

**Ecole Doctorale
Organisation Industrielle et Systèmes de Production
(O.I.S.P.)**

**Doctorat de Génie Industriel
Institut National Polytechnique de Grenoble**

Résumé de Thèse

***Sur l'évaluation de la flexibilité de l'atelier montage
d'une usine terminale automobile***

par Aymeric Lesert

Laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et COncption)

Ecole Doctorale « Organisation Industrielle et Systèmes de Production »

Directeur : Daniel BRISSAUD - Assistante : Pascale BERTA

BP 47 – 38 040 Grenoble Cedex 9

Mail : ed-oisp@inpg.fr Tel : 04 76 82 56 82

Soutenance le 18 décembre 2006 à Grenoble – N° 77



Aymeric LESERT est né le 24 mai 1974 à Béthune (Pas-de-calais). Il est titulaire d'un DUT Informatique obtenu à l'IUT de Belfort-Montbéliard, d'une Licence et d'une Maîtrise Informatique obtenues à la faculté des sciences et techniques de Besançon. Il travaille quelques années dans différents domaines (banque, télécommunication et automobile). Entre 1998 et 2002, il travaille chez PSA Peugeot Citroën à Sochaux comme prestataire sur les outils informatiques de gestion et de suivi de la production automobile (optimisation du flux véhicule et système informationnel). En 2002, il reprend ces études pour suivre un DEA en Intelligence Artificielle et Optimisation Combinatoire qu'il obtient à l'Université Paris VIII en 2003. Boursier CIFRE, il commence sa thèse en Octobre 2003 à Poissy en collaboration avec le groupe PSA Peugeot Citroën et le laboratoire GILCO.

Thèse soutenue le 18 décembre 2006

Directeurs de thèse :

M. Yannick Frein	Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble	
Mme Gülgün Alpan	Maître de conférences à l'Institut National Polytechnique de Grenoble	Co-directrice

Jury :

M. Bernard Grabot	Professeur à Ecole Nationale d'Ingénieur de Tarbes	Président
M. Eric Sanlaville	H.D.R., Maître de conférences à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand	Rapporteur
M. Alexandre Dolgui	Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne	Rapporteur
M. Noiré Stéphane	Ingénieur - PSA Peugeot Citroën	Examineur
M. Vincent Bernier	Docteur - PSA Peugeot Citroën	Examineur

Le mémoire de thèse est confidentiel

Sur l'évaluation de la flexibilité de l'atelier montage d'une usine terminale automobile.

I CONTEXTE

La thèse a été effectuée en collaboration avec l'entreprise PSA Peugeot Citroën dans l'objectif d'améliorer le dimensionnement de ses moyens de production. Afin de rester concurrentielles, les entreprises du secteur automobile doivent toujours s'améliorer afin de livrer au client un produit de la meilleure qualité possible, dans les meilleurs délais et au meilleur prix. C'est pourquoi, au niveau de l'organisation de la production, les entreprises automobiles ont toujours été dans les premières à mettre en œuvre de nouveaux modes de fonctionnement.

Durant ces dernières années, nous avons assisté à de profondes mutations du paysage socio-économique, en particulier dans l'industrie automobile. Ceci est dû, d'une part, au renversement du rapport entre l'offre et la demande et d'autre part du passage de la notion d'économie d'échelle à une économie de variété. Pour satisfaire les attentes des clients, les constructeurs automobiles s'orientent vers la diversité. Cette stratégie implique une maîtrise des processus de fabrication et nécessite une flexibilité des moyens de production, et plus précisément de l'atelier montage. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la flexibilité présente dans l'atelier montage. Ceci permettra de trouver un bon compromis entre le surdimensionnement des moyens de production et le respect des objectifs de production (tant qualité que productivité).

Le système de production, correspondant à une ligne de fabrication multi modèle dans l'atelier montage (Figure 1), est dimensionné en fonction des données prévisionnelles transmises par la direction commerciale. La ligne de fabrication est une succession de postes de travail (Figure 2). Comme tous les véhicules avancent à la même vitesse, ils passent le même temps sur chaque poste de travail. Ce temps est appelé le « temps cycle ». Les véhicules passent de poste en poste sans s'arrêter et toujours dans le même ordre. Le dimensionnement de la ligne de fabrication consiste à déterminer le nombre de postes de travail et le nombre d'opérateurs à répartir sur ces postes pour réaliser à moindre coût la fabrication des véhicules.

