

Affectation flexible des effectifs : Vers un modèle de gestion des compétences

Workforce flexible allocation: Towards a model of skills management

ATTIA El-Awady^{a*}, DUQUENNE Philippe^{b*}, Le-LANN Jean-Marc^c

^{a,b,c} Université de Toulouse/ INPT/ ENSIACET/ LGC-UMR-CNRS 5503/PSI/ Génie Industriel
4 allée Emile Monso – BP 44362, 31030 Toulouse cedex 4.

Résumé

Parmi les stratégies favorisant la réactivité des entreprises, le développement de la polyvalence tient une place prometteuse. Nous présentons dans cet article la planification de projets multi-périodes avec problème d'affectation d'effectifs, en prenant en compte deux axes de flexibilité. Le premier est la modulation du temps de travail, qui permet à l'entreprise, pour un effectif constant, de bénéficier de fluctuations appréciables des capacités de travail. Le deuxième levier de flexibilité est la polyvalence des opérateurs, avec une vision dynamique de leurs compétences : les évolutions de ces compétences sont suivies dans le temps en fonction de la pratique (ou de la non-pratique). Dans cette approche, les durées des tâches d'un programme d'activités ne sont pas connues à l'avance, et dépendront des efficacités des acteurs sollicités – et donc de leurs affectations antérieures. Nous présentons ici les caractéristiques de ce problème, ainsi qu'une approche de sa résolution, basée sur les algorithmes génétiques.

Abstract

Among the strategies supporting the reactivity of companies, the development of actors' versatility holds a promising place. In this article, we present multi-periods planning and scheduling of projects, with the problem of workforce allocation, taking into account two dimensions of flexibility. The first is the modulation of working time, which provides the company with considerably fluctuating work capacities for a given manpower. The second flexibility lever is the versatility of operators: for all the actors who can prove to be multi-skilled, we adopt a dynamic vision of their competences. This model takes into account the evolution of their skills over time, depending on how much they have been put in practice in previous periods. In this approach, the durations of activities are not known in advance, and rely on the productivities of the solicited actors – and thus on their previous allocations. We present the characteristics of this problem, and a solving approach based on genetic algorithms.

Mots-clés : Ressources humaines, Affectation, Flexibilité, évolution d'expérience.

Key-words : Human resources, allocation, flexibility, experience evolution.

1. Introduction

Les ressources humaines sont un des gisements de flexibilité les plus prometteurs (Golden et Powell, 2000), et en développant cette flexibilité, l'entreprise accroît sa réactivité (Davis et al., 2009 ; Duquenne et al., 2005 ; Edi, 2007 ; Franchini et al., 2001).

Dans une telle optique, l'exécution d'une tâche donnée requiert un certain nombre de compétences, et chaque mission correspondant à une compétence peut être réalisée par un ou plusieurs opérateurs dont chacun peut pratiquer une ou plusieurs compétences. La littérature distingue une nature « homogène » des

* Auteurs à qui la correspondance devrait être adressée : elawady.attia@ensiacet.fr ; philippe.duquenne@ensiacet.fr

compétences (la performance est la même pour toutes les compétences) avec des applications : on peut citer la technologie de développements de logiciels (Drezet et Billaut, 2008 ; Li et Womer, 2009), les centrales de production d'énergie (Eitzen et al., 2004), ou la production alimentaire (Franchini et al., 2001). Par ailleurs, une nature « hétérogène » des qualifications, dans laquelle chaque compétence a une performance spécifique, a été étudiée pour les centres de services (Valls et al., 2009), les technologie de l'information (Heimerl et Kolisch, 2009), la conception et le développement de produits (Hlaoittinun et al., 2010), ou la sélection de projets dans un portefeuille (Gutjahr et al., 2008).

