

PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES LIEES A LA GESTION DES COMPETENCES EN ORDONNANCEMENT ET SIMULATION

B. GRABOT

LGP-ENIT

47, Avenue d'Azereix

F-65016 Tarbes Cedex

bernard@enit.fr

RESUME : *L'impératif de flexibilité des systèmes de production, mais aussi la nécessité de valoriser le capital humain de l'entreprise, conduisent à replacer les ressources humaines au centre du processus de planification. Une meilleure formalisation des compétences des individus est à notre avis une condition nécessaire à une modélisation plus précise des contraintes permettant la prise en compte des personnes dans l'atelier, en ordonnancement comme en simulation. Sur la base de plusieurs expériences industrielles, en particulier dans le milieu de l'aéronautique, nous proposons ici de recenser les contraintes principales découlant d'une gestion des compétences, tant pour l'ordonnancement que pour la simulation.*

MOTS-CLES : *ordonnancement, simulation, ressources humaines, compétences.*

1. INTRODUCTION

La productivité n'est aujourd'hui plus un avantage concurrentiel suffisant. Innovation, diversification des produits, délai de mise sur le marché ou service au client sont ainsi devenus des objectifs prioritaires dans de nombreuses entreprises. Cette nouvelle orientation se traduit en particulier au niveau des ateliers : la flexibilité, condition importante pour atteindre ces objectifs, est en effet une qualité humaine naturelle, alors que son introduction au niveau des machines ou des automatismes reste coûteuse et imparfaite. Conjugée à cette nécessité de flexibilité, la prise de conscience dans les années 80 de ce que les compétences humaines font partie intégrante du capital de l'entreprise a conduit à une revalorisation des ressources humaines, en particulier dans les entreprises de haute technologie. A la suite du secteur du service, une réelle demande commence ainsi à émerger dans l'industrie en planification de la production orientée "ressources humaines". Une étape importante, en voie d'être franchie dans de nombreuses entreprises, est pour cela de mieux formaliser ce qui fait la compétence d'une personne, c'est-à-dire sa capacité à mettre en oeuvre des connaissances, savoir-faire et comportement en situation d'exécution (AFNOR, 2002). Cette réflexion doit à terme être intégrée dans les logiciels permettant de préparer et d'évaluer le travail d'atelier, principalement les logiciels d'ordonnancement et de simulation.

Dans la deuxième partie de ce papier, nous verrons comment les ressources humaines sont classiquement considérées en ordonnancement et simulation, plus particulièrement dans les logiciels industriels. Nous dresserons dans la troisième partie un rapide panorama

des recherches visant à une meilleure prise en compte des acteurs de la vie de l'atelier. Dans la quatrième partie, nous décrirons quelques expériences industrielles visant à mieux formaliser les compétences des opérateurs, et nous tenterons de synthétiser ces expériences sous forme de contraintes à prendre en compte tant en simulation qu'en ordonnancement. Un prototype simple tenant compte de certaines de ces contraintes sera rapidement décrit. Précisons que nous ne nous intéresserons pas ici aux méthodes de résolution mais aux types de contraintes à prendre en compte pour exprimer de manière plus réaliste l'engagement des ressources humaines dans l'atelier.

2. LES RESSOURCES HUMAINES DANS LES LOGICIELS D'ORDONNANCEMENT ET DE SIMULATION

Jusqu'aux années 80, la production industrielle, et avec elle l'ordonnancement, a été principalement orientée vers l'utilisation optimale des machines, considérées comme les ressources les plus critiques de l'entreprise, car les plus coûteuses. Au cours de cette période, l'automatisation n'a en effet souvent laissé aux opérateurs qu'un rôle marginal d'assistance à des machines dont le taux horaire allait sans cesse croissant. Hormis quelques exceptions notables, l'ordonnancement s'est ainsi principalement focalisé sur le modèle de ressources en fait assimilables à des machines de type "usinage" (modèle libre/occupé, ressource capable d'effectuer une liste prédéterminée de tâches et explicitement mentionnée dans la gamme). Les logiciels d'ordonnancement de l'époque (citons pour la France SipaPlus (GPSA, 1996), Ortems (Al Kazzaz, 1989),

CadPlan, Ordo, Preactor ou Io (Grabot *et al.*, 1999), dont la plupart sont toujours commercialisés sous des noms voisins) étaient en effet principalement basés sur ce modèle assez restrictif, associant une ressource à un ordre de fabrication pour la durée d'une opération (phase d'une gamme). Il suffisait bien sûr de considérer que cette ressource était un opérateur humain pour disposer d'un modèle "minimum" permettant d'associer un opérateur à une opération. Ce modèle très simple s'est rapidement avéré insuffisant, et une première amélioration a été rendue possible par l'ordonnement multi-ressources, donnant la possibilité d'associer plusieurs ressources à une opération. On a dès lors pu associer une machine et un opérateur (M. X, Mme Y...), à une opération, chacun devant être déclaré dans la gamme et se voyant affecter un calendrier particulier. Des logiciels pourvus d'une "gestion des opérateurs" plus avancée (comme SipaPlus ou Ortems) ont ensuite permis de décrire l'appartenance d'individus à des classes d'opérateurs (tourneur, fraiseur...), avec parfois un coefficient de priorité supposé traduire leur niveau expertise. Un opérateur pouvait d'autre part n'être affecté à une opération qu'avec un certain pourcentage, ce qui permettait de tenir compte de son affectation à plusieurs tâches (ou machines) en parallèle, sans que les problèmes éventuels de déplacement entre les postes de travail ne soient en général pris en compte. Ces extensions successives de modèles intrinsèquement insuffisants, traités par des algorithmes gloutons n'ayant aucune vision globale, ne pouvaient donner longtemps satisfaction.