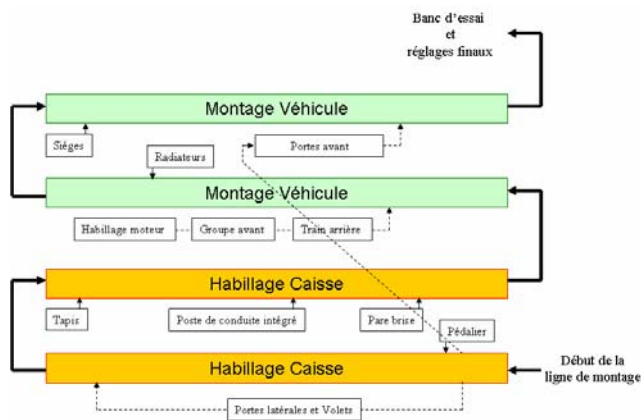


Figure 1 : Ligne de montage d'un atelier montage

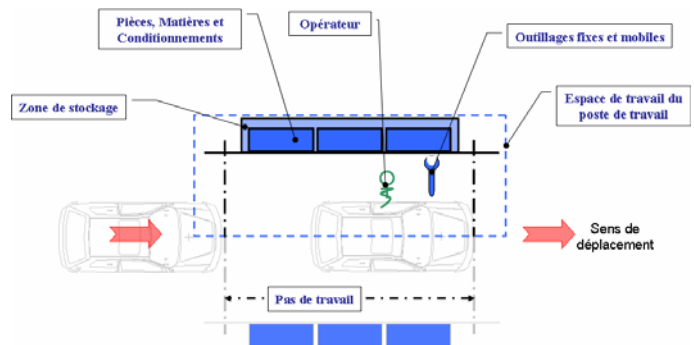


Figure 2 : Un poste de travail

Si le système de production se dimensionne au respect strict des prévisions commerciales (absence de flexibilité) et si un aléa survient (erreur de prévisions ou défaut d’approvisionnement par un fournisseur), il ne pourra pas absorber sans surcoût les écarts constatés. A contrario, si le système de production se dimensionne sur la pire des situations possibles (flexibilité importante), les ressources allouées ne seront pas utilisées au mieux, immobilisant des ressources inutilement. L’objectif de cette thèse est de trouver le meilleur compromis entre ces deux points de vue.

Pour minimiser les coûts de main d’œuvre et d’infrastructure, les tâches affectées à un poste de travail pour un type de véhicule peuvent nécessiter un temps de traitement supérieur au temps cycle. Dans ce cas, ces véhicules provoquent des pics de charge. Ils doivent être espacés pour permettre aux opérateurs de réaliser correctement leur travail et doivent être limités en volume pour être sûr de ne pas mettre l’opérateur en difficulté. Afin de remplir ces objectifs, les équilibreur identifient ces véhicules par une ou plusieurs contraintes d’espacement, nécessitant de la flexibilité.

L’équilibrage de la ligne d’assemblage est réalisé en fonction des données prévisionnelles transmises par la direction commerciale. Or, les données prévisionnelles comportent des erreurs. Puis, lors du séquençement des véhicules commandés par les clients, une fois par jour, nous avons constaté que les contraintes d’espacement ne sont pas toujours faciles à respecter. Enfin, à tout moment et en présence d’aléas de production, les opérateurs doivent être capable de travailler en minimisant la sollicitation de renforts. Par conséquent dans notre travail, il est naturel d’envisager de la flexibilité pour absorber :

- les erreurs de prévisions,
- les difficultés de séquençement des véhicules,
- les aléas de production.

II PLAN DES TRAVAUX

La première partie des travaux a consisté à analyser dans le détail le contexte automobile et le processus de négociation des contraintes d’espacement entre les représentants de la direction commerciale (la coordination de production) et les représentants de la ligne d’assemblage (les équilibreurs). Ce processus consiste, à partir des données prévisionnelles, à établir l’espacement nécessaire entre deux véhicules estimés difficiles à monter pour un ou plusieurs opérateurs. Cet espacement prend en compte 3 phénomènes susceptibles de perturber son respect : variation des données prévisionnelles, difficulté à créer un ordonnancement respectant tous les espacements et les aléas de production (Figure 3).

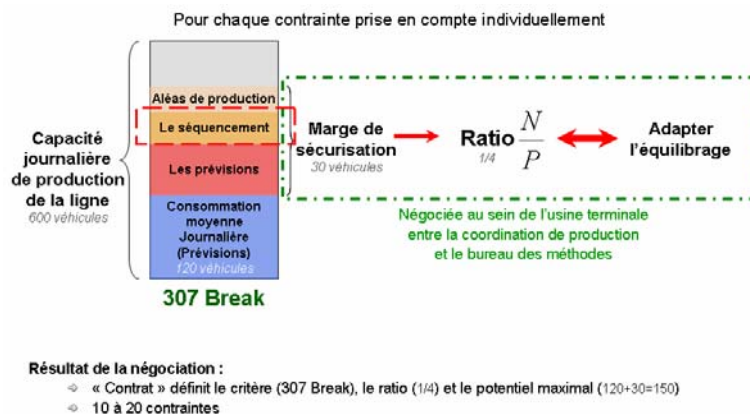


Figure 3 : Le processus de négociation

Parallèlement à ces études, nous avons procédé à une analyse statistique d’un an sur les données prévisionnelles afin de mesurer la qualité des données prévisionnelles. Cette analyse a révélé que la fiabilité

des données prévisionnelles et le calcul de la marge de sécurisation sont suffisants pour couvrir les variations dues aux écarts de prévisions.

