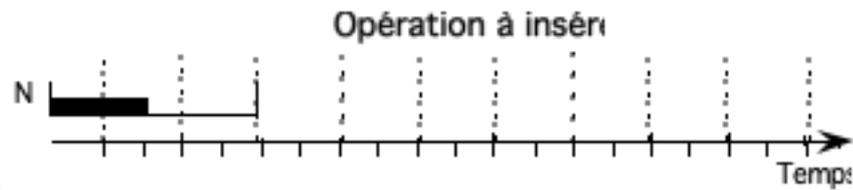


Figure 2b

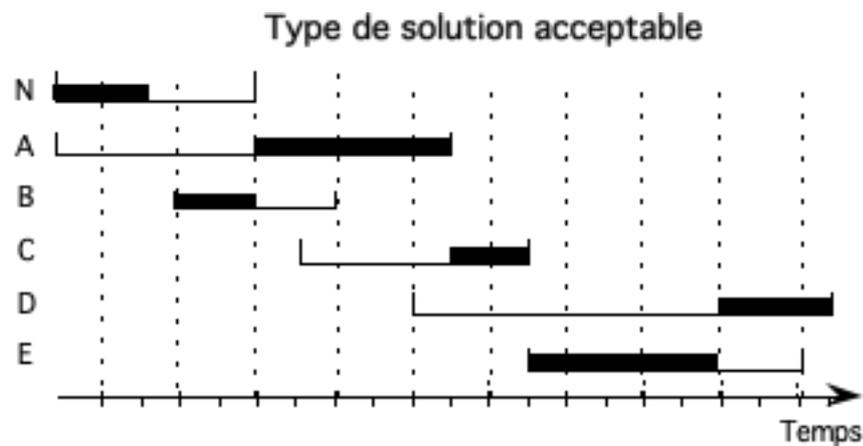


Figure 2c

Soit un ordonnancement composé de 5 opérations A, B, C, D, E, définies par les contraintes d'ordre strict, auxquelles s'ajoute une contrainte de date de début : "suit X", "précède Y" et "doit être réalisée au temps t". Juste avant d'exécuter ce plan complet, on demande d'ajouter une nouvelle opération N à livrer impérativement avant C. L'ajout de N impose la suppression de contraintes de dates sur plusieurs opérations. Pour limiter les effets de cette suppression, N sera insérée entre B et C. Ensuite, la séquence initiale reprendra, mais la date de début de chaque opération, sera retardée d'une durée égale à celle de N.

Admettons maintenant, que les 5 opérations du plan initial soient définies par des contraintes d'ordre partiel. Les contraintes associées aux opérations sont par exemple : "peut être commencée au plus tôt à la date Ci", "peut être terminée au plus tard à la date Fi", "a une durée Di". Dans ce cas, l'opération N pourra être introduite, en respectant l'ensemble de contraintes. La figure 2 décrit un type de solution dans lequel la décomposition d'une opération, dommageable du point de vue de la gestion des stocks d'en-cours, est évitée. Sur

cette figure on constate que la chronologie initiale ne peut être conservée. Une solution acceptable consiste à inverser B et A, ainsi que E et D et à reculer C. L'ordre initial A-B-C-D-E devient N-B-A-C-E-D. Par ailleurs, cette solution suppose l'arrêt de la machine entre N et B (ou avant N).

Cet exemple illustre différents points :

a- En tant que plan complet défini par un ordre strict, l'ordonnancement pose des contraintes qui ne peuvent en aucun cas être respectées lors de ses corrections.

b- Les contraintes en termes de marges (ensemble de contraintes relatives à la durée et aux dates de réalisation au plus tôt et au plus tard des opérations) associées à des plans incomplets peuvent être respectées lors de corrections du plan.

c- Les corrections d'un plan incomplet sont coûteuses. Plus exactement, les informations disponibles dans un plan complet ne permettant pas d'aller au-delà d'une analyse de surface des données du problème, les actions de corrections restent locales. Inversement, les informations disponibles dans un ordre partiel permettent, sinon nécessitent, une analyse plus profonde des données et des actions de correction réparties sur l'ensemble du plan. En effet, le simple ajout d'une opération suppose de considérer, non seulement les opérations qui lui sont contiguës, mais l'ensemble des opérations initialement définies.