Par la suite, de nouveaux modèles de prise en compte des ressources ont permis d'aborder d'autres aspects de l'implication de l'opérateur dans la fabrication : dans Io par exemple (Grabot *et al.*, 1999), une ressource peut être associée à un ensemble de tâches sans être "relâchée" entre deux opérations. Cette possibilité, prévue à l'origine pour modéliser des palettes, permettait de manière additionnelle de décrire un opérateur en charge d'un lot de pièces sur un ensemble de machines. Elle est maintenant disponible dans d'autres logiciels. Une extension ponctuelle de Io inclut par la suite de nouvelles fonctionnalités, adaptées à la gestion des opérateurs dans une industrie agro-alimentaire (Franchini *et al.*, 1998) : un "plan de charge orienté compétences" était ainsi défini pour préparer l'affectation des personnes à des postes de travail, en fonction de leur polyvalence. Cette affectation ne se faisait toutefois que sur des opérations déjà séquencées par un ordonnancement orienté "machines".

Des caractéristiques de base des ressources humaines restent donc à intégrer efficacement dans les logiciels d'ordonnement, comme l'entretien de la polyvalence ou les capacités d'adaptation, mais aussi des points délicats comme l'amélioration progressive des performances, ou au contraire la fatigue ou la sensibilité au stress. Ces manques font que la pleine utilisation des capacités humaines au niveau de l'atelier passe par un enrichissement très conséquent des modèles

d'ordonnement. A l'opposé, depuis cette période, les logiciels d'ordonnement industriels semblent s'être davantage étendus vers les niveaux hauts de planification, incluant la gestion de chaînes logistiques, que vers une gestion plus fine des opérateurs.

Des logiciels dédiés à la gestion court terme des ressources humaines sont par contre disponibles depuis de nombreuses années pour les entreprises de service. Ces logiciels dits de "Staff scheduling" sont orientés vers la constitution d'équipes présentant un certain panel de compétences. Cependant, ils ne permettent pas de définir les ressources humaines en terme de compétences disponibles pour l'exécution d'un processus ou d'une tâche, et sont donc difficilement utilisables en ordonnancement de production. Des logiciels comme ESP (Employee Schedule Partner, 2006), Rostima (Rostima, 2007) ou DRoster (Kappix, 2007) sont assez représentatifs de ce type de produits, principalement orientés vers la planification d'une semaine type de travail, en tenant compte des compétences et des contraintes individuelles et collectives.

Un "white paper" sur la simulation orientée ressources humaines a été produit par le groupe de travail HUCENS (*Human Centered Simulation*) (Becker *et al.*, 2004); il résume les principales caractéristiques des ressources humaines disponibles dans les simulateurs les plus répandus sur le marché :

- dans Arena, des ressources humaines peuvent être allouées aux tâches selon un ensemble donné de règles prédéfinies, qui peuvent également être adaptées aux besoins du client ;
- dans Dosimis, le nombre d'ouvriers et leur qualification peuvent être définis pour chaque tâche séparément ;
- dans eM-Plant, divers services peuvent être définis pour traiter une pièce. Ces services peuvent être traités en tant que qualifications de ressources humaines, et il est possible de définir des groupes d'ouvriers de même compétence. La compétence peut influencer l'efficacité de l'opérateur ;
- dans Witness, les ressources humaines sont des entités spécifiques qui peuvent être appelées par d'autres objets de simulation (machines, convoyeurs, véhicules) afin d'effectuer une opération (installation, nettoyage, réparation, conduisent un véhicule, etc.). Un opérateur peut avoir des compétences simples ou multiples.

Comme on le voit, les logiciels de simulation permettent une prise en compte de caractéristiques plus "fines" que ceux d'ordonnement. De plus, même si cela n'est pas toujours simple, des règles spécifiques de gestion des ressources peuvent être la plupart du temps directement codées par l'utilisateur.

Après ce tour d'horizon rapide (et certainement pas exhaustif...) des logiciels du marché, nous proposons dans la partie suivante un aperçu sur les activités de recherche dans le domaine.

3. APPROCHES CENTREES RESSOURCES HUMAINES

Un panorama des approches liées au "staff scheduling" peut être trouvé dans (Boucher *et al.*, 2007), une description plus précise des problèmes et approches liées à l'affectation et à la gestion des horaires étant par exemple disponible dans (Soumis *et al.*, 2005). Il ressort de ces études que des qualifications très précises sont davantage utilisées que des "compétences" plus difficiles à définir mais permettant une certaine généralisation. Un état de l'art sur le "nurse rostering problem" (Cheang *et al.*, 2003) fait d'ailleurs état d'une situation paradoxale : le respect des contraintes de qualifications (*skills*) est posé comme primordial, tandis qu'aucune des études citées ne le considère dans toute sa complexité. La plupart du temps, les qualifications sont exprimées de manière binaire ("a ou n'a pas"), ou à travers une hiérarchie décrivant des préférences pour accomplir une tâche (Hwang, 2003; Bard, 2005).

