






## 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/20918>

### To cite this version:

Edi, Kouassi Hilaire  and Duquenne, Philippe  and Le Lann, Jean-Marc   
*Couplage règles heuristiques et algorithmes génétiques pour la résolution des problèmes d'affectation*. In: systèmes d'information, modélisation, optimisation et commande en Génie des Procédés : Le virtuel dans la réalité quotidienne, 11 October 2006 - 12 October 2006 (Toulouse, France).  
(Unpublished)

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

## COUPLAGE REGLES HEURISTIQUES ET ALGORITHMES GENETIQUES POUR LA RESOLUTION DES PROBLEMES D'AFFECTATION

K.H. EDI, P. DUQUENNE, J.M. LE LANN

INPT/ ENSIACET/LGC/PSI/GI

118 Route de Narbonne 31077 TOULOUSE Cedex 04

e-mail : Hilaire.Edi@ensiacet.fr Philippe.Duquenne@ensiacet.fr

JeanMarc.Lelann@ensiacet.fr; France

**Abstract.** In this communication, we propose a complete description of our methodological step which makes it possible to simulate various policies of human resource allocation regarding planning of industrial activities, by taking into account two aspects of flexibility which are: the modulation of the working time and the versatility. This last aspect gives the possibility for human resources to carry out various tasks with different competences that he or she acquired. In the problem we are facing, we have on the one hand, a program to be achieved for which we suppose known the tasks, their estimated scheduling as well as their workloads by task and competence. And in addition, a company in charge of this working programme, with presumedly multi-skilled actors working according to flexible schedules. For this problem we develop a coupling of genetic algorithm and a heuristic rule based on the notion of critical competences to bring out acceptable solutions for the realization of the activity program.

**Résumé.** Dans cette communication, nous proposons un descriptif de notre démarche méthodologique qui permet de simuler différentes politiques d'affectation des ressources humaines en matière de planification d'activités industrielles, en prenant en compte deux aspects de la flexibilité qui sont : la modulation du temps de travail et la polyvalence. Ce dernier aspect donne la possibilité que pourrait avoir une ressource humaine d'exécuter diverses tâches avec les différentes compétences qu'il a acquises. Dans ce problème nous avons d'une part, un programme à réaliser pour lequel nous supposons connus les tâches, leur ordonnancement prévisionnel ainsi que les charges de travail par tâche et par compétence. Et d'autre part, une entreprise chargée de mener à bien ce programme d'activités, et composée d'acteurs supposés polyvalents travaillant selon des horaires modulables. Pour ce problème nous développons un couplage d'algorithme génétique et de règle heuristique basées sur la criticité de compétence pour apporter des solutions acceptables pour la réalisation du programme.

**Mots Clés.** Flexibilité, polyvalence, planification, ordonnancement

## 1 INTRODUCTION

L'utilisation rationnelle des ressources humaines dans les entreprises lors de la planification des activités demeure un souci majeur<sup>1</sup>. Cependant, ce travail de planification se heurte à un double problème: d'une part, respecter des contraintes d'ordonnancement entre les tâches et d'autre part, 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<sup>2, 3, 4</sup>. Les facteurs de flexibilités généralement modélisés concernent l'aspect quantitatif<sup>5, 6, 7</sup>. Les travaux comme ceux de Loerch et Muckstadt<sup>8</sup> proposent une approche de planification et d'affectation des ressources complémentaires telles que le recours aux heures supplémentaires où la sous-traitance. Très peu de travaux se sont intéressés à la modélisation de la polyvalence comme un moyen de flexibilité<sup>9, 10</sup> qui pourtant permet d'absorber certaines charges en faisant appel aux acteurs internes. Dans nos travaux antérieurs<sup>11, 12</sup> Nous avons montré l'impact de la prise en compte de la polyvalence sur la charge globale. La suite de nos travaux nous a permis de faire une modélisation mathématique du problème et le choix d'une démarche de résolution<sup>13, 14</sup>. L'objet de ce travail est d'exposer une méthode de résolution par les algorithmes génétiques couplés à une règle heuristique basée sur la notion de « criticité de compétence ».