Si le plan complet ne permet pas le contrôle de la cohérence globale de la fabrication, le plan incomplet est complexe à utiliser. La réduction progressive des marges semble acceptable pour réduire le coût de traitement, mais comment aider le décideur dans cette stratégie ?

2.3. Structure temporelle et traitement de plan incomplet

Des travaux empiriques sur le rappel d'événements passés ou l'organisation de tâches quotidiennes (Valax, dans ce volume) ont montré le rôle des repères temporels dans la structuration du raisonnement humain. Les résultats de ces travaux sont-ils généralisables au pilotage des systèmes complexes de production ?

Dans une fabrique de réacteurs qui fonctionne en 3x8, nous avons constaté (Cellier et Valax, 1992) que les décideurs décomposent le temps en intervalles emboîtés correspondant à la semaine, à la journée et à la durée de travail d'une équipe. De l'ordonnancement de référence, ils prélèvent uniquement des informations relatives à l'ordre partiel des opérations. Ils affectent chacune d'entre elles à un intervalle de temps, de plus en plus restreint au fur et à mesure que l'on s'approche du présent. L'ordre strict des opérations est défini le plus tard possible, seulement sur l'unité de temps "équipe". Ainsi, un lundi matin, une "photographie" du plan hebdomadaire serait la suivante : l'ordre des opérations est défini seulement pour l'équipe qui reprend le travail ; les deux équipes suivantes ont chacune un certain nombre d'opérations non ordonnées à réaliser ; au-delà, les opérations sont affectées à chacun des jours de la semaine.

Cette procédure se fonde sur la superposition d'une structure temporelle emboîtée au plan complet initial (ordonnancement). L'affectation d'opérations aux intervalles de temps de cette structure revient à définir un plan incomplet associé à des contraintes de marge qui s'intensifient au fur et à mesure que la structure temporelle s'affine. Ainsi, la structuration temporelle autorise l'économie de traitement des plans incomplets. Remarquons toutefois que dans la situation étudiée, la cohérence globale de la fabrication n'est pas assurée. La conversion du plan complet en plan incomplet détermine des marges de temps arbitraires. Vis-à-vis des autres unités de fabrication, la pertinence des dates de réalisation au plus tôt et au plus tard n'est donc pas garantie.

3. Nouvelle conception des aides au pilotage des productions complexes

L'interface MARGE (Module d'Aide à la Régulation de charge, Graphique et Ergonomique) est un prototype d'aide conçu pour assurer l'autonomie et la cohérence des décisions locales de pilotage de systèmes complexes de production discrète (Thuriot et Torres-Delgado, 1992 ; Torres-Delgado, 1995). Dans ce paragraphe, nous présentons ce prototype et quelques éléments de validation.

3.1. Le prototype MARGE

Trois principes fondés sur les modèles conceptuels et empiriques présentés antérieurement ont guidé la conception de MARGE :

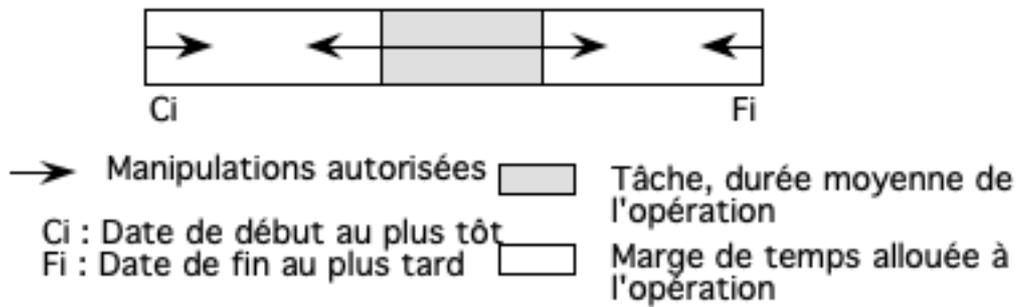
a- *Cohérence globale des décisions de fabrication.* Les contraintes associées à chaque opération (durée, date de début au plus tôt et de fin au plus tard) se manifestent à travers des marges de temps. Elles représentent le degré de liberté dont dispose le décideur sur une opération donnée, relativement au respect de la cohérence du plan global. Liées à des actions interdites sur l'interface, ces contraintes sont explicites pour le décideur.

