






Open Archive Toulouse Archive Ouverte

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/20932>

Official URL:

To cite this version:

Duquenne, Philippe  and Edi, Kouassi Hilaire  and Le Lann, Jean-Marc 
Affectation flexible des ressources sur les activités industrielles : caractérisation et modélisation. (2005) In: Récents progrès en Génie des procédés 2005, 20 September 2005 - 22 September 2005 (Paris, France).

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Affectation flexible des ressources sur les activités industrielles : caractérisation et modélisation

DUQUENNE P.¹, EDI H., Le LANN J.-M.
INPT/A7/Génie Industriel - LGC UMR 5503
118 route de Narbonne
F - 31077 TOULOUSE cedex 4

Résumé

Ce travail présente la modélisation et les conséquences de la prise en compte, en matière de planification d'activités industrielles, de la flexibilité des ressources humaines. En matière de modélisation, nous présentons deux aspects de la flexibilité, liés l'un à la modulation du temps de travail, et l'autre à la diversité des activités qui peuvent être accomplies par une ressource donnée. Les retombées concernent aussi bien la planification initiale des activités que la combinatoire liée aux choix d'affectation des ressources, sans oublier les méthodologies de réduction de conflits résultant de ces choix d'affectation.

Mots-clés : Affectation, planification.

1. Introduction

Un travail de planification d'activités industrielles se heurte au double problème d'une part de respecter des contraintes d'ordonnancement entre les tâches et d'autre part de vérifier la disponibilité des ressources nécessaires. Si les premières sont généralement imposées par la logique de réalisation du travail, le traitement des ressources est souvent abordé en supposant de leur part une capacité de travail régulière, et surtout prédéterminée. Cette hypothèse ne permet pas de prendre en compte la grande souplesse d'affectation qu'offrent certaines ressources – et tout particulièrement les ressources humaines.

Selon Vidal (2000), si l'on excepte le recours à de la main d'œuvre externe (intérim, sous-traitance), deux types de flexibilité peuvent caractériser cette souplesse d'affectation. Tout d'abord, la modulation du temps de travail : bien qu'assez peu traitée dans la bibliographie (Hung, 1999), elle autorise des variations considérables dans la disponibilité d'un individu ou d'une équipe par rapport à un niveau standard qui est, lui, connu à l'avance. De ce fait, en cas de conflit d'affectation, les recherches classiques de solution par lissage ou par nivellement des charges de travail peuvent être nuancées par la prise en compte de cette disponibilité flexible (Everaere, 1997 ; Vidal *et al.*, 1999). En contrepartie, le recours à cette modulation impose de respecter des contraintes d'utilisation maximale, contraintes qui s'expriment à différents horizons de temps – et qu'il faudra donc intégrer individuellement, avec deux objectifs : d'une part, bien entendu, veiller à les respecter, et d'autre part, essayer dans la mesure du possible de préserver à tout moment la flexibilité résiduelle de ces ressources, garantie de réactivité future.

En plus de cette possibilité de fluctuation de l'effort dans le temps vient se greffer un second type de flexibilité, qui réside selon Le Boterf (1997) ou Lery-Leboyer (1996), dans la capacité des certaines ressources à pouvoir être affectées sur différents types de missions, avec éventuellement des efficacités différentes. Cette opportunité de résoudre certains conflits liés à des surcharges par permutation de ressources s'acquiert au prix d'une part de la forte augmentation de la combinatoire qui en résulte, et également de la nécessité de suivre les ressources individuellement, sans espoir de gérer encore des groupes caractérisés par une compétence unique ; de plus, l'exploitation du modèle serait incomplète si ne

¹ Auteur à qui la correspondance devrait être adressée : Philippe.Duquenne@ensiacet.fr

se greffait pas en outre l'intérêt de suivre, pour chaque individu, l'évolution de ses capacités, compétence par compétence, en fonction de la pratique accumulée.

L'objet de ce travail est d'exposer un modèle représentatif de problèmes de ce type, susceptible d'intégrer cette double opportunité : d'abord le fait de ne plus travailler avec des durées calendaires figées, mais variables en fonction des ressources disponibles ; ensuite la liberté relative laissée dans l'affectation du fait de la polyvalence de ces ressources. Seront également présentés un mode d'évaluation des différentes réponses, ainsi qu'une méthodologie d'exploration des voies de résolution.