L'influence de la compétence sur le temps de traitement d'une opération est de même abordée de manière inégale. Lee (2004) mentionne par exemple que ce point est rarement abordé, bien que l'on puisse le retrouver dans quelques études ponctuelles comme (Cochran, 1997). Il est à noter que des problèmes sociaux limitent considérablement la possibilité d'utilisation industrielle de ces études. Par contre, l'influence de facteurs comme l'apprentissage (qui fait décroître le temps de traitement) et la fatigue (qui le fait croître) a été récemment abordée dans (Digiesi *et al.*, 2004). Un prototype universitaire de logiciel de simulation orienté "ressources humaines" est d'autre part décrit dans (Zülch, 2007), permettant une simulation tenant compte de l'influence du milieu sur le niveau de stress et sur les performances humaines.

Dans le domaine de l'ordonnancement manufacturier, on peut citer la prise en compte des compétences requises par une opération et disponibles auprès des acteurs dans (Jia, 1998), avec comme objectif une affectation des tâches de production aux acteurs, puis ceux de (Bennour, 2004) dans un cadre plus large d'affectation de ressources humaines à un processus générique. Les contraintes originales liées à l'annualisation du temps de travail, conjuguée à un traitement simple des polyvalences, ont par exemple été abordées dans (Hung, 1999) ou (Grabot *et al.*, 2000). Dans ce cadre, le temps de travail des opérateurs n'est plus hebdomadaire mais annuel, et les opérateurs deviennent de fait assimilables à des "ressources consommables". Le temps de travail hebdomadaire peut varier en fonction de la charge, mais avec un différentiel maximum à la hausse et à la baisse d'une semaine à l'autre. Pour tenir compte de ces contraintes, il est clair qu'une interdépendance entre la planification moyen terme et l'ordonnancement est nécessaire.

L'ordonnancement conjoint de machines et de personnels est abordé dans (Haït, 2005), qui souligne le peu de

travaux sur ce thème. La méthode proposée dans cet article est basée sur la définition de "types d'opérateurs" qui n'aborde néanmoins pas tous les problèmes liés à la gestion des compétences, comme nous les définirons dans la partie suivante. Par contre, différentes manières de prendre en compte l'influence de la "compétence" sur les temps opératoires sont suggérées.

La compétence des opérateurs est aussi considérée comme un point clef dans les problèmes d'équilibrage de ligne (*line balancing*) (voir par exemple un état de l'art dans (Scholl *et al.*, 2006)), mais ce point ne fait en général pas l'objet d'une modélisation particulière, et n'est habituellement pas considéré dans les méthodes de résolution.

A partir d'expériences industrielles, nous allons tenter dans la partie suivante de lister les principales contraintes qui nous paraissent découler de la gestion des compétences telle qu'elle commence à être formalisée actuellement dans les entreprises.

4. GESTION INDUSTRIELLE DES COMPETENCES POUR L'ORDONNANCEMENT ET LA SIMULATION

Les propositions suivantes sont issues d'études industrielles menées au cours du développement puis de l'implantation d'un logiciel de gestion opérationnelle des compétences dans six entreprises (Houe *et al.*, 2007). Même si ces expériences restent limitées, les nombreux contacts effectués avec de nouvelles entreprises intéressées par le sujet nous laissent à penser que le modèle utilisé, très flexible, est aussi relativement général.

4.1. Quelles compétences associer à un opérateur ?

Précisons tout d'abord que la prise en compte des compétences dans les activités de production n'est pas un "plus" mais une nécessité dans le cadre de la norme ISO 9000 version 2000.

Un premier point important est d'introduire une différence claire entre *qualification* et *compétence* (Zarifian, 2001). Une qualification se borne en effet à constater l'aptitude d'une personne à réaliser une tâche, ou un type de tâche. Il est donc facile de définir une qualification en reprenant le libellé de la tâche correspondante. Par contre, on aura évidemment une explosion du nombre de qualifications à gérer si on choisit ce modèle pour s'assurer que seule, une personne "compétente" peut effectuer une opération.

La notion de compétence vise à traiter l'aptitude à réaliser une tâche à un niveau plus abstrait. On définira donc un nombre limité de compétences, et on décidera des compétences nécessaires pour réaliser une tâche. Il est bien évident que la définition des compétences devient dans ce cas un problème socio-technique

complexe qui justifie les efforts actuels entreprises dans ce sens.

Dans les entreprises avec lesquelles nous avons travaillé, trois concepts étaient en général définis :

- les *compétences* définissent tout d'abord des aptitudes nécessaires pour l'exercice d'un métier. Chaque compétence peut être détenues à un certain niveau, avec comme résultat un "profil de compétences" qui peut influencer sur un "niveau global" avec lequel un métier est déteu. On voit déjà apparaître ici des réserves de flexibilité importante : en utilisant un modèle "agrégé", on associera à une opération un ou plusieurs métiers (régleur, tourneur...), éventuellement avec un niveau (c'est en général autour de ce point que se situent les travaux cités dans les parties 2 et 3). On peut par contre être plus précis et spécifier la ou les compétences nécessaires pour effectuer une opération. Ces compétences pouvant être intégrées à plusieurs métiers, il n'est plus nécessaire de trouver un opérateur d'un métier donné, mais seulement un opérateur ayant la (ou les) compétences nécessaires, ce qui est susceptible de fournir des degrés de liberté bien plus importants.