b- *Réalisme et transparence de l'autonomie décisionnelle des utilisateurs.* Les contraintes font apparaître les marges maximales disponibles pour une décision donnée. Cette marge n'est pas arbitraire. Initialement issue du calcul de besoin au plus tôt (cf. §2.1), elle résulte dans les étapes ultérieures, d'un calcul automatique fondé sur un processus d'Analyse Sous Contraintes (Erschler et al., 1991).

c- *Soutien aux étapes du raisonnement.* L'interface est dynamique. Elle simule graphiquement les résultats de chaque étape de traitement qui se traduisent par une réduction de marges. Par exemple, si l'utilisateur décide de réduire la marge associée à certaines opérations, MARGE calcule les conséquences de cette décision sur l'ensemble des opérations du plan. Notons que MARGE considère que chaque étape de traitement est réalisable par un utilisateur différent, qui ne possède pas forcément les informations relatives aux données intégrées précédemment. En d'autres termes, à chaque étape de traitement, on retrouve les principes d'autonomie et de cohérence discutés pour les unités de fabrication du réseau productif. Ainsi, au temps t , l'interface MARGE présente des valeurs de contraintes actualisées (durées, dates au plus tôt et au plus tard) à l'intérieur desquelles l'utilisateur N peut raisonner librement. Des décisions prises par cet utilisateur, l'interface ne considère que le résultat traduit par une nouvelle actualisation des valeurs de contraintes. Cette actualisation va toujours dans le sens d'une réduction de la marge. On considère qu'à chaque étape, les décisions prises sont "robustes", en quelque sorte satisfaisantes et définitives — des retours en arrière sont toutefois possibles dans la mesure où le module conserve en mémoire les plans initiaux et intermédiaires.

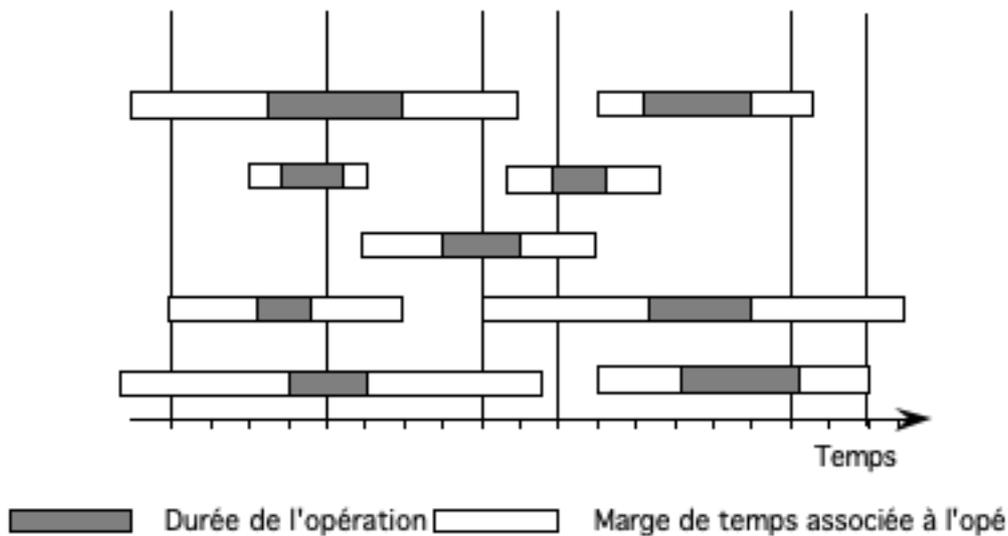
Le support graphique initial, nommé *plan d'opérations*, est constitué d'une structure représentant les contraintes associées aux opérations. Chaque opération est définie par (figure 3) : (a) une fenêtre, délimitée par une date de début au plus tôt et une date de fin au plus tard ; (b) une tâche, définie par la durée moyenne de l'opération. La différence entre la fenêtre et la tâche représente la marge de temps allouée à l'opération.

Figure 3 : Représentation graphique des contraintes relatives à une opération sous MARGE



La tâche peut être déplacée à l'intérieur de la fenêtre. De même, la marge de temps peut être réduite, soit en reculant la date de début au plus tôt, soit en avançant la date de fin au plus tard. Les manipulations qui vont à l'encontre des contraintes, telles qu'avancer la date de début au plus tôt ou reculer la date de fin au plus tard, sont impossibles. La réduction de la marge représente de nouvelles valeurs de contraintes qui se manifestent par des interdictions pour les étapes ultérieures.