Depuis 2 ans, le groupe PSA Peugeot Citroën s'est engagé dans une politique forte visant à conserver l'ordre des véhicules tout au long du processus de fabrication dans une usine terminale. Les moyens mis en œuvre par le groupe pour maîtriser ce processus et pour réduire les perturbations permettent d'envisager à terme la possibilité de ne pas sur dimensionner les moyens de production pour cause d'aléas de production. Par conséquent, nous supposons que cette source de perturbation est ou deviendra négligeable.

Suite aux conclusions des deux constats précédentes (fiabilité des données et politique forte du groupe), nous nous sommes focalisés sur la définition et le respect des espacements lors de l'ordonnancement des véhicules. Pour commencer, nous avons étudié la cohérence entre le respect des contraintes d'espacement négociées et les surcharges de travail ayant déclenchées l'aide d'un opérateur polyvalent. Cette étude a révélé des carences dues à une mauvaise identification des besoins. Par conséquent, ces études nous ont permis de dégager trois axes que nous avons développés :

- La définition des contraintes d'espacement s'appuie sur le résultat de l'équilibrage de la ligne d'assemblage.
- L'anticipation de la difficulté à respecter les contraintes d'espacement peut permettre d'identifier précisément l'origine des non respects des contraintes d'espacement lors de la création de la liste des véhicules à engager au montage.
- L'évaluation de la capacité maximale de production constitue un élément indispensable pour mesurer la flexibilité d'une ligne d'assemblage.

III LA DEFINITION DES CONTRAINTES D'ESPACEMENT

L'absence de corrélation entre le nombre de non respects des contraintes d'espacement et le nombre d'appels des opérateurs polyvalents nous a conduit, dans un premier temps, à modéliser un opérateur en difficulté, puis dans un deuxième temps à trouver le moyen de minimiser le nombre d'opérateurs en difficulté. Nous avons commencé par proposer une nouvelle modélisation d'un opérateur en difficulté issue de l'observation de plusieurs opérateurs sur leur poste de travail. Cette modélisation a été dérivée de celle couramment utilisée pour minimiser l'arrêt des convoyeurs sur une ligne de montage du constructeur automobile Toyota. Puis, nous avons étudié deux pistes de recherche pour minimiser le nombre d'opérateurs en difficulté : la minimisation directe du nombre d'opérateurs en difficulté et la définition des contraintes d'espacement.

La minimisation directe des alertes a fait l'objet d'une étude avec le laboratoire GILCO et a abouti à la proposition d'un nouvel algorithme d'optimisation du flux véhicules. Mais, pour le moment, cette approche prometteuse n'est pas envisageable d'un point de vue industriel pour le groupe PSA Peugeot Citroën car le coût nécessaire pour modifier son système d'information est jugé trop élevé par rapport aux gains potentiels. Par conséquent, nous nous sommes focalisés sur la deuxième piste : la définition des contraintes d'espacement.

La définition d'une contrainte d'espacement nécessite deux éléments : un critère et un ratio de type N/P. Le critère caractérise les véhicules à espacer et le ratio N/P indique le nombre de véhicules caractérisé par le critère (N) autorisé au plus dans une fenêtre glissante de P véhicules. Pour choisir les critères à espacer, les équilibreurs n'avaient aucune méthode pour évaluer la pertinence de leur choix ou pour calculer le ratio N/P le plus approprié.

Aussi, nous avons caractérisé les relations unissant un poste de travail et une contrainte d'espacement (Figure 4). Puis, nous avons proposé un outil d'aide au choix des critères des contraintes d'espacement (Figure 5). La figure 4 représente les 5 relations que nous avons identifiées (poste impacté, contraint, sous-contraint, sur-contraint ou non impacté) et l'indicateur de pertinence qui mesure la qualité du critère par rapport aux

véhicules provoquant un pic de charge sur le poste de travail considéré. La figure 5 représente un extrait de la matrice colorée des relations de la ligne montage de Sevel Nord au mois de Mai 2006.