Cette nature hétérogène est particulièrement justifiée dans le domaine du génie des procédés où les savoir-faire sont primordiaux ; les opérateurs sont souvent polyvalents : chacun maîtrise une compétence de base, et peut exercer une ou plusieurs compétence(s) additionnelle(s), avec pour chacune une quantification de ses performances (Duquenne et al., 2005 ; Edi, 2007). La nature des différentes compétences peut y être structurelle et procédurale – une combinaison d'activités physiques et mentales, où la capacité de décision s'ajoute au geste. En ce qui concerne ce type de compétences, l'augmentation de la productivité par la pratique est un facteur considérable de réduction des efforts en fil du temps – réciproquement, le phénomène d'oubli par manque de pratique est également remarquable, (Bailey, 1989). Cet article est organisé de la manière suivante : la section 2 discute la caractérisation et la modélisation du modèle, la section 3 décrit l'approche de résolution proposée. La section 4 présente et discute quelques résultats, à la fin et dans section 5, nous concluons notre travail.

2. Caractérisation et modélisation du modèle

2.1 Caractérisation du projet

2.1.1 La durée des tâches

Un projet est décomposé en I tâches uniques et originales. Pour chaque tâche $i \in I$, on dispose de durées de réalisation : minimale (D_i^{\min}), maximale (D_i^{\max}) et standard (D_i) : la durée réelle de la tâche (d_i) doit vérifier $D_i^{\min} \leq d_i \leq D_i^{\max}$. Une des caractéristiques de la tâche est le nombre des compétences (nk_i) nécessaires à son exécution. Pour chaque compétence $k \in nk_i$, une charge de travail $w_{i,k}$, en heures, est définie. Ainsi, à chaque compétence k de la tâche i une durée réelle $d_{i,k}$ (en jours) est associée. Le temps d'exécution de la tâche i est donc $d_i = \max(d_{i,k})$, $\forall i$, et $\forall k \in nk_i$. Il est donc nécessaire de déterminer chacune des durées $d_{i,k}$: elles sont déduites de l'efficacité équivalente des opérateurs affectés ($EE_{i,k}$) et de leur capacité journalière de travail ($\omega_{a,i,k,j}$) :

$$d_{i,k} = \frac{w_{i,k}}{\omega_{a,i,k,j} \times EE_{i,k,j}}, \quad \forall k \in nk_i, \text{ et } w_{i,k} \neq 0, \quad (1)$$

2.1.2 Relations temporelles entre tâches

Nous présentons les relations temporelles généralisées sous leur forme standard, en les exprimant comme des liens début-début, (Demeulemeester et Herroelen, 2002) ; Les relations entre deux tâches i et c vont se traduire par des contraintes liant leurs dates de début – en intégrant un délai $l_{i,c}$ qui peut également exprimer la présence d'un décalage temporel (avance ou retard) entre tâches (Valls et al., 2009) :

$$dd_i + l_{i,c} \leq dd_c, \quad (2)$$

2.1.3 La durée du projet

Nous supposons que le projet est astreint à une durée contractuelle « L », à laquelle peut se greffer un « délai de grâce » β . Si le résultat est fourni au client avec un retard supérieur à β , des pénalités de retard sont comptées ; réciproquement, on évitera d'achever le travail plus tôt que $(L - \beta)$ pour éviter des coûts de stockage. Par conséquent, il est nécessaire que la durée réelle LV du projet se situe dans l'intervalle :

$$L - \beta \leq LV \leq L + \beta \quad (3)$$

2.2 Caractérisation de la polyvalence et qualification des acteurs

Dans la littérature, on trouve de nombreuses formes de la modélisation de la qualification d'opérateurs (Duquenne et al., 2005 ; Gutjahr et al., 2008 ; Heimerl et Kolisch, 2009 ; Hlaoittinun et al., 2010 ; Valls

et al., 2009). Nous adoptons le modèle de (Duquenne et al., 2005) pour lequel la performance d'un acteur a dans l'exercice d'une compétence k est appelée efficacité ($\theta_{a,k}$) : si $\theta_{a,k}=1$, il exécutera toute mission dans un délai correspondant à l'estimation « standard » ; mais si le travail total ($\omega_{a,i,k}$) de l'acteur a sur la tâche i pour la compétence k est supérieur à la charge de travail ($w_{i,k}$) qui caractérise cette tâche, l'efficacité sera calculée comme le rapport ($\theta_{a,k} = w_{i,k} / \omega_{a,i,k}$). Lors de l'affectation des acteurs, il faut vérifier qu'aucun acteur ne peut être affecté sans avoir un niveau minimum de qualification $\theta_{min,k}$:

$$\theta_{min,k} \leq (\theta_{a,k(n \rightarrow ddi,k)} \times \sigma_{a,i,k,j}) \leq 1, \quad \forall a, \forall k, \forall j \quad (4)$$

où les ($\sigma_{a,i,k,j}$) sont les variables d'affectation : $\sigma_{a,i,k,j} = 1$: si l'acteur a est affecté à la mission de compétence k liée à la tâche i pendant le jour j . Et $\sigma_{a,i,k,j} = 0$: sinon.