### 1.1. TERMINOLOGIE

Ces termes définis ci-dessous permettent de comprendre le vocabulaire utilisé dans ce travail.

**Activité:** Une activité est ici entendue au sens large, qu'elle relève d'une logique de projet (ensemble de tâches uniques et originales) ou qu'elle concerne des campagnes de fabrications (séries

d'opérations plus calibrées et consistant à l'exécution de gammes définies). Dans un cas comme dans l'autre, une activité est un ensemble de tâches ordonnancées ; ces tâches sont caractérisées par les compétences requises pour leur exécution, et par les charges de travail nécessaires dans chaque compétence

**Acteur** : Dans notre communication, nous appelons une ressource humaine un acteur.

**Efficacité** : concerne les acteurs, elle caractérise l'appréciation globale de l'aptitude pour un acteur de réaliser ou non des tâches requérant des compétences données, et quantifie l'effort correspondant.

**Charge** : concerne les tâches; nombre d'heures nécessaire dans une compétence pour effectuer une tâche. Ce nombre d'heures suppose une efficacité nominale dans la compétence considérée.

**Travail** : concerne les acteurs; nombre d'heures nécessaires à un acteur pour réaliser une charge sur une tâche. Contrairement à la charge, cette grandeur fait intervenir l'efficacité.

## 1.1. DEFINITION DE LA POLYVALENCE : IMPACT SUR LES CHARGES

Les études sur la réactivité industrielle face aux incertitudes des marchés identifient également la polyvalence comme une source de flexibilité; elle fait référence à un acteur donné et 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<sup>15</sup>  $k$ . Une efficacité égale à 1 identifie pour un acteur sa compétence première ou principale; une efficacité non nulle, des métiers sur lesquels il peut intervenir en appui des acteurs plus qualifiés<sup>16</sup>, 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 charge de  $w_{i,k}$  (heures « standard »), requiert implicitement le même travail lorsqu'elle est confiée à un acteur d'une efficacité nominale dans cette compétence; dans le cas où l'acteur concerné a une efficacité inférieure à l'efficacité

nominale, le travail  $\omega_{a,k}$  de cette activité sera de :  $\omega_{a,k} = \frac{w_{i,k}}{\theta_{a,k}}$

## 1.2. LA MODULATION D'HORAIRE

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, équipe par équipe, voire individu par individu.

Cette annualisation du temps de travail rend la disponibilité des ressources variable à plus d'un titre [17] (← pourquoi entre [] ? Tu as mis les autres en exposant ...) : 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.

## 2. DESCRIPTION DU MODELE

La modélisation mathématique de ce problème a fait l'objet d'une communication [14]. Dans ce travail, nous en donnons une description succincte avant de présenter notre méthode de résolution.

## 2.2. LES VARIABLES DE DECISION

L'objectif de notre travail est de pouvoir affecter les acteurs sur les différentes tâches d'une activité et de pouvoir élaborer l'ordonnancement définitif des tâches (durée et date de début) et le programme de travail de chaque acteur. De ce fait, pour répondre à ces interrogations, nous avons trois types de variables de décision :

- La variable d'affectation  $\sigma_{a,k,i}$  : cette variable, de type binaire, permet d'affecter un acteur (a) avec sa compétence (k) sur une tâche (i). Nous supposons que lorsqu'un acteur est affecté à une tâche avec une de ses compétences, il reste sur cette compétence pendant la durée que requiert la tâche. Cependant, cet acteur peut dans le même intervalle de temps être affecté à une autre tâche si sa disponibilité (capacité) le permet.

- La variable de durée des tâches compétence par compétence  $d_{i,k}$  : nous supposons dans notre démarche que la durée d'une tâche est une variable qui est comprise entre deux grandeurs connues  $D_i^{\min}$  et  $D_i^{\max}$  qui sont respectivement les durées minimale et maximale standard que peuvent prendre la tâche. C'est variable entière et le calcul de la durée totale  $d_i$  d'une tâche sera de :  $d_i = \max(d_{i,k})$  pour tout tâche i.