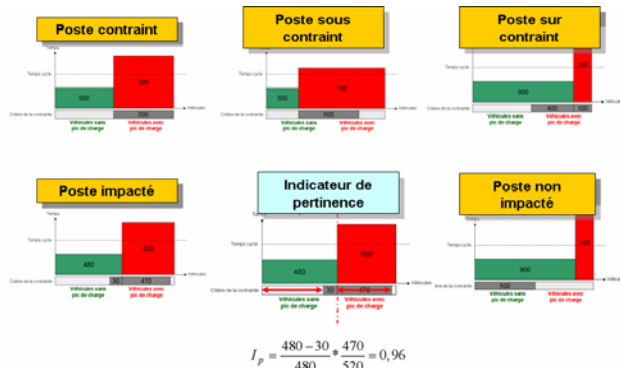


Figure 4 : Caractérisation de la relation entre une contrainte d'espace et les véhicules provoquant un pic de charge sur un poste de travail

Nom	Rel.	DAD	PLC	ABR	P804	CMB	TO	FOND	3RG	SIE	BVA	ESS
5LH2529D	IMP	IMP					SOUS		IMP	SOUS	SOUS	SOUS
5LH2529G	SOUS	IMP	SOUS	SOUS	SOUS	SOUS		SOUS		IMP		
5LH3132D	SOUS	IMP	IMP	IMP	IMP	SOUS			IMP			
5LH3132G	SOUS	IMP	SOUS	IMP	IMP	IMP	IMP		IMP	IMP	IMP	IMP
5LH3135D	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP		IMP	IMP			
5LH3135G	SOUS	IMP	IMP	IMP	SOUS	IMP	SOUS	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP
5LH3137G												
5LH3237D	IMP	IMP					IMP		IMP	IMP	IMP	IMP
5LH3239D	IMP	IMP					SOUS		IMP	SOUS	SOUS	SOUS
5LH3240G	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP	SOUS		IMP	SOUS	SOUS	SOUS
5LH3241D	IMP	IMP		IMP	IMP		SOUS	IMP	IMP	SOUS	SOUS	SOUS
5LH3241G	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP	IMP		IMP	IMP			
5LH3242D	IMP	IMP	SOUS	IMP	SOUS	SOUS		IMP	IMP			
5LH3343G	IMP	IMP					IMP		IMP	IMP	IMP	IMP

Figure 5 : Matrice d'aide au choix des critères des contraintes d'espace

Après avoir comparé différentes approches pour calculer le ratio N/P à appliquer à un seul poste de travail, nous avons proposé une nouvelle méthode basée sur le déplacement maximal d'un opérateur sur son pas de travail et sur les temps de traitement des véhicules à fabriquer. Nous avons également présenté une nouvelle façon d'agréger les différents ratios des postes de travail concernés par le même critère.

Cette étude a permis au groupe PSA Peugeot Citroën de décrire une procédure détaillée de la définition des contraintes d'espace et de spécifier les évolutions nécessaires dans les systèmes d'information pour minimiser, à terme, le nombre d'opérateurs en difficulté. Ces évolutions seront disponibles pour les équilibres dès le début de l'année 2007.

IV LES INTERACTIONS DE CONTRAINTES

Depuis 1998, les coordinations de production des sites de production du groupe PSA Peugeot Citroën ont identifié deux situations qui perturbent le respect des contraintes d'espace lors de l'ordonnancement des véhicules pour l'atelier montage : les options exclusives et les options fortement croisées. Les options exclusives concernent des options qui ne peuvent pas être cumulées sur un même véhicule comme la silhouette (3 portes, 5 portes ou Break) ou la motorisation (Essence, HDI ou Diesel). Les options fortement croisées sont des options qui peuvent être commandées indépendamment l'une de l'autre par les clients mais qui sont souvent commandées ensemble comme le chargeur CD et la navigation. En pratique, nous avons remarqué que la coordination de production accordait une plus grande attention aux cas des options fortement croisées et négligeait les options exclusives.

Jusqu'à présent ces deux phénomènes sont traités de manière spécifique. Or, nous avons montré qu'ils sont issus d'un seul phénomène que nous avons appelé « les interactions de contraintes ».

Les différentes approches que nous avons suivies ont eu pour objectif d'évaluer approximativement le nombre de non respects des ratios des contraintes d'espace. Nos approches se sont limitées à l'étude de deux contraintes d'espace. A notre connaissance, ce sujet n'a jamais été abordé dans la littérature.

Cette étude a débuté par la construction d'un abaque qui a relevé des régularités. Elles nous ont permis, sous des hypothèses restrictives, de définir un premier modèle mathématique. Puis, un modèle mathématique plus évolué a été obtenu en levant progressivement certaines de ces hypothèses. Malheureusement, nous n'avons pas réussi à obtenir un modèle mathématique suffisamment général pour être appliqué dans un cadre

industriel. Enfin, nous avons généralisé ce modèle à l'aide de l'algorithme « PPLI » (au plus proche de la liste idéale). La figure 6 représente une comparaison entre ce modèle et l'outil de séquençement du groupe PSA Peugeot Citroën.