- dans de nombreux secteurs (aéronautique en particulier), posséder un métier n'est qu'une condition nécessaire pour pouvoir effectuer une tâche (d'assemblage, de contrôle, etc.). Il faut de plus avoir été spécifiquement formé sur la tâche considérée, ce qui confère une *qualification* (exemple : assemblage du composant A sur le produit B). Cette qualification peut elle aussi faire l'objet d'un niveau, ce qui débouche sur une problématique classique de choix de politique de sur-qualification : considère-t-on qu'un opérateur détenant une qualification avec un niveau n peut être affecté à des opérations nécessitant cette qualification avec un niveau inférieur ?

Dans l'aéronautique, une qualification doit d'autre part être entretenue, ce qui implique qu'elle est utilisée avec une fréquence minimale... Dans tous les cas, elle doit être renouvelée à intervalle régulier, par une formation doublée d'un travail réel effectué sous la tutelle d'un compagnon jugé apte à transmettre cette qualification. Dans la pratique, la qualification peut être liée à une opération (assemblage...) mais aussi à l'utilisation d'une ressource. Dans le cas d'une des entreprises étudiées, fabriquant des enveloppes personnalisées, la qualification est par exemple liée à la conduite d'une machine effectuant successivement toutes les opérations d'élaboration du produit (découpe, impression, collage, pliage...). Dans ce cas, la qualification est liée au couple (machine, produit), l'opérateur pouvant ne pas être apte à piloter la machine lorsque des produits complexes sont élaborés...

- un certain nombre d'opérations jugées dangereuses ne peuvent être effectuées que par des personnes *habilitées* par des organismes extérieurs à l'entreprise. On peut par exemple citer la conduite de chariots, de nacelles, les habilitations électriques basses et hautes tension, etc.

Les habilitations concernent aussi des rôles spécifiques, comme secouriste du travail ou pompier volontaire. Nous verrons par la suite que cela n'est pas neutre par rapport à l'ordonnancement...

Enfin, dans l'une des entreprises avec lesquelles nous avons travaillé, les compétences étaient définies au niveau d'équipes de travail, et donc de manière collective. Bâtir une équipe est dans ce cas une étape préalable à tout travail d'ordonnancement des activités de l'équipe.

4.2. Prise en compte de la dynamique des compétences

Dans la plupart des travaux de recherche comme dans les logiciels de simulation et d'ordonnancement, les compétences/qualifications sont définies de manière "statique par rapport à l'horizon de simulation ou d'ordonnancement. Comme nous l'avons vu, il n'en est rien : une habilitation ou une qualification peut en effet arriver à échéance dans l'horizon de l'ordonnancement (même si un des objectifs d'un système de gestion des compétences est d'éviter une telle situation...). Dans ce cas, il est possible de réactiver la compétence par une formation et un travail supervisé, en général de courte durée. Du point de vue de l'ordonnancement, il est donc nécessaire de pouvoir créer dynamiquement des tâches de formation en fonction de dates de qualification disponibles dans les fiches du personnel, ce qui implique de gérer les ressources de formation correspondantes. Pour les qualifications, ces ressources sont en général internes, et appartiennent aussi à la production (ce sont des opérateurs détenant la qualification au niveau "expert" qui transmettent les compétences). Une requalification reviendra donc à créer dynamiquement une tâche de formation à laquelle seront associées des opérateurs (formateur et formé), puis à affecter le formateur à la supervision du travail du formé, en s'assurant que les tâches ayant fait l'objet de la formation sont immédiatement ou rapidement disponibles. Le formateur doit dans ce cas pouvoir superviser plusieurs opérateurs en formation, ou être lui même affecté de manière "allégée" sur des tâches de fabrication... Pour rendre cette supervision réaliste, on peut aller plus loin et imaginer que des vérifications soient faites sur les distances entre les postes de travail respectifs des personnes impliquées...

De manière inverse, un manque local de compétence peut être détecté dans l'horizon d'un ordonnancement, par exemple suite à une demande de congés exceptionnel d'un opérateur, qui n'est astreint à prévenir l'entreprise que deux jours à l'avance dans beaucoup de conventions collectives. Une manière de traiter ce problème est de refuser ce congé (ce qui demeure possible...), une autre de relancer un ordonnancement pour trouver une autre solution acceptable. Cette problématique peut déboucher sur des contraintes de type "sociales" : refuser plusieurs congés au même opérateur peut en effet être déboucher

sur des problèmes, et on peut imaginer une gestion moyen terme de l'historique de la réponse aux demandes de congés de chaque opérateur, et en particulier des opérateurs "critiques" qu'il importe de ne pas démotiver. Ce type de problème, peut exploré à notre connaissance, nous paraît susceptible de générer de nouvelles contraintes à prendre en compte.

De manière rare, une qualification peut être retirée suite à des rebuts répétés de production, ce qui pose un autre problème intéressant d'ordonnancement réactif.