- La variable de date de début des tâches compétence par compétence  $dd_{i,k}$  : cette variable de décision détermine le choix des dates de début des tâches compétence par compétence. C'est une variable entière. Ainsi, pour toute tâche (i) sa date de début sera :  $dd_i = \text{Min}(dd_{i,k})$  en respectant les contraintes d'antériorités entre les tâches que nous définirons plus bas.

## 2.3. LES CONTRAINTES DU PROBLEME

Pour notre modèle, nous avons défini quatre groupes de contrainte :

- Les contraintes temporelles et d'antériorités : ces contraintes décrivent les liens d'antériorités qui peuvent exister entre les différentes tâches. Aussi, elles permettent de respecter les fenêtres de durée  $[D_i^{\min} ; D_i^{\max}]$  des tâches. Le respect de ces contraintes est important dans le déroulement normal de l'activité.

- Les contraintes de modulation d'horaire : ces contraintes sont liées à la réglementation du temps de travail en vigueur et permettent de limiter le travail des acteurs après les modifications apportées par l'annualisation du temps de travail.

- Les contraintes de compétence et de disponibilité : ces contraintes vérifient la disponibilité d'un acteur pour être affecté à une tâche sur une compétence. Vu que les acteurs sont polyvalents, cette contrainte de compétence limite les affectations aux acteurs dont les efficacités sont supérieures ou égales à une efficacité minimale  $\theta_{\min}$  définie par l'entreprise.

- Les contraintes d'affectation : un acteur sera affecté une et une seule fois sur une tâche avec une et une seule de ses compétences, ceci pour limiter la taille du problème. Cependant, nous autorisons l'affectation d'un acteur sur plusieurs tâches dans le même intervalle de temps (dans plusieurs compétences) tout en respectant sa capacité journalière disponible.

## 2.4. LA FONCTION OBJECTIF

Dans ce travail, la fonction objectif est une fonction monocritère de coût global de réalisation d'une activité industrielle. Cette fonction « coût global » est la somme de cinq sous fonctions f1 à f5 qui sont :

- f1 représente le coût du travail normal des acteurs, elle est calculée à partir des heures de travail des acteurs sans considérer les travaux supplémentaires.

- f2 représente le coût des travaux supplémentaire. C'est un coût majoré à partir du taux horaire standard.

- f3 est le coût d'immobilisation du résultat de l'activité. Elle prend en compte une suspension du travail entre deux phases d'activité, ou bien une fin du travail anticipée par rapport à la date contractuelle d'achèvement. On parlera de coût de stockage en production par exemple.

- f4 est le contraire de f3 et représente le coût d'éventuelles pénalités de retard par rapport à une date contractuelle. Dans notre modèle nous avons prévu une évolution du taux de pénalité en échantillonnant le temps de dépassement de durée égale.

- f5 est un coût fictif qui est associé à la flexibilité résiduelle des acteurs. Dans notre démarche d'affectation, nous autorisons le dépassement de la capacité moyenne de la période où l'activité est planifiée, mais nous pénaliserons ce type de dépassement en intégrant cette fonction fictive. Cette fonction sera positive dans le cas de dépassement et sera négative dans le cas contraire. Exemple pour une activité planifiée pour une semaine, et que la capacité moyenne pour un acteur et pour une semaine est par exemple de 39 heures, on autorise des dépassements dans la limite de la capacité maximale réglementaire mais en associant un coût à ces débordements qui pénalisent la flexibilité future de l'acteur.

### 3. METHODE DE RESOLUTION

La méthode de résolution est résumée sur la figure 1. Elle comprend deux grandes parties : l'étude de faisabilité et l'algorithme d'exploration.