Figure 4 : Superposition du plan d'opérations et de la structure temporelle sous MARGE.



Lorsque le plan d'opérations est complexe (opérations nombreuses et/ou marges importantes) le module MARGE permet à l'utilisateur de décomposer l'horizon du plan en superposant au plan d'opérations une structure temporelle constituée d'intervalles délimités par des repères temporels (figure 4). Ceux-ci peuvent être définis : soit de façon automatique (existence de règles formelles pour la réduction des marges), soit de façon fonctionnelle (règles ou données informelles, spécifiques à l'utilisateur ou à l'unité de fabrication).

La fonction de la structure temporelle est double :

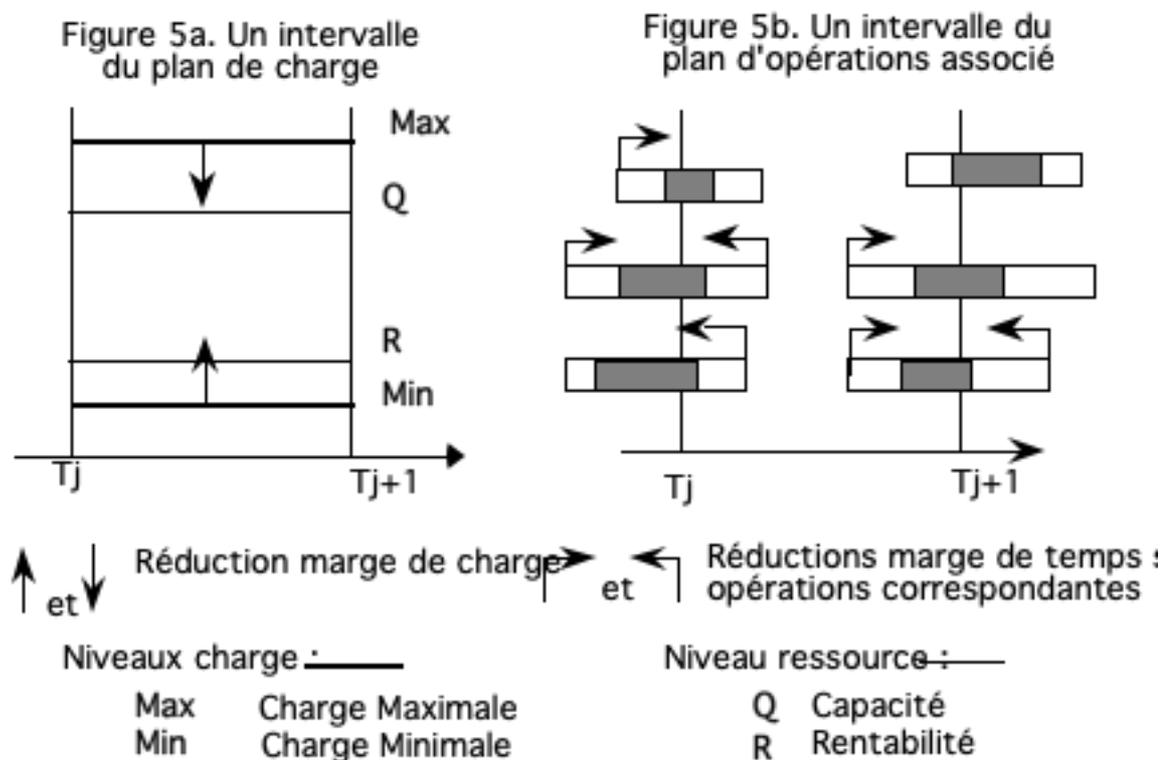
a- *Regroupement perceptif d'opérations*. En décomposant perceptivement l'horizon du plan, elle facilite le regroupement temporel d'opérations. Pour des plans d'opérations de complexité faible, elle permet à l'utilisateur d'agir directement sur les opérations.

b- *Détermination d'un raisonnement agrégé*. La structure temporelle sous-tend la conversion automatique du plan d'opérations en *plan de charge*, c'est-à-dire la transformation de quantités de travail discrètes (opérations) en quantités de travail globales (charges). Les

données ainsi formatées induisent un raisonnement agrégé qui facilite le traitement de plans d'opérations complexes.