2. Cadre de l'étude

Les activités industrielles considérées peuvent relever de deux visions différentes : il peut s'agir d'opérations de type « production », c'est-à-dire définies assez précisément (en termes de contenu, fournitures, gestes à exécuter, temps opératoire, ...), consignées dans des gammes rédigées et disponibles, et répétitives par essence ; on peut au contraire opposer une vision de type « projet », selon laquelle les tâches, beaucoup plus vastes, sont uniques par essence, beaucoup moins détaillées, et pour lesquelles la marge de liberté de l'exécutant est plus grande. Par la suite, nous ne différencierons pas les deux : nous nous contenterons de désigner par « activité » un ensemble de tâches ordonnancées, quelle que soit la philosophie dont elle relève.

Dans le même esprit, nous ne nous intéresserons qu'aux ressources humaines – en nous focalisant sur les problèmes de modulation d'horaire et de polyvalence qui les distinguent des ressources matérielles. Ces ressources humaines, qu'elles soient des opérateurs en production ou des ressources affectées à un projet, seront par la suite indifféremment appelées « acteurs ».

Enfin, nous ne nous intéresserons ici qu'aux ressources humaines internes à une entreprise donnée, et laisserons de côté un autre levier de flexibilité non négligeable qui consiste à recourir ponctuellement, pour absorber des pics de charge périodiques, à de la main d'œuvre « sous-traitée » (Hung, 1999 ; Pinker et Larson, 2003) ; sans négliger les apports de cette solution en matière de réactivité de l'entreprise, voie explorée par ailleurs, nous nous limiterons à une approche visant à optimiser l'affectation de ressources déjà existantes.

3. Introduction

3.1 La modulation d'horaires

Les problèmes d'affectation de ressources prennent traditionnellement en compte des ressources humaines dont les plages calendaires de travail sont connues à l'avance. Les modifications apportées par l'annualisation du temps de travail (loi dite « Aubry » ou « des 35 heures ») nous incitent à ne plus considérer que des plages d'ouverture des entreprises ou des ateliers ; la journée de travail, à l'intérieur de cette plage d'ouverture, est variable département par département, voire équipe par équipe si ce n'est individu par individu (Azmat et Widmer, 2004).

Cette annualisation du temps de travail rend la disponibilité des ressources variable à plus d'un titre (Vidal, 2000) : elle est toujours bornée par des durées de travail « standard » (normales) et maximales (ces deux bornes définissent des quotas d'heures supplémentaires légales, mais définies par des coûts horaires différents des heures dites standard) ; le problème vient de ce que les bornages entre heures standard et maximales sont différents selon que l'on considère une fenêtre de temps quotidienne, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle ...

Du point de vue de la modélisation, la disponibilité des ressources est de ce fait délicate à appréhender : en marge d'une disponibilité « standard », définie à partir de la durée normale du temps de travail, les fluctuations envisageables deviennent considérables si l'on a recours aux heures supplémentaires. Au point qu'on ne peut plus les négliger en première approximation pour ne les utiliser qu'en dernier recours, en cas de conflit d'affectation. Par ailleurs, l'existence de bornages différents pour le temps maximal de travail, en fonction des différents horizons de temps, rend cette disponibilité difficile

à déterminer *a priori* : elle devient à une date donnée tributaire des affectations déjà acceptées dans un passé pas toujours très proche.

Supposons que l'on ait, dans une entreprise, une durée de travail quotidienne constante, et égale à α : l'affectation « normale » d'un acteur a devra être telle que son travail quotidien $x_{a,j}$ sur un jour quelconque j vérifie si possible :

$$x_{a,j} \leq \alpha, \forall j$$

De la même manière, si la durée maximale du travail quotidien est α_{\max} , $x_{a,j}$ devra impérativement vérifier :

$$x_{a,j} \leq \alpha_{\max}, \forall j$$

Si dans notre entreprise α est constant et correspond par exemple à la distribution régulière des 35 heures sur une semaine de 5 jours (soit $\alpha = 7 \text{ h/j}$), l'existence d'un maximum légal hebdomadaire α_s nous conduit également à imposer une limite supérieure au travail hebdomadaire $x_{a,s}$ de l'acteur :

$$x_{a,s} = \sum_{j=7n+1}^{7n+5} x_{a,j} \leq \alpha_s, \forall n$$

L'équation qui précède suppose que dans le calendrier de l'entreprise considérée, on compte en nombre de semaines n , qui toutes commencent le lundi. Dans la pratique, α_s varie de 44 à 46 heures par semaine en fonction des accords de branche.