Nous avons démontré 3 propriétés sous certaines conditions qui garantissent l'absence de non respects lors du séquençement des véhicules. Nous avons également présenté une conjecture et un corollaire qui, dans l'ensemble des simulations que nous avons réalisées, nous a toujours garanti une absence de non respects. Cette conjecture et ce corollaire étendent les 3 propriétés précédentes. La conjecture nous indique que si le nombre de véhicules répondant aux deux contraintes d'espacement simultanément est compris entre deux valeurs appelées Q^- et Q^+ facile à calculer, il existe alors une séquence respectant les deux contraintes simultanément. Cette conjecture a été illustrée sur la figure 6.

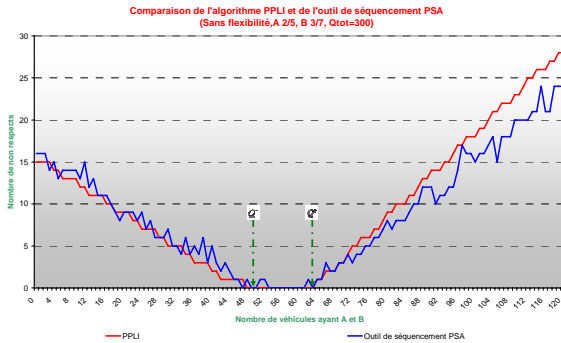


Figure 6 : Comparaison de l'algorithme PPLI et de l'outil de séquençement du groupe PSA Peugeot Citroën

775	CJ270009	CJ270007	CJ270003	CJ230015	CJ270088	CJ270001	CJ270005	CJ270006	CJ270002	CJ270004	CJ210003
Volume	126	19	19	127	139	10	76	162	168	139	309
Taux	16,3 %	2,5 %	2,5 %	16,4 %	17,9 %	1,3 %	9,8 %	20,9 %	21,7 %	17,9 %	39,9 %
Ir	0,025	0,019	0,019	0,017	0,103	0,006	0,019	0,164	0,133	0,103	0,203
Ratio	1/6	1/40	1/40	1/6	1/5	1/77	1/10	1/4	1/4	1/5	1/2
Nb viols (L. esp.)	2	0	6	7	0	1	2	0	0	0	0
Nb viols (Simu.)	15	1	6	16	0	3	3	1	1	5	0
Nb viols (Réglés)	4	1	4	4	8	0	2	1	1	4	0
CJ270009	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
CJ270007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CJ270003	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
CJ230015	0	0	5	0	0	1	1	0	0	0	0
CJ270008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CJ270001	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CJ270005	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CJ270006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CJ270002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CJ270004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CJ210003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 7 : Outil d'aide à l'analyse des interactions de contraintes

La modélisation que nous avons proposée de ce phénomène a abouti à la description d'un outil d'aide à l'analyse des interactions de contraintes (Figure 7), destiné à être utilisé tous les jours pour identifier précisément la source des problèmes et les corriger en apportant une solution adaptée. Cet outil va être déployé auprès des coordinations de production à compter de début Décembre 2006.

V L'EVALUATION DE LA FLEXIBILITE

Lors de la réunion de négociation des contraintes d'espacement, les équilibres négocient sur la base d'une évaluation grossière des capacités maximales de production de chacune des contraintes d'espacement. Par conséquent, l'identification des postes de travail à adapter peut être inadaptée et la justification de l'acceptation ou du refus peut être infondée.

Pour aider les équilibres à identifier les postes de travail insuffisamment ou sur dimensionnés, nous avons proposé un indicateur de perte d'efficacité et trois indicateurs de mesure de flexibilité : un indicateur de flexibilité potentielle totale, un indicateur de flexibilité potentielle supplémentaire à la direction commerciale et un indicateur de flexibilité potentielle supplémentaire de l'atelier montage. La figure 8 illustre ces indicateurs. Ils sont évalués en fonction des données prévisionnelles, de l'équilibrage de la ligne de montage et de la flexibilité demandée.