On doit également vérifier que le travail des acteurs est suffisant pour équilibrer la charge requise $w_{i,k}$:

$$\sum_{a \in ER_{i,k}} \left(\sum_{j=dd_{i,k}}^{df_{i,k}-1} \omega_{a,i,k,j} \times \sigma_{a,i,k,j} \times \theta_{a,k(n \rightarrow ddi_{i,k})} \right) = w_{i,k}, \quad \forall i, \forall k \quad (5)$$

2.3 Caractérisation de l'évolution des compétences

2.3.1 Apprentissage

L'effort requis pour accomplir une tâche donnée diminue chaque fois que cette tâche est répétée. La représentation la plus courante de la courbe d'apprentissage est de forme « puissance » (modèle de Wright, (1936)). Sur cette base, nous avons proposé une modélisation (Attia et al., 2011) de l'efficacité ($\theta_{a,k(n)}$) à la date du début d'un travail ($n \rightarrow ddi_{i,k}$) en fonction de la répétition (n) des travaux :

$$\theta_{a,k(n \rightarrow ddi_{i,k})} = 1/[1 + (1/\theta_{a,k}(ini) - 1) \times (n)^b] \quad (6)$$

Où $b = \log(r_{a,k})/\log(2)$; les deux facteurs [$r_{a,k}$ et $\theta_{a,k}(ini)$] sont respectivement la vitesse d'apprentissage de l'acteur a dans la compétence k , et son efficacité initiale au début de la simulation.

2.3.2 Régression

L'efficacité se dégrade en absence de pratique. Selon le modèle de Wright (1936) et les travaux de Jaber et Bonney (1996), l'érosion de l'efficacité dépend des périodes d'interruption (λ) et du nombre de répétitions du travail avant cette période (n_{eq}), toutes exprimées en jours équivalents de 7 heures :

$$\theta f_{a,k} = 1/[1 + (1/\theta_{a,k}(ini) - 1) \times (n_{eq})^{b-f} \times (n_{eq} + \lambda)^f] \quad (7)$$

où θf est le niveau d'efficacité d'acteur après une période d'interruption (λ). La pente de la courbe de « désapprentissage » f est donnée par :

$$f = -b \times (b+1) \times \log(n_{eq}) / \log(\xi+1) \quad (8)$$

ξ : est le rapport entre deux périodes ($\xi = Tb / Ta$) : une durée ininterrompue Ta d'exercice d'une compétence donnée, et la durée Tb nécessaire pour que, si la compétence en question n'est plus pratiquée, l'efficacité décroisse jusqu'à revenir à sa valeur initiale (Figure 1).

2.3.3 Estimation des paramètres θ , r et Tb

Pour estimer l'efficacité initiale $\theta_{a,k}(ini)$, la vitesse d'apprentissage ($r_{a,k}$), et la période de « désapprentissage » Tb des acteurs, nous les classons en trois catégories :

Le groupe des experts : c'est le cas simple ; leur efficacité est à la valeur nominale, et l'entreprise dispose des données historiques qui permettent d'apprécier $\theta_{a,k}(ini)$, $r_{a,k}$ et Tb .

Le groupe des praticiens : là également, nous supposons que l'entreprise a des données récentes, permettant de déterminer les caractéristiques nécessaires, même si l'efficacité n'est pas de 1.

Le groupe des novices et débutants : il n'existe aucune donnée relative au fonctionnement de ce groupe. Nous supposerons que l'entreprise a un profil détaillé de chaque opérateur, qui décrit les différents domaines de connaissances, la scolarité, les compétences principales, les compétences secondaires, etc. Chacun de ces paramètres a un score prédéfini. Afin de déterminer leurs paramètres ($\theta_{a,k}(ini)$, $r_{a,k}$, et Tb), nous utilisons la distance euclidienne à partir des groupes d'experts et praticiens.