4.3. Exemples de problèmes

Un certain nombre de problèmes sont ainsi amenés à se combiner dans des cas réels, en particulier, comme nous l'avons déjà dit, la gestion des compétences et l'annualisation, qui induit un lien difficile à gérer entre planification moyen terme et ordonnancement. Listons sans formalisme quelques contraintes, degrés de liberté et problèmes (souvent inter reliés) que l'ordonnancement ou les niveaux de planification immédiatement supérieurs peuvent être amenés à gérer :

Contraintes sur l'allocation de personnes aux équipes. Les opérateurs peuvent travailler en équipes. En équipe de nuit, au moins un secouriste et un pompier volontaire doivent être affectés à chaque équipe, qui doit de plus couvrir les besoins en compétences de la période de travail. La constitution d'une équipe, avec ses horaires de rotation et en tenant compte des compétences et qualifications requises, peut constituer dans ce cas un préalable à la résolution du problème d'ordonnancement, mais aussi constituer un degré de liberté si une difficulté particulière survient au niveau de l'ordonnancement. Ceci pose à notre avis le problème classique mais difficile de l'explication d'un résultat d'ordonnancement, permettant un *diagnostic* qui peut seul déboucher sur une *amélioration* amont (par exemple, une retouche sur la constitution de l'équipe).

Degrés de liberté sur l'évolution des compétences. En cas de surcharge ponctuelle, on peut former une personne ayant déjà eu la qualification (à plus long terme, la compétence) demandée. Il peut être tentant d'assimiler ce cas à la reconfiguration d'une machine, mais la "reconfiguration" est ici permanente (une fois qualifié sur une opération, on peut l'effectuer sans délai à chaque fois qu'elle revient). Par contre, la durée de formation consomme de la capacité de production (celle du formateur et celle du formé), mais aussi en général, un poste de travail. Une formation peut ainsi avoir pour résultat une surcharge d'une autre qualification détenue par la personne formée ou par le formateur... De même, réaliser une formation implique que l'on soit raisonnablement sûr qu'il y ait dans le futur assez de tâches à réaliser pour entretenir la qualification de tous ceux qui la détiennent. Dans tous les cas, il faut être capable d'évaluer la "rentabilité" d'une nouvelle qualification, ce qui conduit à penser que

l'ordonnancement ne peut être que multi-objectifs, avec des composantes classiques sur les délais et l'utilisation des ressources, mais aussi financières, et, pourquoi pas, sociales puisque l'on permet aux opérateurs de diversifier leur travail.

Un exemple de problème qui nous a été soumis par l'industrie pharmaceutique illustre ces derniers points. L'entreprise concernée fait du conditionnement de médicaments, et le PDG démarché les clients, et propose un devis basé sur une cadence qu'il estime de manière experte. Quand le contrat est signé, il fait passer la commande à la pharmacienne responsable de l'ordonnancement (ce poste ne peut légalement être occupé par un technicien). Celle-ci cherche à entretenir la polyvalence des personnels, mais les cadences négociées dans un marché concurrentiel ne peuvent en pratique être suivies que par les opérateurs expérimentés. L'entreprise va donc vers une hyperspécialisation qui va à l'encontre de ses objectifs...

Mode d'occupation des opérateurs. Le "mode" d'occupation des opérateurs dépend de leur type de qualification. Des problèmes différents découlent ainsi de compétences/qualifications liées aux machines et aux opérations. Ceci est particulièrement vrai dans le dernier cas pour les opérations de réglage qui impliquent la mobilité du régleur. Comme nous l'avons déjà dit, la surveillance d'opérateurs en formation, ou de plusieurs machines, implique par ailleurs de gérer un pourcentage d'occupation mais aussi éventuellement une distance à parcourir.

Calcul des temps opératoires. Dans certains cas, comme pour les assemblages complexes par exemple, le temps opératoire dépend en grande partie de l'expérience de l'opérateur, censé être traduite par le niveau de sa compétence. Notons que cette hypothèse (réaliste) peut avoir des conséquences sociales difficiles à maîtriser, puisque le temps imparti aux opérateurs décroît au fur et à mesure qu'ils montrent de l'efficacité, ce qui est logique mais peut être démotivant...

Dans l'aéronautique, l'assemblage se fait en général sur des postes de travail disposés en ligne. Ces lignes n'ont rien à voir avec des lignes d'assemblage automobiles, chaque opération de montage pouvant durer plusieurs heures, et les transports de pièces n'étant pas automatisés. Malgré cela, il est évident que l'allocation des opérateurs peut créer des déséquilibres (opérateur expert après un opérateur débutant par exemple) qui ne peuvent être réglés que par des en-cours importants. On est ici proche des problèmes d'équilibrage de ligne, avec une échelle des temps un peu différente.