La loi dite des 35 heures définit également une limite maximale du temps de travail sur un plus long terme, exprimée sous forme de la moyenne sur un horizon glissant de 6 semaines consécutives – qu'on peut exprimer sous forme de cumul du travail $x_{a,6s}$ d'un opérateur a sur 6 semaines consécutives :

$$x_{a,6s} \leq \alpha_{6s}$$

Notons qu'il existe également (et c'est même l'essence de la loi) une définition légale du temps annuel de travail (1650 heures), assortie d'un plafonnement des heures supplémentaires sur la même période – ce plafonnement, aujourd'hui de 180 heures, étant à l'heure actuelle en cours de négociation.

L'énumération précédente est certes fastidieuse et approximative (toutes les entreprises n'ont pas adopté la même interprétation de l'annualisation du temps de travail pour les fenêtres de temps plus restreintes, et nombreux sont les accords de branche qui modifient le régime général évoqué ici. On dispose cependant, avec ces différents niveaux de contraintes, d'un premier aperçu des nombreuses exigences auxquelles l'affectation des acteurs aura à se plier ; on voit également les couplages qui existent entre les affectations passées d'un acteur à une date donnée et sa disponibilité résiduelle dans les périodes à venir.

3.2 La polyvalence

Les études sur la réactivité industrielle face aux incertitudes des marchés identifient également la polyvalence comme une source de flexibilité ; la polyvalence, qui fait référence à un acteur donné, est l'aptitude qu'il a de remplir des missions qui peuvent différer par le degré d'autonomie, l'expérience, la qualification, voire le métier que demande leur exécution.

Si l'on identifie l'ensemble des compétences k représentées par les acteurs d'une entreprise ou d'un atelier, la prise en compte de la polyvalence de ces acteurs peut se traduire, pour chacun d'eux, par l'existence d'une efficacité $\theta_{a,k} \in [0,1]$ pour tout acteur a et pour chacune de ces compétences (Franchini, 2000, ou Kane, 2001). Une efficacité égale à 1 identifie pour un acteur sa compétence première ; une efficacité non nulle, des métiers sur lesquels il peut intervenir en appui de personnels plus qualifiés (Hermosillo-Worley, 2003), ou bien en les remplaçant – avec au passage une perte de performance traduite par un temps d'exécution plus long (contrôles, reprises, ...). Pragmatiquement, une activité qui ne nécessite pour sa réalisation qu'une seule ressource de compétence k , et définie par une durée standard D_i^0 requiert implicitement la même durée de travail lorsqu'elle est confiée à un acteur d'une efficacité

nominale dans cette compétence ; l'efficacité d'un acteur différent a aura un impact direct sur la durée d'exécution de la tâche qui devient :

$$d_{a,i} = D_i^0 / \theta_{a,k}$$

Notons que, comme dans le cas de l'annualisation du temps de travail, le fait de considérer la ou les compétences des acteurs dans les problèmes d'affectation fait s'éloigner la perspective d'une gestion globale de ces problèmes : apparaît progressivement la nécessité de considérer les calendriers non plus par atelier, par centre de ressources ou par équipe, mais de plus en plus individu par individu. De la même manière, l'examen des profils de compétences pousse de plus en plus vers une gestion individualisée des ressources humaines, même si parler d'évaluer l'efficacité reste délicat (Harzallah, 2000).

4. Relations avec la planification

4.1 Définition des tâches

Une première conséquence de la polyvalence est que la définition des tâches qui composent une activité industrielle concerne de moins en moins les ressources qui doivent lui être affectées, mais plutôt les compétences que son exécution requiert. Ceci est du reste particulièrement vrai pour les projets, où l'accent est traditionnellement mis davantage sur les ressources que sur les métiers. Dans une logique de type « production », les ressources sont souvent organisées selon une arborescence – métiers qui a priori se conforme bien à une logique de définition des tâches par les compétences, à ceci près que ces logiques arborescentes, par nature, sont peu compatibles avec des éléments « transversaux » : en d'autres termes, elles ne se prêtent pas nécessairement bien à la traduction de ce qu'une ressource, identifiée dans une branche de l'arborescence, puisse être également présente sur d'autres branches plus ou moins proches.