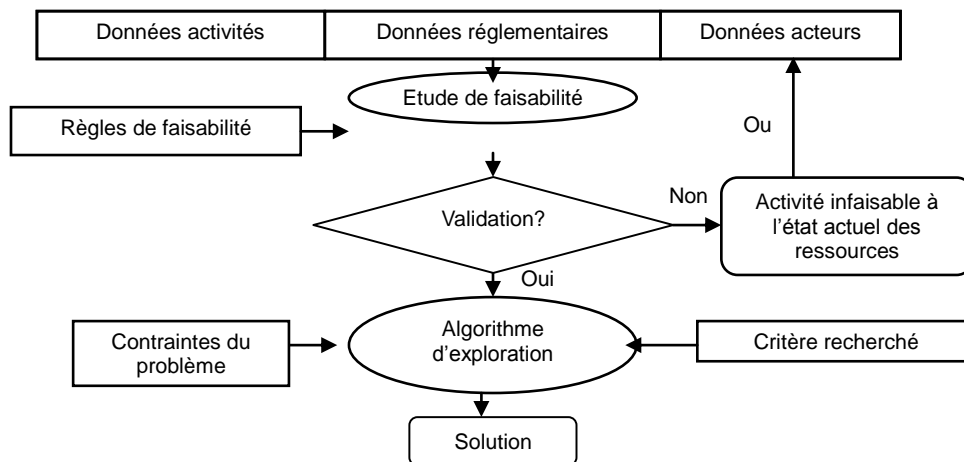


Figure 1. Schéma méthodologique de l'étude

#### 3.1. ETUDE DE LA FAISABILITE

Cette partie de la méthode est basée sur des relations d'ajustement de la charge de l'activité et de la capacité des acteurs. Elle se fait en deux niveaux successifs. Le premier concerne la comparaison globale de la charge de l'activité et la capacité des acteurs. Ce niveau de faisabilité se fait compétence par compétence. Ainsi, un acteur peut être pris en compte autant de fois qu'il a de compétences, ce qui veut dire que les compétences sont prises de manière indépendantes.

Le deuxième niveau de faisabilité est l'étude détaillée de la charge de l'activité et de la capacité des acteurs en fonction de l'unité de planification qui est le « jour » dans le cas de notre étude. Cela permet de vérifier l'adaptabilité de la capacité des acteurs sur la charge jour après jour (histogramme de charge et courbe de capacité).

Dans les deux cas, nous prenons en compte la réglementation sur la modulation du temps de travail et l'ordonnancement prévisionnel de l'activité. A l'issue de cette étape, soit nous continuons la résolution avec l'algorithme d'exploration que nous avons mis en place, soit nous déclarons l'activité infaisable en l'état actuel des ressources. Notons que cette conclusion de non faisabilité permet d'identifier les compétences insuffisantes et de quantifier les charges correspondantes.

#### 3.2. ALGORITHME D'EXPLORATION

Une méthode de résolution d'un problème d'affectation des ressources est caractérisée par trois paramètres, qui ne sont pas totalement indépendants : l'existence d'un modèle de représentation du problème, l'exactitude de la solution trouvée et le coût de la méthode de résolution. Cette dernière est **exacte** si elle garantit l'optimalité de la solution trouvée et donc la complétude de la résolution. Sinon elle sera dite approchée ou **heuristique**.

Pour le choix de la méthode d'exploration, nous nous appuyons sur la complexité du problème. Complexité qui se traduit par l'explosion du nombre de combinaisons qu'on peut opérer pour un acteur à être affecté à une tâche. Par exemple, pour un acteur avec deux compétences k1 et k2 et pour une tâche qui requiert ces deux compétences k1 et k2, le nombre de combinaisons

possibles sera de 4 (2x2). Ainsi, pour un nombre important d'acteurs (A), de compétences (K) et de tâches (I), la combinatoire devient très importante ( $A \times K \times I$ ). Ce qui est difficile à résoudre avec les méthodes exactes en temps polynomial où pseudo polynomial. Aussi, les durées des tâches qui sont des variables sont à déterminer compétence par compétence ainsi que les dates de début des tâches par compétence. En tenant compte de tous ces aspects, nous avons opté pour les méthodes approchées. Ces méthodes sont de deux types : nous avons les méthodes de trajectoire (la méthode de descente, la méthode du recuit simulé, ...) et les méthodes à base de population qui sont des méthodes évolutives (l'algorithme génétique, la recherche dispersée, l'optimisation par colonies de fourmis, ...). Pour donner plus de choix aux planificateurs nous avons opté pour les méthodes à base de population et en particulier les « algorithmes génétiques » dont la mise en œuvre est résumée sur la figure 2.