Le plan de charge définit des niveaux de charge maximum et minimum pour chaque intervalle de la structure temporelle. Calculés à partir du cumul des quantités discrètes de travail relatives à l'ensemble des opérations concernées par un intervalle, les niveaux de charge sont différenciés par les positions extrêmes que peut prendre chaque tâche à l'intérieur de sa fenêtre (Thuriot et Torres-Delgado, 1992). L'écart entre les niveaux de charge maximum et minimum représente la marge de charge sur un intervalle donné de la structure temporelle. En superposant à ces niveaux de charge des niveaux de *rentabilité* (le travail minimum que l'on doit faire pour que globalement la ou les machines concernées soient rentables) et de *capacité* (le travail maximum que l'on peut faire avec la ou les machines concernées) on fait apparaître des risques de surcharge ou de souscharge sur chaque intervalle. Ceux-ci peuvent être réduits par des décisions de régulation (figure 5a) traduites par des transferts de charge d'un intervalle-cible sur ses intervalles strictement adjacents. Les décisions de régulation se manifestent graphiquement par la réduction des marges de charge. Dans une étape ultérieure, l'utilisateur transposera les transformations des marges de charge, relatives au plan de charge, sur les marges de temps dans le plan d'opérations associé. Pour chaque intervalle, il répartira la diminution de la marge de charge globale sur tout ou partie des marges de temps discrètes relatives aux opérations concernées (figure 5b). Ainsi, un nouveau plan d'opérations sera construit, plus contraint que le précédent.

Figure 5 : Traduction de la réduction de la marge de charge sur les marges de temps de quelques opérations sélectionnées par l'utilisateur, pour un intervalle donné de la structure temporelle.



La réduction progressive des marges de temps relatives aux opérations est réalisable par des constructions successives de plans de charge et d'opérations associés, fondées sur des structures temporelles de plus en plus fines. La réduction des marges de temps s'achève au

degré de précision que le décideur considère comme pertinent pour la situation à traiter, degré qui pourra éventuellement (et non nécessairement) être un ordonnancement.

3.2. Validation du prototype MARGE

La validation sur site réel du prototype MARGE est problématique. D'une part, les contraintes de l'ordonnancement traditionnel ne sont pas directement transposables sur MARGE et, d'autre part, la construction du plan de charge de MARGE est inhabituelle. Ceci implique une formation préalable des utilisateurs. Ainsi, l'interface a été testée sur des sujets non-spécialistes en gestion de production (Valax et al, 1994).

L'étude a porté essentiellement sur le traitement du plan de charge. Douze sujets ont eu à résoudre successivement trois problèmes de régulation de charge de complexité croissante. Le premier et le dernier était présenté sur support papier et le deuxième sur le logiciel. Sur les 36 protocoles analysés, le taux de réussite est de 69,7 %. L'apprentissage est rapide, il passe de 16,7 % au premier problème à 91,7 % au deuxième et à 100 % au troisième. Cependant, certaines erreurs révélatrices de difficultés de compréhension du rôle des contraintes persistent jusqu'au dernier problème : par exemple "augmenter le niveau de charge maximal" (successivement, 50 %, 83,3 % et 50 % des protocoles concernés) ou "diminuer le niveau de charge minimal" (successivement, 25 %, 25 % et 16,7 % des protocoles concernés). Pour ces deux types d'erreurs, celles qui concernent le niveau maximal sont beaucoup plus fréquentes que celles qui concernent le niveau minimal.

Remarquons que, dans une étude préliminaire (Valax et Thuriot, 1994) réalisée sur 17 sujets experts et qui concernait le plan d'opérations, nous avons constaté que le rôle des contraintes de date de début au plus tôt et de fin au plus tard (équivalentes, dans leur principe, aux contraintes sur la charge) a été bien compris, seulement 2 sujets ne les ont pas respectées, mais ceci délibérément.

Si les erreurs constatées doivent questionner la présentation des données et la formation des utilisateurs, on peut considérer que la rapidité d'apprentissage est un point positif pour l'adaptation de MARGE aux exigences cognitives des utilisateurs.

4. Conclusion

La conception du prototype d'aide au pilotage des systèmes complexes de production MARGE a bénéficié de connaissances théoriques sur le temps. Des modèles généraux ont permis de décrire la situation et de poser les principes de l'aide. Des connaissances théoriques locales sur le traitement cognitif du temps ont facilité la recherche de solution relative au problème d'affinement de plans incomplets.