Quoi qu'il en soit, la démarche que nous proposons ici suppose une affectation en deux temps des ressources sur les tâches (voir figure 1) : dans un premier temps, la définition des tâches par les compétences requises suppose l'affectation de ces compétences.

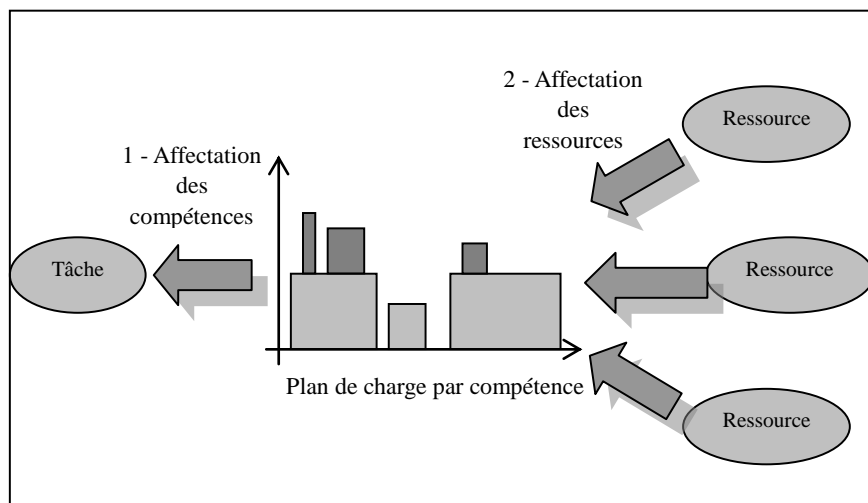


Figure 1 : affectation en deux temps des ressources sur les tâches

En découlent deux analyses, l'une portant sur les examens comparés des plans de charge induits sur les compétences et des effectifs disponibles correspondants ; cet inventaire des effectifs peut se faire en raisonnant sur des valeurs entières : il s'agira, compétence par compétence, de déterminer le nombre d'acteurs susceptibles d'être affectés sur la compétence concernée (représentatif des options d'affectation). On peut également raisonner en comparant le besoin en terme de charge de travail à une disponibilité qui tiendrait compte non seulement des individus susceptibles d'être affectés, mais aussi de leurs compétences

respectives ; cette disponibilité pour une compétence k donnée, qui n'est plus traduite par un nombre entier, s'exprime :

$$Q_k = \sum_{a \in A} \theta_{a,k}, \forall k,$$

Dans cette expression, A représente l'ensemble des acteurs de l'entreprise.

En second lieu, si cette première analyse est concluante, on procédera à l'inventaire des ressources susceptibles de fournir ces compétences, et à l'examen de leurs disponibilités individuelles (compte - tenu de leurs éventuelles affectations antérieures. En dernière étape, on procédera enfin à l'affectation des ressources sur les tâches.

4.2 Durées des tâches

L'exercice de la planification se fait traditionnellement avec des tâches dont les durées sont connues, ou supposées connues. Trois raisons nous incitent à remettre en cause cette habitude.

Tout d'abord, comme nous l'avons vu dans le paragraphe 4.1, la définition du contenu d'une tâche ne se fait plus par pré - affectation implicite d'une ou plusieurs ressources déjà identifiées, mais par la seule identification des compétences nécessaires ; l'hypothèse implicite sur une productivité attendue de ces ressources n'a donc plus cours, et on en revient à une description objective de l'activité par une liste de compétences requises, et pour chacune, une charge de travail "standard", correspondant à un temps de travail équivalent pour une ressource dont l'efficacité serait nominale.