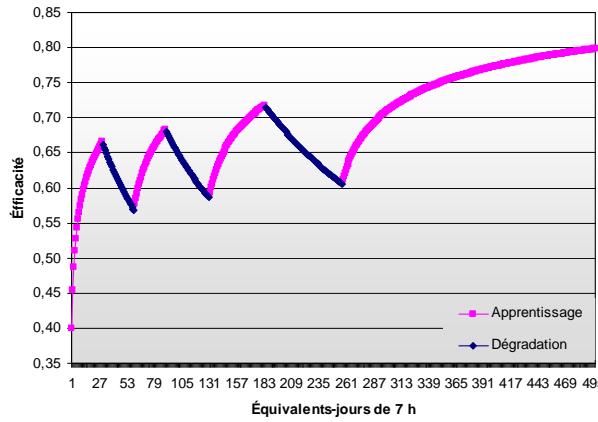


Figure 1. L'effet de l'apprentissage et de l'oubli sur l'efficacité des acteurs

La procédure est la suivante :

- Choisir un ensemble (PR_k) d'acteurs praticiens et experts dans la compétence k ,
- Pour chaque acteur de $a \in PR_k$, on peut lire $(\theta_{a,k}(ini), r_{a,k}$, et Tb) dans la base des données de production,
- Calculer la distance euclidienne (Ed) entre l'acteur débutant (ab) et chaque acteur $a \in PR_k$,
- Calculer le facteur de correction « Cf » pour l'acteur a , (équation 9). La personne la plus appropriée sera celle dont le facteur de correction est le plus élevé.

$$Cf_{ab \rightarrow a} = \frac{1}{|PR_k|} \left[1 - Ed_{ab \rightarrow a} / \sum_{ac}^{PR_k} Ed_{ab \rightarrow ac} \right] \text{ pour chaque } a \in PR_k, \text{ et } \sum_{ac}^{PR_k} Ed_{ab \rightarrow ac} \neq 0 \quad (9)$$

Où $|PR_k|$: est le cardinal de l'ensemble PR_k .

- Calculer les paramètres de l'acteur débutant :

$$r_{ab,k} = \sum_{ac}^{PR_k} Cf_{ab \rightarrow ac} \times r_{ac,k} \quad \left| \theta_{ab,k}(ini) = \sum_{ac}^{PR_k} Cf_{ab \rightarrow ac} \times \theta_{ac,k}(ini) \quad \left| Tb_{ab,k}(ini) = \sum_{ac}^{PR_k} Cf_{ab \rightarrow ac} \times Tb_{ac,k} \right. \right. \quad (10)$$

D'après ces procédures de similarité, on peut évaluer les paramètres de l'acteur pour n'importe quelle compétence k . Par conséquent nous pouvons choisir les acteurs les plus appropriés à la polyvalence.

2.4 Caractérisation des calendriers de travail

Selon l'annualisation du temps de travail, tout acteur effectue une quantité fixée d'heures de travail par an : le plan de charge de chacun peut alors présenter des fluctuations quotidiennes, hebdomadaires, qui doivent respecter quelques contraintes : les durées maximales du travail (normal et supplémentaire) quotidien, hebdomadaire, moyen sur une période de douze semaines consécutives, et annuel (Pour plus de détails sur la modélisation de ces contraintes voir (Edi, 2007)).

2.5 Fonction – objectif

Nous attendons cinq objectifs de la réalisation du projet : quatre termes de coûts (f_1, \dots, f_4) à minimiser, et une fonction de profit virtuel (f_5) à maximiser :

$$\text{Minimiser: } f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 - f_5 \quad (10)$$

Le terme (f_1) représente le coût réel du travail exécuté dans les heures normales, à un coût horaire “ U_a ” :

$$f_1 = \sum_{a=1}^A \left[U_a \times \sum_{s=S_{SW}}^{S_{FW}} \omega_{a,s} \right] \quad (10-a)$$

Le terme (f_2) représente un coût virtuel associé à la perte de flexibilité de travail des acteurs à la fin de l'horizon de simulation. Il est calculé en fonction du taux d'occupation moyen de l'acteur par rapport à la durée standard de travail par semaine “ C_{s0} ”, et vise à préserver la flexibilité future de l'entreprise :

$$f_2 = \sum_{a=1}^A UF_a \times \left(\sum_{s=S_{sw}}^{S_{fw}} \omega_{a,s} / (S \times Cs0) - 1 \right) \quad (10-b)$$