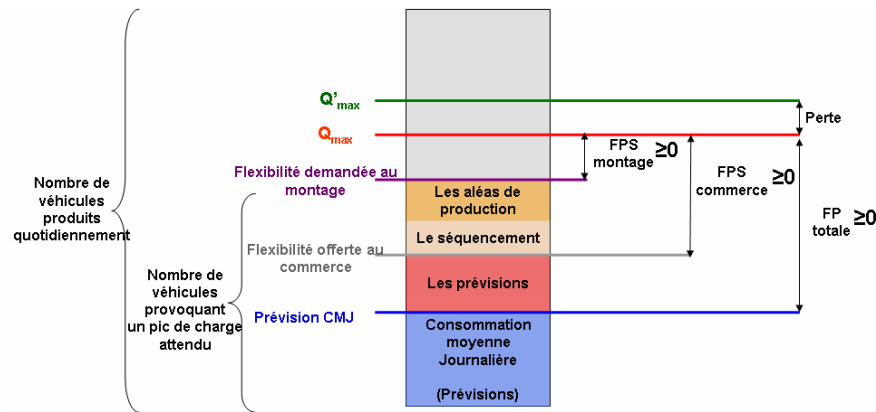


Figure 8 : Les indicateurs de perte d'efficacité et de flexibilité

Ces indicateurs fournissent des informations précises sur la capacité maximale de production des postes de travail et des contraintes d'espace. À l'aide de ces informations, nous avons proposé une classification des postes de travail et des contraintes d'espace. Les équilibriers peuvent évaluer le coût des adaptations à apporter et peuvent ainsi choisir l'adaptation la moins onéreuse. Si un poste est insuffisamment dimensionné, le choix se portera sur l'ajout d'un opérateur, sur la suppression d'une tâche ou sur une modification de l'installation. À l'inverse, si un poste est sur dimensionné, le choix se portera sur la suppression d'un opérateur ou sur l'ajout d'une tâche.

Cette classification sera disponible pour les équilibriers dans les systèmes d'information du groupe PSA Peugeot Citroën dès le début de l'année 2007.

VI CONCLUSION

Nos travaux contribuent à enrichir la littérature déjà très abondante sur la problématique d'équilibrage d'une ligne d'assemblage à modèles mélangés, sur le problème du séquençement des véhicules et sur la flexibilité des entreprises manufacturières. Un apport essentiel de notre travail a consisté à montrer les liens réciproques entre l'équilibrage d'une ligne d'assemblage et l'ordonnement de produits. Les incertitudes et les variations existant dans les données prévisionnelles utilisées pour équilibrer une ligne d'assemblage nécessitent la prise en compte d'une certaine flexibilité pour lisser la charge de travail des opérateurs.

Pour anticiper la difficulté à respecter ces contraintes d'espace, nous avons clarifié la notion des interactions de contraintes, nous avons proposé un indicateur mesurant la difficulté à respecter deux contraintes d'espace, nous avons démontré 3 propriétés, une conjecture et un corollaire et nous avons décrit un outil d'aide à l'analyse des interactions de contraintes.

Cette thèse a abouti à la description d'une méthode évaluant la flexibilité disponible de l'atelier montage pour l'ordonnement des véhicules. Cette méthode et les outils que nous avons proposés seront intégrés au processus de négociation et aux systèmes d'information à compter du début de l'année 2007. Ceci permettra aux équilibriers d'obtenir un équilibrage avec un bon niveau de flexibilité.

Principales références bibliographiques

- Becker C., Scholl A. 2006**, « A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing », European Journal Of Operational Research 168 (2006) ,694-715
- Bernier, V., 2000**, « Sur une nouvelle politique de gestion de flux : le cadencement reséquenceable », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, soutenue le 17/11/2000
- Billaut J.C, Moukrim A., Sanlaville E, 2005**, « Flexibilité et robustesse en ordonnancement », Hermes science, ISBN 2-7462-1028-2
- Boutevin, C., 2003**, « Problèmes d'ordonnancement et d'affectation avec contraintes de ressources de type RCPSP et line balancing », Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal à Clermont Ferrand, soutenue le 12/12/2003.
- Comby G., 1996**, « Aide au séquençement des produits sur une ligne de fabrication multi modèles ». Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, soutenue le 19/12/1996
- Dincbas M, Simonis H, Van Hentenryck P, 1988**, « Solving the Car-Sequencing Problem in Constraint Logic Programming », ECRC Munich, European Conference on AI.
- Dolgui, A., Proth, J-M., 2006**, « Les systèmes de production modernes », Hermes Science, Lavoisier, Volume 1, ISBN 2-7462-1249-8, et Volume 2, ISBN 2-7462-1250-1
- Erol, M., 1999**, « Prise en compte de la flexibilité dans la planification dynamique », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, soutenue le 28/10/1999
- Giard V., Jeunet J., 2006**, « Modélisation du problème général d'ordonnancement de véhicules sur un ligne de production et d'assemblage », Anale du LAMSADE et Soumission au Journal Européen des Systèmes Automatisés en 2006
- Parker, R., Wirth, A., 1999**, « Manufacturing flexibility : measures and relationships », European Journal of Operational Research, 118, p429-449
- Solnon C., Van-Dat C., Nguyen A., Artigues C., 2006**, « The car sequencing problem : overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem », Rapport du Laboratoire Informatique d'Avignon
- Thomas C, Penz B., 2002**, « Définition, classification et mesure de la flexibilité manufacturière : difficultés et contradictions », Colloque IPI, Autrans
- Thomopoulos, N., 1967**, « Line balancing-sequencing for mixed-model assembly », Management Science, Vol n°14, n°2, B59-B75, Octobre 1967