4.4. Un exemple simplifié de mise en oeuvre

Comme premier pas vers une réelle planification orientée "compétences", nous avons complété le logiciel de gestion opérationnelle des compétences déjà développé en prototypant un module de planification

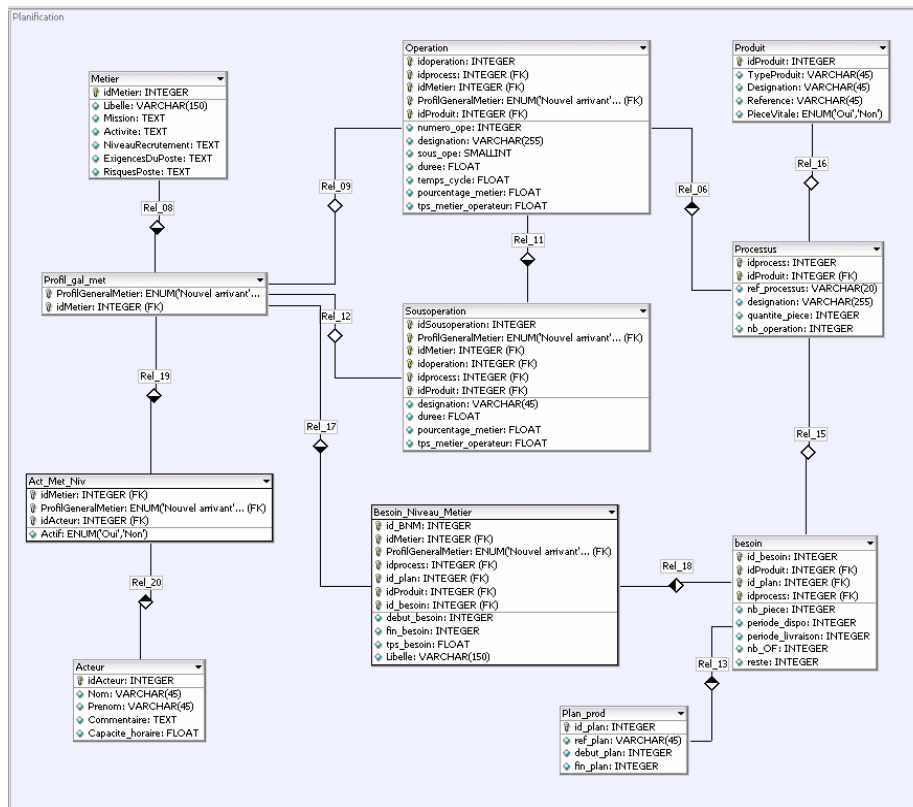


Figure 1. Modèle de données (sous DBDesigner)

moyen terme basé sur des hypothèses simplifiées (Wagner, 2006). Pour cela, le modèle de données du logiciel a été complété comme le montre la Figure 1. Un plan de production est fourni (bas de la figure) décrivant des besoins en produits réalisés suivant des "processus" (ce terme général a été retenu pour englober des gammes mais aussi des processus de production de services). Un processus est composé d'opérations (le thème "activité" aurait été plus correct) qui sont ici les phases de la gamme. Pour chaque opération est décrit le métier nécessaire et son niveau désiré : nous sommes donc ici en présence d'une gestion "macro" des compétences, simplifiée puisqu'un seul métier est considéré. L'opérateur peut n'être requis par l'opération qu'avec un certain pourcentage. Les acteurs détiennent les métiers avec un certain niveau (partie gauche de la figure). En fonction du plan de production, un "plan de charge en métiers" est extrait, recensant les différents besoins par période. Les métiers disponibles au cours du temps sont ensuite affichés afin de préparer dans un premier temps la gestion de la polyvalence des personnels (voir Figure 2). Une fois les personnes "affectées" à un de leurs métiers, il s'agira ensuite d'aborder l'affectation des personnes aux tâches, ici par période. On pourra ensuite réaliser dans ce cadre l'ordonnancement à l'intérieur d'une période. Même si ces divers choix sont très arbitraires, et ne visaient qu'à illustrer une démarche possible, on peut de cette manière découpler deux problèmes complexes, celui de la gestion de la polyvalence qui doit être d'abord traitée à moyen terme, est celui du respect des contraintes liées à l'utilisation des compétences, qui peut être abordé lors de

l'ordonnancement.

Dans l'exemple de la Figure 2, pour chaque période, les charges selon les différents niveaux du métier analysé ici (contrôleur) sont affichées (barres sombres de droite) et mises en regard de la capacité disponible (barres plus claires à gauche). Ce plan permet ainsi d'affecter les personnes à un de leurs métiers sur chaque période pour préparer l'ordonnancement. Nous sommes donc ici en présence d'un lien simplifié (et imparfait) entre moyen terme et court terme : il serait dans un second temps souhaitable de pouvoir remettre en cause cette pré-affectation en cas de problème au niveau de l'ordonnancement.

La Figure 3 montre le résultat d'un test d'allocation automatique d'un opérateur à ses différents métiers, par période. Cette allocation a été réalisée à l'aide de l'algorithme très simple suivant :

- extraire les besoins par niveau métier en fonction des tâches à effectuer,
- créer, pour chaque niveau métier, la liste d'acteurs ayant le niveau métier désiré (classer de l'acteur le moins polyvalent à l'acteur le plus polyvalent) ;
- affecter le premier acteur,
- enlever la capacité de l'acteur au temps du besoin,
- créer l'allocation,
- quand le besoin est nul, changer de niveau métier.