Le terme (f_3) est le coût des heures supplémentaires, qui s'ajoute à celui des heures normales (f_1) ; il est déterminé en appliquant un facteur multiplicatif "u" au coût horaire standard :

$$f_3 = \sum_{a=1}^A \left[U_a \times u \times \sum_{s=S_{sw}}^{S_{fw}} HS_{a,s} \right] \quad (10-c)$$

Le terme (f_4) représente une pénalité associée à un achèvement d'un travail en dehors de sa plage de tolérance (Vidal et al., 1999), comme vu en 2.1.3 :

$$f_4 = \begin{cases} [f_1 + f_3] \times ((1 + \tau_j)^{(L-LV-\beta)} - 1) & \text{Si, } LV < L - \beta \\ UL \times (LV - (L + \beta)) & LV > L + \beta \\ 0 & L - \beta \leq LV \leq L + \beta \end{cases} \quad (10-d)$$

Enfin le profit virtuel (f_5) est lié à l'évolution globale des compétences des acteurs dans l'entreprise. L'équation $(10-e)$ exprime la différence d'efficacité des acteurs entre le début et la fin du projet. Une constante (U_k) exprime l'importance de ce facteur et nous permet de traduire cette différence en termes de bénéfice pour l'entreprise :

$$f_5 = \sum_{k=1}^K \frac{U_k}{NA_k} \times \left[\frac{\sum_{a=1}^A [\theta_{a,k(n \leftrightarrow Date de fin)} - \theta_{a,k(n \leftrightarrow Date de début)}]}{\sum_{a=1}^A \theta_{a,k(n \leftrightarrow j = Date de début)}} \right] \quad (10-e)$$

3. Résolution du problème par codage des priorités

Durées « élastiques » (non prédefinies) des tâches et vision dynamique des compétences font que la description de ce problème aboutit à un modèle non linéaire. Nous nous sommes orientés vers la recherche de solutions approchées qui peuvent être obtenues avec des méthodes heuristiques comme les algorithmes génétiques. L'AG que nous proposons utilise le codage de priorités : les chromosomes rassemblent trois groupes de variables de décision : quel ordre de traitement des tâches? Quels acteurs affecter en priorité? Et avec quelle capacité de travail quotidien? Les individus représentés par ces chromosomes sont ensuite évalués par référence à la fonction-objectif, afin de calculer pour chacun son adaptation. La figure 2 représente une procédure de mise en œuvre de cet AG :

L'Algorithme Génétique:
{Générer la population initiale “**g=1**” avec la taille **IP**
Évaluer la population **g=1**
SI les critères d'arrêt ne sont pas satisfaits, **répéter**
{Sélectionner certains individus de **g** pour les mettre dans **g+1**
Croisement de certains individus de **g** et les mettre dans **g+1**
Régénérer des certains nouveaux individus et leur mettre dans **g+1**
Mutation de certains individus choisis parmi **g+1**
Affectation des acteurs selon les décisions des chromosomes
Évaluer la population **g+1**
G = g+1 **}**

Figure 2. L'Algorithme Génétique

4. Résultats et discussions

Nous avons appliqué cette méthode à un exemple simple de 10 tâches, 10 acteurs, et 4 compétences, tiré du manuscrit de Edi (2007). Ce problème a été résolu avec satisfaction de toutes les contraintes, avec

différentes importances, exprimées par le coût fictif f_5 , accordées à la culture de la polyvalence. Ces simulations ont logiquement mis en évidence le risque, si l'entreprise vise systématiquement un coût minimal de réalisation du projet, de voir péricliter les compétences secondaires des opérateurs : ces derniers sont toujours préférentiellement affectés sur leurs compétences principales (celles qui aboutissent au temps d'exécution minimal), et subissent une dégradation de leur efficacité dans leurs compétences secondaires par phénomène d'oubli. L'entreprise doit donc se poser la question : même si un programme en cours ou à exécuter à court terme est réalisable en ne mobilisant que des acteurs pleinement compétents, quel est le surcoût à accepter pour cultiver la polyvalence et préserver la réactivité future ?