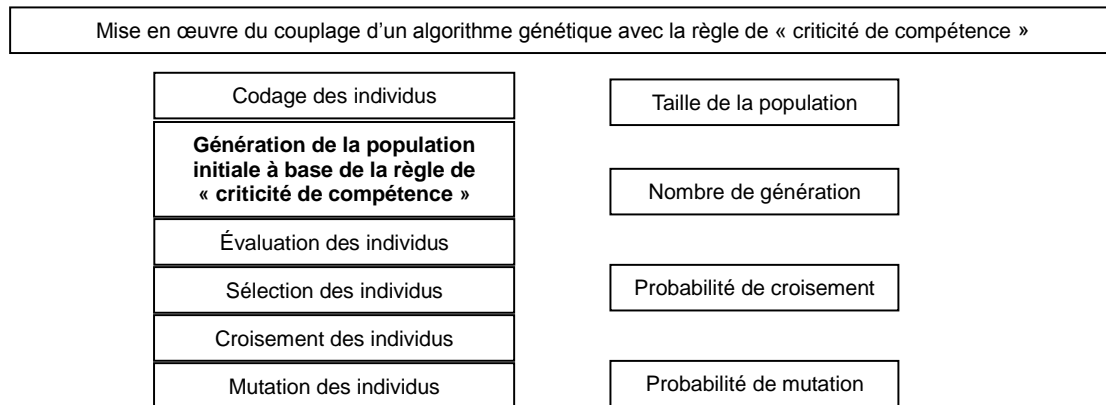


Figure 2. Procédures et paramètres de l'algorithme exploration

### 3.2.1. Présentation de la criticité de compétence

Lors du calcul des charges globales par compétence, nous déterminons, pour chacune des compétences, une disponibilité nécessaire pour que l'activité soit réalisable dans le délai imparti pour la compétence (k): ces disponibilités nécessaires nous aident à hiérarchiser l'ordre de traitement des compétences, sachant que les compétences les plus chargées seront les plus « rares » donc les plus critiques par rapport à la disponibilité des acteurs ayant cette compétence: il conviendra donc d'affecter ces acteurs disponibles – avant ceux qui représentent les compétences les moins « précieuses » dans l'activité.

Une fois établie l'ordre de traitement des compétences en fonction de cette « criticité » (qui représente une rareté relative), le choix des acteurs peut se faire selon deux critères, quantitatifs et qualitatifs :

- Critère quantitatif (intensité de l'affectation): ce critère consiste à jouer sur le nombre de ressources affectées à une tâche, tout d'abord pour équilibrer la charge requise et la durée ; ce problème est ensuite récurrent : d'une part, l'efficacité des ressources choisies (pas nécessairement nominale, pour des raisons de disponibilité) peut modifier cette durée ; d'autre part, les mêmes problèmes de disponibilité peuvent inciter le planificateur à une modification sensible de la durée (toujours dans l'intervalle  $[D_i^{\min}, \min(D_i + MT_i; D_i^{\max})]$  avec MT la marge totale de la tâche i ... ce qui a un impact sur l'effectif nécessaire. Notons au passage que du fait de la modulation d'horaire, les interactions entre intensité d'affectation et durée de la tâche ne sont pas linéaires.

- Critère qualitatif (efficacité des ressources): la prise en compte de l'efficacité des ressources consiste à affecter en priorité sur les tâches les acteurs disponibles d'efficacité maximale – de manière à minimiser à la fois le travail nécessaire (donc le coût) et l'impact sur la durée de la tâche. La contrainte de disponibilité des acteurs peut bien entendu entraîner l'affectation de ressources non optimales (recours à la polyvalence).