Listes de publications de l'auteur

Conférences :

- Lesert A., Alpan G., Frein Y., Noiré S., Vienot F.R., 2005**, « Influence des interactions de contraintes sur l'ordonnancement d'une ligne de montage – Le cas de deux contraintes », 6ème Congrès international de génie industriel, GI'2005, 7-10 Juin 2005, Besançon
- Lesert A., Alpan G., Frein Y., Noiré S., 2006**, « Outil d'aide à l'analyse des interactions de contraintes pour l'ordonnancement d'une ligne de montage », 6ème Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation, MOSIM'06, 3-5 Avril 2006, Rabat (Maroc)

Articles de conférences en cours d'expertise :

- R. El Hadj Khalaf, G. Alpan, O. Briant et A. Lesert, 2007**, «Ordonnancement de véhicules sur une ligne de montage pour minimiser le nombre d'interventions des moniteurs », FRANCORO V /ROADEF'07
- Lesert A., Alpan G., Frein Y., Noiré S., 2006**, « Evaluation de la qualité du choix des critères des contraintes d'espacement pour l'ordonnancement des véhicules dans une usine terminale », Rédaction en cours pour le 7^{ème} Congrès International de Génie Industriel du mois de Juin 2007 à l'UTQR (Trois-Rivières au Québec)

Article de revue en cours d'expertise :

- Lesert A., Alpan G., Frein Y., Noiré S., « Interactions of two ratio constraints – Formulation, Properties, Conjecture, decision support tool »**, International Journal of Production Research

Ecole doctorale Organisation Industrielle et Systèmes de Production

L'Ecole doctorale est une école thématique du site grenoblois. Elle a vocation à coopérer avec toutes les composantes universitaires traitant de l'organisation industrielle, pôle d'excellence du site grenoblois. Elle entend donc encourager les échanges interdisciplinaires, notamment par les co-directions de mémoire ou de thèse.

L'Ecole doctorale *Organisation Industrielle et Systèmes de Production* fédère trois filières : *Génie industriel* - filière interdisciplinaire pour ingénieurs visant la maîtrise globale des systèmes de production et de la performance industrielle -, *Sociologie industrielle*, analysant les changements en cours dans les organisations de travail -, et *Economie industrielle*, formant aux nouvelles théories de l'économie industrielle et à l'économie du management. Ces filières s'appuient sur un potentiel de huit laboratoires dont sept Unités Mixtes de Recherche rattachées au CNRS et à l'INRA : GILCO, CRISTO, GAEL, 3S, LAG, LEPII, LSR et CERAG.

L'ED OISP organise une journée annuelle de présentation des thèses en cours avec la participation active des directeurs de thèse et de laboratoire. Elle s'efforce de contribuer à la diffusion des travaux des doctorants à l'extérieur tant auprès des communautés scientifiques que des milieux professionnels. Elle œuvre à l'insertion professionnelle des docteurs dans les carrières publiques de l'enseignement supérieur et de la recherche et celles du monde économique. Elle propose chaque année aux doctorants et aux enseignants et chercheurs des séminaires pluri-disciplinaires. Elle facilite l'internationalisation de la formation des doctorants.

La formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble

La formation doctorale en Génie Industriel de Grenoble s'articule autour de trois thèmes : la conception de produits, la conception et la gestion des systèmes de production, l'innovation industrielle, et développe une approche interdisciplinaire des questions techniques, économiques et humaines posées par les entreprises dans la maîtrise de leur production.

La formation s'appuie sur le Master Recherche en Génie Industriel et conduit ainsi à une meilleure prise en compte des problèmes de l'industrie, notamment manufacturière, sur la base de la formation d'origine des étudiants issus des filières EEA, Mécanique, Recherche Opérationnelle et, sous certaines conditions, des Sciences Humaines et Sociales.

Le Laboratoire GILCO

Le laboratoire GILCO (Gestion Industrielle, Logistique et COncption) est un laboratoire de l'INPG (Équipe d'Accueil du ministère). GILCO a été créé par un regroupement des enseignants-chercheurs de l'École Nationale Supérieure de Génie Industriel (ENSGI) dans le champ des Sciences Pour l'Ingénieur (SPI). L'activité scientifique du laboratoire se situe en Gestion des flux physiques (application à la logistique) et Gestion des flux informationnels (application à la conception). GILCO est l'un des dix laboratoires participant à l'Institut de la production et des organisations industrielles. Il intégrera le laboratoire G-SCOP à partir du 1^{er} Janvier 2007.