Le retour à cette description objective de la tâche (compétences + charges) met en évidence le côté arbitraire d'une détermination *a priori* de la durée : cette durée dépendra en fait et en premier lieu de l'effectif qui sera affecté à sa réalisation (Vidal, 2000). Seules des contraintes portant sur l'efficacité de l'affectation ou sur des problèmes de coordination et de partage de l'espace introduiront des bornes "raisonnables" (supérieure et inférieure) à la durée de réalisation. Pour résumer, on peut considérer, dès les étapes initiales de la planification, qu'une tâche i est définie par des durées minimale D_i^{\min} et maximale D_i^{\max} , entre lesquelles une solution couramment adoptée D_i^0 peut être retenue en première approximation :

$$D_i^{\min} \leq D_i^0 \leq D_i^{\max}, \forall i$$

Dans un cas simplifié où l'exécution de la tâche i ne requiert qu'une ressource, l'assimilation est immédiate entre une durée standard et la durée de travail de la ressource, si cette dernière bénéficie d'une pleine efficacité sur la compétence demandée ; dans le cas contraire, et plus généralement, on a vu (3.2) que la durée $d_{a,i}$ réelle sera évaluée par :

$$d_{a,i} = D_i^0 / \theta_{a,k}$$

Notons que cette dernière expression, plus qu'une durée temporelle, traduit un temps de travail, celui nécessaire pour l'acteur concerné a pour exécuter la mission.

De manière encore plus générale, si une tâche i n'est plus définie par une compétence unique k mais par un ensemble de compétences $K(i)$, sa durée d'exécution d_i deviendra :

$$d_i = \max_{k \in K(i)} \{ D_i^0 / \theta_{a,k} \}$$

Ce second raisonnement nous incite également à ne plus considérer les durées des tâches comme des grandeurs connues, mais plutôt comme des résultats de nos choix d'affectation, résultats dont seules les bornes nous sont *a priori* connues.

Dernier point, non des moindres, si nous revenons au cas simple d'une tâche "mono-compétence" dont la durée résultera du choix d'affectation d'un acteur unique, la relation entre durée de la tâche et durée de travail de la ressource devient ambiguë : en effet, une tâche définie arbitrairement pour une durée de un jour représente tout compte fait une variation possible de temps de travail de la ressource assez considérable. Ainsi par exemple, une activité d'une durée de une journée équivaut à 7 heures de

travail d'une ressource à pleine efficacité ; confiée à un jeune opérateur récemment formé dont l'efficacité est estimée à 80% dans la compétence requise, la même tâche représente une durée de travail de 8 heures $\frac{3}{4}$, ... ce qui revient, très légalement, à une durée calendaire de une journée - si tant est que le calendrier individuel de l'opérateur accepte ce dépassement pour ce jour là ...

4.3 Planification calendaire des travaux

Dans le cadre de ce travail, nous ne remettons pas en cause le processus d'ordonnancement des activités (au sens de : détermination pour chaque tâche de ses antécédents et successeurs) ; en revanche, les déterminations des marges des tâches, ainsi que de leurs dates de démarrage ou d'achèvement au plus tôt comme au plus tard, deviennent plus floues dès lors que l'on admet dès le début que ces tâches ne sont plus définies par une durée mais par trois durées correspondant à des engagements différents de ressources, D_i^{\min} , D_i^0 et D_i^{\max} ; il est en effet facile de supposer une durée normale de l'activité, définie à partir de l'ordonnancement des tâches sur l'hypothèse de leurs durées standard. En revanche, une logique de planification au plus tôt (maximisation de la sécurité calendaire et des marges) pourrait s'élaborer sur une affectation maximale des ressources, correspondant à un choix délibéré de durée minimale de toutes les tâches de l'activité ; la même logique peut conduire à la détermination d'une planification au plus tard. Ce qui nous amène à constater que la détermination des dates au plus tôt comme au plus tard des activités, ainsi que leurs marges totales comme libres, sont à présent des notions plus fluctuantes que de coutume - fluctuantes car résultant à la fois d'un choix global de planification de l'activité ... et résultant pour chaque tâche des choix faits pour ses antécédents, comme des choix encore possibles pour ses successeurs ...

4.4 Affectation des ressources

On l'a vu, cette affectation se fait en deux temps, en commençant par l'examen des charges nécessaires à l'exécution de l'ensemble de l'activité, et ce, compétence par compétence.