Néanmoins, ces modèles sont encore insuffisants pour répondre à certaines questions. En particulier, la structuration temporelle du plan pose des questions sur la nature et le rôle des repères utilisables ou utilisés dans les décisions de gestion du travail. Par ailleurs, des questions se posent relativement à la pertinence de ces modèles pour des environnements dynamiques différents. Par exemple, des stratégies fondées sur la structuration du temps sont-elles pertinentes dans les situations à délais de réponse brefs, comme le pilotage d'avions ou des situations de contrôle de trafic ?

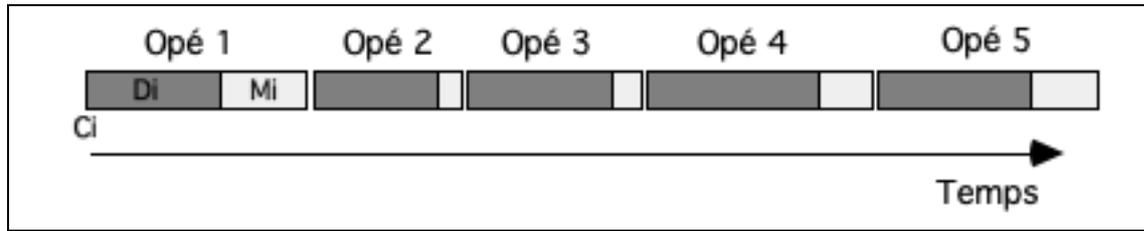
Références

- Dieng, R. (1993). Méthodes et outils d'acquisition des connaissances. In J.C. Sperandio (Ed.), *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques*. Toulouse : Éditions Octarès.

- Erschler, J., Lopez, P., & Thuriot, C. (1991). Raisonnement temporel sous contraintes de ressources et problèmes d'ordonnancement. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 5, 3.
- Erschler, J., & Thuriot, C. (1992). Approche par contraintes pour l'aide aux décisions d'ordonnancement. In G. de Terssac, & P. Dubois (Eds.), *Les nouvelles rationalisations de la production* (pp. 249-266). Toulouse : Cépaduès.
- Friedman, W.J. (1993). Memory of past events. *Psychological Bulletin*, 113 (1), 44-66.
- Hatchuel, A., & Sardas, J.-C. (1992). Les grandes transitions contemporaines des systèmes de production, une démarche typologique. In G. de Terssac, & P. Dubois (Eds.), *Les nouvelles rationalisations de la production*, (pp. 1-24). Toulouse : Cépaduès.
- Karbach, W., Linster, M., & Voss, A. (1990). Models, methods, roles and tasks : many labels - one idea ? *Knowledge acquisition*, 2, 279-299.
- Leplat, J., & Hoc, J.-M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3 (1), 49-63.
- McDermott, D. (1982). A temporal logic for reasoning about processes and plans. *Cognitive Science*, 6, 105-155.
- Pavé, F. (1992). L'inéductable dimension politique des systèmes de production. In G. de Terssac, & P. Dubois (Eds.), *Les nouvelles rationalisations de la production* (pp 107-120). Toulouse : Cépaduès.
- Rogalski, J., & Samurçay, R (1993). Cooperative Work and decision-making in emergency management. *Le Travail Humain*, 56, 53-77.
- Sanderson, P., (1989). The Human Planning and Scheduling Role in Advanced Manufacturing Systems: An emergencing Human Factors Domain. *Human Factors*, 31, 6, 635-666.
- Schmidt, K. (1994). Cooperative work and its articulation : Requirements for computer support. *Le travail Humain*, 57 (4), 345-366.
- Spérandio, J.-C. (1993). *L'ergonomie dans la conception des projets informatiques* Toulouse : Éditions Octarès.
- Szelke, E., & Kerr, M. (1994) Knowledge-based reactive scheduling. *Production Planning & Control*, 5, 2, 124-145.
- Terssac (de) G. (1992) *Autonomie dans le travail*. Paris : PUF.
- Terssac (de) G., & Dubois, P. (1992). *Les nouvelles rationalisations de la production*. Toulouse : Cépaduès.
- Terssac (de), G., & Erschler, J. (1992). *Analyse des interactions entre deux centres de décision dans les secteurs de production discrète et diversifiée : interprétation de l'analyse en termes de négociation de contraintes*. Rapport interne LAAS-CNRS, Toulouse.
- Thuriot, C., & Torres-Delgado, J.F. (1992). Interface graphique pour l'aide à la décision de répartition de charges de travail. *ERGO'IA 92 Biarritz*, Oct.
- Torres-Delgado, J.F. (1995). *Un système interactif d'aide à la décision pour la régulation de charges de travail dans les ateliers*. Thèse de 3^e cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Valax, M.-F., & Cellier, J.-M. (1992). Aides à l'organisation du travail dans les ateliers : problèmes du décalage entre prévision et réalisation. In G. de Terssac, & P. Dubois (Eds.), *Les nouvelles rationalisations de la production* (pp. 121-137). Toulouse : Cépaduès.
- Valax, M.-F., Lompré, N., Thuriot, C., & Tremblay, E. (1994). Information processing approach for the validation of a workload regulation software. *Proceedings of the 12th congress of the International Ergonomics Association*. Volume 2, Ergonomics in occupational Health and Safety (pp. 414-416).