Cet exemple est bien sûr très simplifié par rapport aux diverses problématiques exprimées dans les parties précédentes, et nous travaillons actuellement à une version permettant d'une part de choisir le niveau de granularité de la gestion des compétences (métier ou

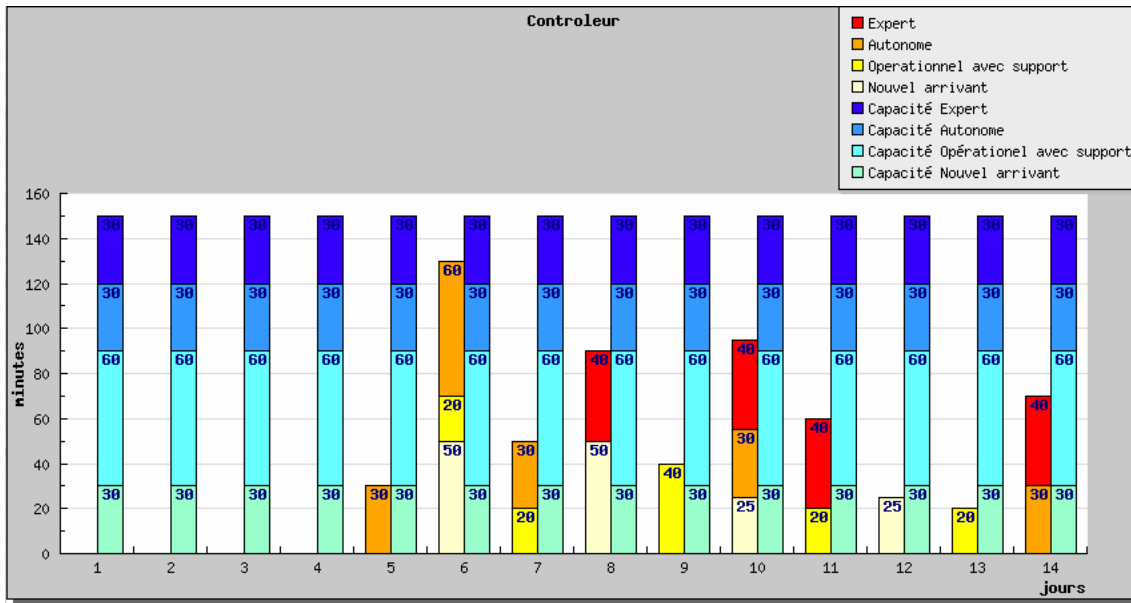


Figure 2. Exemple de plan de charge en compétences

compétence élémentaire), et intégrant d'autre part un module d'ordonnancement.

Répondre à tous les problèmes évoqués, très imbriqués, est bien sûr difficile, voire impossible dans un cas général. Beaucoup d'entre eux impliquent en effet la prise en compte de degrés de liberté dont la gestion nous paraît difficile à formaliser dans toute sa richesse. La voie de la planification interactive nous semble par conséquent préférable à une tentative risquée de prise en compte de toutes ces contraintes. Isoler les prises de décision principales pour les soumettre au planificateur, puis proposer un ordonnancement satisfaisant les contraintes listées nous paraît déjà une démarche ambitieuse.

5. CONCLUSION

Comme nous l'avons vu, le cadre général de la gestion des compétences pose de nombreux problèmes, mais est clairement porteur de possibilités nouvelles en terme de flexibilité d'entreprise. La gestion des nombreux degrés de liberté découlant de ce type d'approche, au niveau des polyvalence ou de l'évolution des compétences en particulier, ne pourra certainement pas se faire uniquement au niveau de l'ordonnancement ou de la simulation court terme. Par contre, de nombreuses contraintes liées à l'affectation, aux temps opératoires ou aux déplacements des personnes devront être impérativement prises en compte dans certaines entreprises pour lesquelles l'efficacité de la gestion opérationnelle des compétences est actuellement freinée par le manque de disponibilité d'outils adéquats sur le marché. En ce qui concerne les méthodes de résolution,

il paraît certain que la myopie inhérente aux algorithmes de listes principalement utilisés dans les logiciels d'ordonnancement et de simulation classiques ne donnera pas la visibilité nécessaire à une gestion efficace des compétences. Etant donnée la grande diversité des contraintes rencontrées dans les entreprises, nous avons pour notre part utilisé la propagation de contraintes dans plusieurs cas, avec des résultats satisfaisants, en particulier du fait de la flexibilité permise par la formalisation, l'ajout et le retrait de contraintes. Un

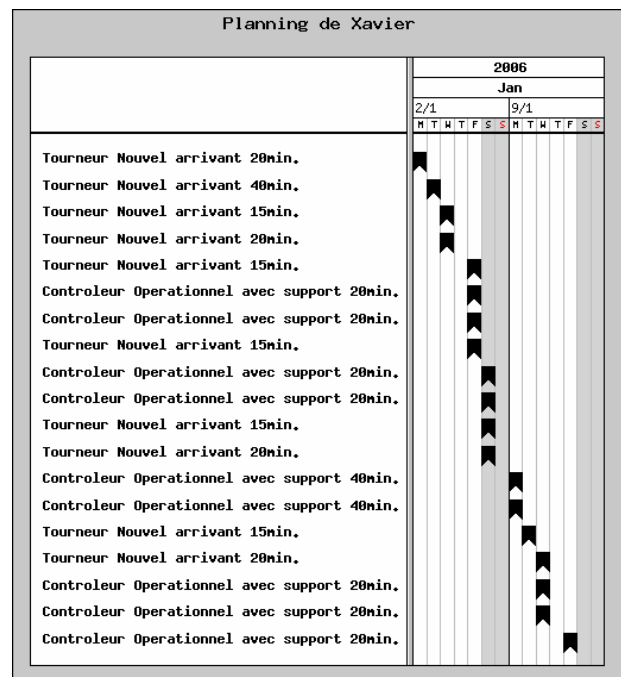


Figure 3. Exemple de résultat de planning d'un opérateur

travail important est néanmoins encore nécessaire au niveau des fonctions objectives utilisées, qui gagneraient certainement à prendre en compte des contraintes liées au confort ou à l'intérêt des opérateurs qui ne sont encore pas à notre connaissance abordées au niveau ordonnancement ou simulation.