Si l'on appelle $W_{i,k}$ la charge de travail (en heures) nécessaire à la réalisation de la tâche i pour la compétence k , l'effectif requis $E_{i,k}$ pour exécuter cette tâche en respectant sa durée standard D_i^0 peut être exprimé par :

$$E_{i,k} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{W_{i,k}}{D_i^0} \right)$$

Cette détermination se fait en supposant que l'on respecte la durée quotidienne normale α du travail - ce qui correspond du reste à une hypothèse qu'il est raisonnable de faire en première approximation. Notons également que l'on fait ici implicitement l'hypothèse que la durée de la tâche i est de l'ordre de quelques journées : le même raisonnement peut se faire sur la base de durées hebdomadaires ou mensuelles, voire au-delà ... avec des valeurs bien entendu différentes de α .

La comparaison de cette valeurs de $E_{i,k}$, qui exprime un effectif requis, avec "l'effectif" disponible Q_k peut nous amener à réviser l'hypothèse première de respect de la durée standard D_i^0 de la tâche : le résultat de ce premier examen peut ainsi piloter le choix fait, pour chacune des tâches de l'activité, d'adopter pour sa durée la durée standard, ou bien la durée maximale ($E_{i,k}$ supérieur à Q_k , ou jugé dangereusement important) ou encore la durée minimale (contrainte sur $E_{i,k}$ jugée peu importante, d'où une priorité accordée à la préservation des marges calendaires) ...

De manière analogue, le même raisonnement peut être mené à l'échelle de l'ensemble de l'activité, c'est-à-dire pour l'ensemble I des tâches qui la composent : on peut ainsi déterminer pour chaque compétence la charge de travail totale W_k qui lui est impartie :

$$W_k = \sum_{i \in I} W_{i,k}$$

Cette charge totale nous permet de déterminer, pour chacune des compétences, l'effectif moyen requis pour réaliser l'ensemble de l'activité :

$$E_k = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{W_k}{D_T^0} \right)$$

Dans cette équation, D_T^0 représente la durée totale de l'activité - et les mêmes remarques que précédemment peuvent être formulées quand à la signification de α . Notons ainsi que contrairement au cas où l'on considèrerait une tâche unique, nous obtenons ici une évaluation globale de l'effectif requis sur l'ensemble de l'activité - compte non tenu de fluctuations qui peuvent apparaître en fonction de la planification des tâches à l'intérieur de la durée D_T^0 .

Nous pouvons ainsi hiérarchiser nos compétences en fonction de leur "taux de charge" moyen, c'est-à-dire de la contrainte globale de travail E_k / Q_k qui pèse sur elles, sur l'ensemble de l'activité.

Cette notion de taux de charge global est pour nous d'une double importance : d'une part pour confirmer ou infirmer les choix faits pour les durées des tâches i dans la plage $[D_i^{\min} - D_i^{\max}]$; par ailleurs, lors de l'affectation des ressources, les critères de choix d'affectation (si choix il y a) pourront faire intervenir la recherche de la durée minimale d'exécution (choix du $\theta_{a,k}$ maximal), ou bien la préservation de la disponibilité maximale sur les compétences les plus rares et/ou les plus demandées.

4.5 Détermination des coûts

La prise en compte de la polyvalence nous amène à identifier un critère d'évaluation des solutions obtenues, qui serait un critère économique : les différentes solutions d'affectations ("toutes choses étant égales par ailleurs") entraîneront des sommes d'heures de travail variables, en fonction de l'efficacité des différents opérateurs retenus sur chacune des tâches. La recherche pour une affectation de l'efficacité $\theta_{a,k}$ maximale contribue donc non seulement à la minimisation de la durée opératoire, mais aussi à un minimum économique. On voit que ce critère permet également d'évaluer le coût du recours à la polyvalence.

5. Conclusion et perspectives

Le travail présenté ici est une synthèse du modèle en cours de construction : les résultats attendus en sont l'élaboration d'une méthodologie de planification ; un des points attendus de cette planification sera le couplage entre les aspects calendaires et la disponibilité des ressources dans le traitement des conflits d'affectation.