- Valax, M.-F., Mariné, C., & Reinert, M. (1990). Traitement de données structurées par un ordre temporel ou hiérarchique : Utilisation dans l'analyse de l'activité. *Le travail Humain*, 53 (1), 79-89.
- Valax, M.-F., & Thuriot, C. (1994). *Conception de l'interface d'un logiciel d'aide à l'ordonnancement pour la gestion de productions discrètes et diversifiées*. Rapport région n° 9100173.

Figure 1 : Définition d'un ordonnancement traditionnel



Opé : opérations Di : durée de l'opération

Mi : marge de temps

Ci : date de début

Figure 2 : Rôle des contraintes dans la correction d'un plan incomplet

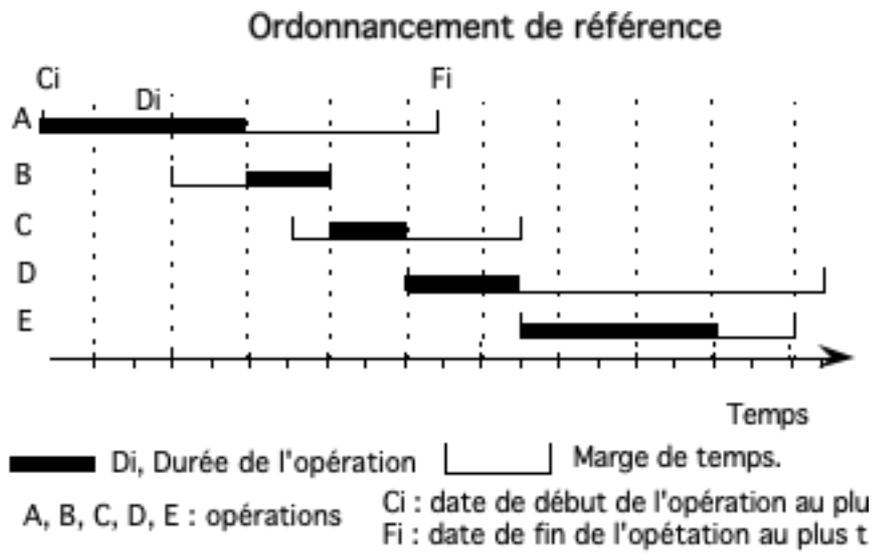


Figure 2a

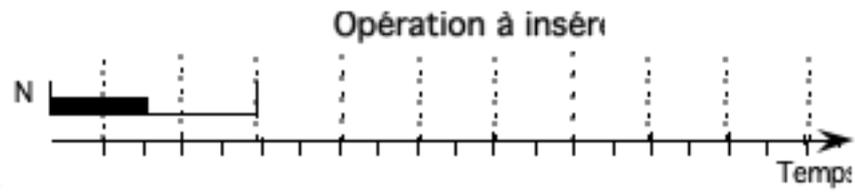


Figure 2b

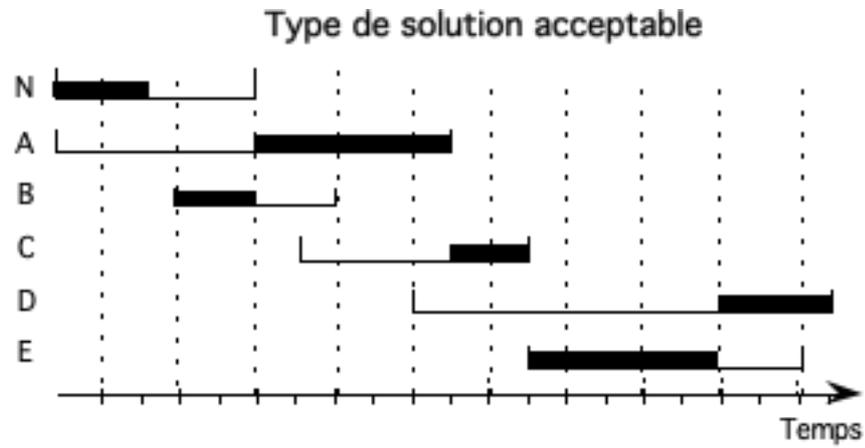


Figure 2c

Figure 3 : Représentation graphique des contraintes relatives à une opération sous MARGE

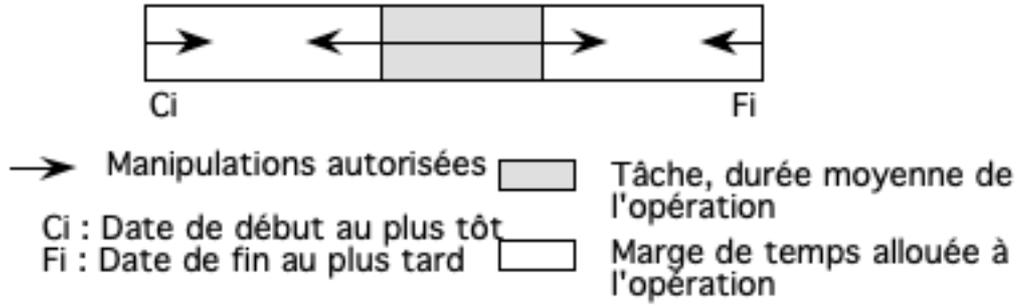


Figure 4 : Superposition du plan d'opérations et de la structure temporelle sous MARGE.

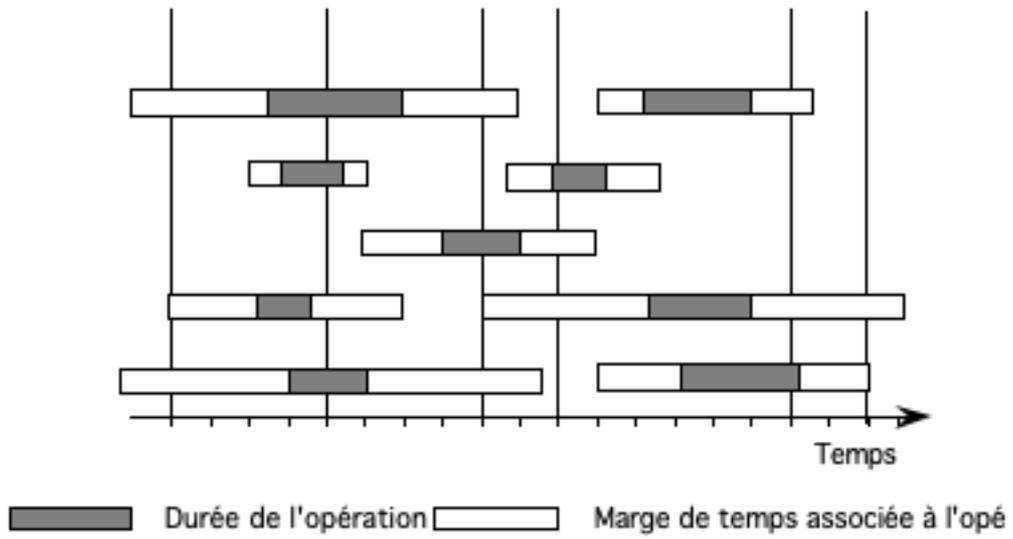


Figure 5 : Traduction de la réduction de la marge de charge sur les marges de temps de quelques opérations sélectionnées par l'utilisateur, pour un intervalle donné de la structure temporelle.