6. REFERENCES

- AFNOR, 2002. *Norme Française FDX 50-183*, juillet 2002.
- Al Kazzaz, Y., 1989. *Sur l'ordonnancement d'atelier de fabrication : approche hiérarchisée et fonctionnement en boucle de pilotage*, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble
- Bard, J.F., Purnomo, H.W., 2005. A column generation-based approach to solve the preference scheduling problem for nurses with downgrading, *Socio-Economic Planning Sciences*, 39, p. 193-213.
- Becker, M., Grabot, B., Laring, J., Mummolo, Zülch, G., 2004. *Human centered simulation: analysis of state of the art, prospects and benefits*, Sim-Serv White paper, <http://www.sim-serv.com/>
- Bennour, M., Contribution à la modélisation et à l'affectation des ressources humaines dans les processus, Thèse de l'Université Montpellier II, 2004.
- Boucher, X., Bonjour, E., B. Grabot, Formalization and use of competencies for industrial performance optimisation: a survey, *Computers in Industry, Special Issue on Competence Management in Industrial Processes*, X. Boucher, E. Bonjour, N. Matta Eds, vol. 58, n°2, 2007, p. 98-117.
- Cheang, B., Li, H., Rodrigues, B., 2003. Nurse rostering problem - a bibliographic survey, *European Journal of Operational Research*, 151, p. 447-460.
- Cochran, J.K., Chu D.E., Chu, M.D., 1997. Optimal staffing for cyclically scheduled processes, *International Journal of Production Research*, 35(2), p. 3393-3403.
- ESP, 2007. <http://www.espssoftware.com>
- GPSA, 1996, SIPAPLUS V. 4.0: Manuel d'utilisation.
- Grabot, B., Bérard Ch., Nguyen, Ph., 1999. An Implementation of Man-Software Co-operative Scheduling: The IO software, *Production Planning and Control*, 10(3), p. 238-250.
- Grabot B., Letouzey, A., 2000. Short term manpower management in manufacturing systems: new requirements and DSS prototyping, *Computers in Industry*, 43, p. 11-29.
- Haït, A., Baptiste, P., Braumer, N., Finke G., 2005. Approches intégrées court terme, in "*Gestion de production et des ressources humaines*", Baptiste P, Giard V., Haït A., Soumus F. Eds, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, p. 139-175.
- Houe R., Grabot, B., Geneste, L., 2007. Competence Management for Business Integration, in "*Adaptive Technologies and Business Integration: Social, Managerial and Organizational Dimensions*", M.M. Cunha, G. Putnik, B.C. Cortes Eds, Idea Group reference, Hershey, USA, p. 104-117.
- Hung R., 1999. Scheduling a workforce under annualized hours, *International Journal of Production research*, 37(11), p. 2419-2427.
- Hwang N., Kogan, K., 2003. Dynamic approach to human resources planning for major professional companies with a peak-wise demand, *International Journal of Production Research*, 41(6), p.1255-1271.
- Kappix, 2007, <http://www.kappix.com>
- Franchini L., Caillaud E., Nguyen, Ph., G. Lacoste, G., 1998. Planning and scheduling skills: a case study in an agri-food industry, *IEEE SMC'98*, San Diego, 11-14 Octobre.
- Lee, T., 2004. The effects of workers with different capabilities on customer delay, *Computers and Operations Research*, 31, p. 359-381.
- Rostima, 2007. <http://www.rostima.com>
- Scholl A., Becker, C., 2006, State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 168(3), p. 666-693.
- Soumis, F., Pesant, G., Rousseau, L.M., 2005. Gestion des horaires et affectation du personnel, in "*Gestion de production et des ressources humaines*", Baptiste P, Giard V., Haït A., Soumus F. Eds, Presses Internationales Polytechnique, Montréal, p. 71-109.
- Wagner, J., 2006. *Développement d'un logiciel de planification des compétences*, Mémoire de Master Recherche, INP Toulouse.
- Zarifian, P., *Le modèle de la compétence. Trajectoire historique, enjeux actuels et propositions*, Editions Liaisons, Paris, 2001.
- Zülch G., Becker, M., 2007. Computer-supported competence management: Evolution of industrial processes as life cycles of organizations, *Computers in Industry*, 58(2), p. 143-150.
- Digiesi, S., Mossa, G., Mummolo, G., 2004. Learning and Tiredness Phenomena in Manual Operation Performed in Lean Automated Manufacturing Systems: a Reference Model. In Proceedings of the International IMS (Intelligent Manufacturing Systems) Forum 2004, Cernobbio (CO), Italie, Mai.