5. Conclusion et perspectives

Nous avons achevé la caractérisation et la modélisation des différents aspects de notre problème d'affectation flexible et multi-périodes des ressources humaines en prenant en compte la modulation du temps de travail, la polyvalence des acteurs, et les phénomènes d'apprentissage et d'oubli. L'ensemble, solveur de scenarii, peut être utilisé comme un outil d'aide à la décision pour gérer et développer les compétences de l'entreprise, et donc sa capacité à réagir à des événements imprévisibles. Dans cet esprit, les développements futurs de ce travail consisteront à élaborer des « matrices de passages » permettant de quantifier la facilité ou la difficulté de migrations de compétences entre différents métiers ou entre différents niveaux de qualification dans le même métier.

Références

- Attia, E.-A., Duquenne, P. et Le-Lann, J.-M., 2011. Problème d'affectation flexible des ressources humaines : Un modèle dynamique. Dans 12ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2011). Saint-Etienne, France, p. 697-698.
- Bailey, C.D., 1989. Forgetting and the learning curve: a laboratory study. *Management Science*, 35, p.340–352.
- Davis, D.J., Kher, H.V. et Wagner, B.J., 2009. Influence of workload imbalances on the need for worker flexibility. *Computers and Industrial Engineering*, 57, p.319–329.
- Demeulemeester, E.L. et Herroelen, W., 2002. *Project scheduling: a research handbook*, Springer.
- Drezet, L. et Billaut, J., 2008. A project scheduling problem with labour constraints and time-dependent activities requirements. *International Journal of Production Economics*, 112(1), p.217-225.
- Duquenne, P., Edi, H.K. et Le-Lann, J.-M., 2005. Characterization and modelling of flexible resources allocation on industrial activities. Dans 7th World Congress of Chemical Engineering. Glasgow, Scotland.
- Edi, H.K., 2007. *Affectation flexible des ressources dans la planification des activités industrielles: prise en compte de la modulation d'horaires et de la polyvalence*. Thèse, Toulouse, France: Paul Sabatier.
- Etzen, G., Panton, D. et Mills, G., 2004. Multi-Skilled Workforce Optimisation. *Annals of Operations Research*, 127(1-4), p.359-372.
- Franchini, L., Caillaud, E., Nguyen, P. et Lacoste, G., 2001. Workload control of human resources to improve production management. *International Journal of Production Research*, 39(7), p.1385-1403.
- Golden, W. et Powell, P., 2000. Towards a definition of flexibility: in search of the Holy Grail? *Omega*, 28(4), p.373-384.
- Gutjahr, W.J., Katzensteiner, S., Reiter, P., Stummer, C., et Denk, M., 2008. Competence-driven project portfolio selection, scheduling and staff assignment. *Central European Journal of Operations Research*, 16(3), p.281-306.
- Heimerl, C. et Kolisch, R., 2009. Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce. *OR Spectrum*, 32(2), p.343-368.
- Hlaoittinun, O., Bonjour, E. et Dulmet, M., 2010. Managing the Competencies of Team Members in Design Projects through Multi-period Task Assignment. Dans *Collaborative Networks for a Sustainable World IFIP Advances in Information and Communication Technology*. p. 338:345.
- Jaber, M.Y. et Bonney, M.C., 1996. Production breaks and the learning curve: the forgetting phenomenon. *Applied Mathematical Modelling*, 20(2), p.162-169.
- Li, H. et Womer, K., 2009. Scheduling projects with multi-skilled personnel by a hybrid MILP/CP benders decomposition algorithm. *Journal of Scheduling*, 12(3), p.281-298.
- Valls, V. et Perez, A., Quintanilla, S., 2009. Skilled workforce scheduling in Service Centers. *European Journal of Operational Research*, 193(3), p.791-804.
- Vidal, E., Duquenne, P. et Pingaud, H., 1999. Optimisation des plans de charge pour un flow-shop dans le cadre d'une production en Juste A Temps: 2- Formulation mathématique. Dans 3ème Congrès Franco-Québéquois de Génie Industriel. Montréal, Québec, Canada, p. 1175-1184.
- Wright, T., 1936. Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of Aeronautical Sciences*, 3, p.122-128.