En effet, dans le contexte où nous travaillons, le constat d'une surcharge sur une famille de ressources (compétence) à un moment donné fait apparaître deux modes différents de résolution : d'une part, un étalement des surcharges jusqu'à un niveau acceptable (on a vu que cette notion de niveau acceptable était assez élastique) peut résider dans un étirement temporel des tâches concernées, via une réduction des durées des antécédents comme des successeurs.

D'un autre côté, le règlement de ces surcharges peut plus simplement résider dans une permutation des ressources - quitte à accepter un allongement de la durée de travail correspondante. Cet allongement ne se traduit pas nécessairement par une augmentation de la durée calendaire, mais entraîne une dépense supplémentaire en terme d'heures consommées.

Enfin, des analyses intéressantes sont attendues sur l'examen d'une activité donnée (programme industriel de longue haleine) : d'une part, l'identification dans l'entreprise des compétences critiques ; la caractérisation et la quantification des "gisements de flexibilité", en terme de développement de la polyvalence. D'autre part, une évaluation technico - économique de ces développements devra pouvoir être élaborée.

Nomenclature

Indices		
a		acteur
i		tâche
j		jour
k		compétence
$6s$		période de 6 semaines consécutives
s		semaine
Variables		
A		ensemble des acteurs de l'entreprise
d_i	réel	durée prévue de la tâche i (jours)
$d_{a,i}$	réel	durée de travail de l'opérateur a sur la tâche i (heures)
D_i^0	réel	durée "standard" de la tâche i (jours)
D_T^0	réel	durée totale de l'activité (jours)
E_k	entier	effectif requis dans la compétence k pour l'ensemble de l'activité (-)
$E_{i,k}$	entier	effectif requis dans la compétence k pour réaliser la tâche i (-)
I		ensemble des tâches d'une activité
$K(i)$		ensemble des compétences requises pour la tâche i
Q_k	réel	effectif équivalent disponible pour la compétence k (-)
W_k	réel	charge de travail totale sur l'activité pour la compétence k (heures)
$W_{i,k}$	réel	charge de travail requise dans la compétence k pour réaliser la tâche i (heures)
$x_{a,j}$	entier	charge de travail quotidienne de l'opérateur a le jour j (heures)
Lettres grecques		
α	entier	durée légale ou maximale du travail (heures)
$\theta_{a,k}$	réel	efficacité de l'opérateur a dans la compétence k (adimensionnel, $\in [0;1]$)

Références

- Azmat, C. S., Widmer, M., 2004, "A case study of single shift and scheduling under annualized hours ...", European J. of Operational Research, 153 (pp. 148-175)
- Everaere, C., 1997, "Management de la flexibilité", Economica, Paris,
- Franchini, L., 2000, "Aide à la décision pour la gestion des opérateurs en production", thèse de doctorat de l'INPT,
- Harzallah, M., 2000, "Modélisation des aspects organisationnels et des compétences pour la réorganisation d'entreprises industrielles", thèse de l'ENI de Metz,
- Hermosillo - Worley, J., 2003, "Vers une meilleure prise en compte des ressources humaines dans les processus d'entreprise : connaissances, rôles et compétences", thèse de doctorat de l'INPT,
- Hung, R., 1999, « Scheduling a workforce under annualized hours », Int. J. of Production Research, vol. 37, n° 11 (pp. 2419-2427)
- Kane, H., "Etude de l'ajustement de la capacité à la charge pour une gestion quantitative des ressources humaines en production", thèse de doctorat de l'INSA Lyon,
- Le Boterf, 1997, "De la compétence à la navigation professionnelle", Ed. Organisation, Paris,
- Levy-Leboyer, 1996, "La gestion des compétences", Ed. Organisation, Paris,
- Pinker, E. J., Larson, R. C., 2003, "Optimizing the use of contingent labor when demand is uncertain", European J. of Operational Research, 144 (pp. 39-55)
- Vidal, E., Duquenne, P., Pingaud, H., 1999, "Optimisation des plans de charge pour un flow-shop dans le cadre d'une production en Juste - A - Temps », 3^{ème} Congrès Franco-Quebécois de Génie Industriel, Montréal, Québec, actes Vol. II (pp. 1165-1197)
- Vidal, E., 2000, "Stratégie de planification pour la flexibilité opérationnelle d'un atelier à cheminement unique", thèse de doctorat de l'INPT.