L'Institut de la Production et des Organisations Industrielles

L'Institut de la Production et des Organisations Industrielles (IPI) est une structure inter-établissement INPG et Université Pierre Mendès France, pluriformation du Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie. Créé en 1986, l'IPI se donne pour objectif de promouvoir, développer et soutenir des recherches interdisciplinaires dans le domaine de la Productique et du Génie Industriel à Grenoble.

Ses domaines de recherche s'organisent autour de trois thèmes majeurs pour la performance industrielle : la conception intégrée de produits, la conception et la gestion des systèmes de production, l'innovation. Chaque thème est organisé en projets associant deux ou trois disciplines différentes.

Sur l'évaluation de la flexibilité de l'atelier montage d'une usine terminale automobile

Résumé :

La concurrence accrue entre les constructeurs automobiles incite nombre d'entre eux à offrir une plus grande variété de véhicules. Cette stratégie nécessite en particulier d'avoir des moyens de production flexibles. L'objectif de ce travail porte sur l'évaluation de la flexibilité de l'atelier montage d'une usine terminale automobile chez PSA Peugeot Citroën. Le dimensionnement de l'atelier montage est réalisé périodiquement, une fois par mois, en fonction des données prévisionnelles. Ces données sont majorées pour permettre à l'atelier montage de faire face à 3 phénomènes que sont les erreurs de prévisions, la difficulté à séquencer les véhicules et les aléas de production.

Dans un premier temps, nous avons écarté les aléas de production car les moyens mis en œuvre par PSA Peugeot Citroën pour les maîtriser permettent d'envisager qu'ils deviendront secondaires, vis à vis des besoins de flexibilité, à court ou moyen terme. Dans un deuxième temps, nous avons montré que les prévisions commerciales sont relativement fiables. Nous nous sommes donc focalisés sur le séquencement des véhicules difficiles à fabriquer. Pour permettre aux opérateurs de travailler sans solliciter l'aide d'un opérateur polyvalent, nous devons espacer ces véhicules à l'aide de contraintes d'espacement (et de ratios associés) contraignant l'ordonnement des véhicules. Nous avons donc proposé une nouvelle méthode pour définir les contraintes d'espacement, et calculer leurs ratios. Nous avons aussi caractérisé un phénomène dit d'interactions de contraintes. Nous avons démontré 3 propriétés analytiques dans un cas de 2 contraintes d'espacement et proposé des outils pragmatiques permettant d'aborder des cas réels. Enfin nous avons proposé des indicateurs de mesure de flexibilité.

L'ensemble de nos contributions fournit aux acteurs industriels différentes approches et outils pour aborder le choix du compromis conduisant à la flexibilité juste nécessaire.

Mots-clés :

Flexibilité, dimensionnement, équilibrage, séquencement de véhicules, contraintes d'espacement, ordonnancement, interaction de contraintes.

On the evaluation of the flexibility of mixed-model assembly lines in automotive industry

Abstract:

The increased competition among car manufacturers encourages a number of them to offer a wide range of vehicles. This strategy requires, in particular, having flexible means of production. This study deals with the evaluation of the flexibility on the mixed-model assembly line of the car manufacturer, PSA Peugeot Citroën's. The dimensioning of the mixed model assembly line is carried out periodically, once a month, according to the forecast data. A security margin is added up to the forecast data in order to take into account the forecasts errors, difficulties in creating a sequence of vehicles which respects all the constraints, and random perturbations encountered during the assembly process. .

In this study, we set aside the flexibility required to overcome the perturbations during production. Indeed, PSA Peugeot Citroën has recently implemented several applications to control such perturbations. Hence, the flexibility required to handle them is expected to be negligible in the short or medium term. Additionally, we showed that the forecasts are relatively reliable. As a result, the focus of this study is on the sequencing of the difficult-to-manufacture vehicles. To allow operators to work without requesting the assistance of another operator, these vehicles must be spaced using ratio constraints forcing the scheduling of the vehicles. For the time being, these ratio constraints are defined with respect to the number of vehicles to produce and the physical constraints of the assembly line. Here, we proposed a new affined method to define the ratio constraints, and to calculate their ratios, taking into account the effective workload of the operators. We also characterized a phenomenon which we call the "interactions of constraints". We showed 3 analytical properties in the case of 2 ratio constraints and proposed pragmatic tools allowing application in real-world cases. Finally, we proposed a method to measure the flexibility.

Our contributions provide the industrial actors with various approaches and decision support tools which help them to make choices, to measure the flexibility installed and evaluate different scenarios.

Keywords:

Flexibility, dimensioning, load balancing, car sequencing problem, ratio constraints, scheduling, interactions of ratio constraints.