Le couplage de cette règle avec l'algorithme génétique se situe au niveau la génération de la population initiale, point de départ de tout algorithme génétique.

Cette règle de « criticité de compétence » nous permet de générer des individus initiaux pour les intégrer dans le processus de l'algorithme génétique afin de minimiser le temps de résolution. Elle nous donne des solutions acceptables dès le départ.

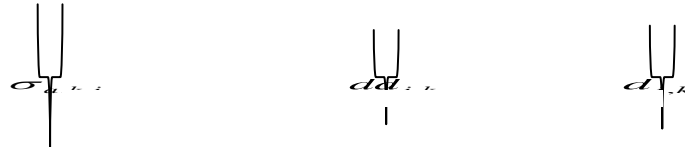
### 3.2.2. Description de l'algorithme génétique

Pour résoudre un problème avec les algorithmes génétiques il est nécessaire de mettre en œuvre la définition des procédures présentées sur la figure 2 ci-dessus avec les paramètres associés. Nous présentons dans cette description que les fonctions codage et croisement dont les spécifications sont différentes des algorithmes génétiques standards.

#### La fonction codage :

Cette fonction va permettre de représenter et d'identifier les individus lors des générations.

Un individu est constitué de trois variables de décision :  $\sigma_{a,k,i}$ ,  $dd_{i,k}$ ,  $d_{i,k}$  dont la disposition est représentée sur la figure 3.



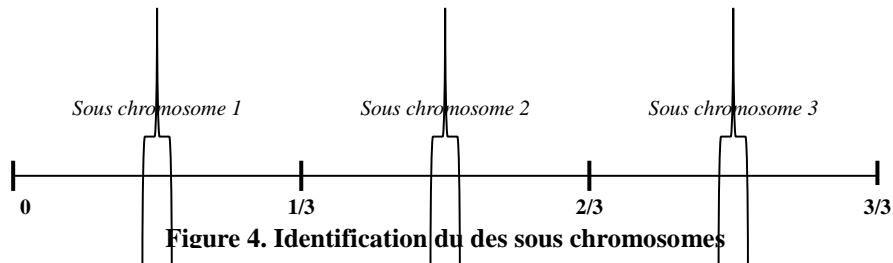
Chaque acteur et chaque tâche est représenté par le nombre de compétences qu'il a ou requiert.

Pour une meilleure manipulation des individus, nous décomposons notre chromosome que nous appellerons « *chromosome principal* » en trois sous-chromosomes. Chaque sous-chromosome fait référence à une variable de décision.

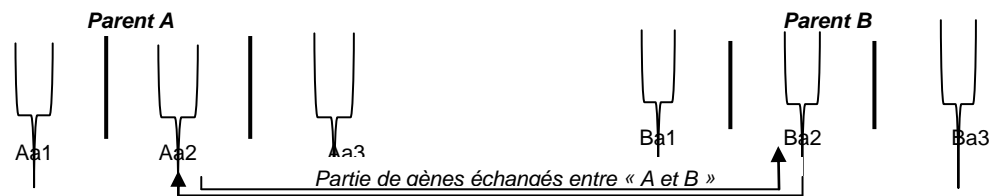
#### La procédure de croisement

La fonction croisement se déroule après une sélection des individus les mieux adaptés par la méthode de « *roulette biaisée de Goldberg*<sup>18</sup> ». Elle permet de sélectionner de manière stochastique les individus ayant la fonction d'adaptation (← à définir) la plus élevée, tout en n'interdisant pas la sélection.

Généralement, la procédure de croisement la plus souvent utilisée concerne la coupure en un ou en deux points. Vu que le chromosome principal est décomposé en trois sous-chromosomes qui sont différents par la constitution de leurs gènes (binaire et réel). Nous ne faisons pas une coupure à un ou deux points mais une combinaison des deux méthodes selon le sous-chromosome qui sera à l'origine du croisement. Pour connaître le sous-chromosome qui est à l'origine du croisement, nous faisons un tirage aléatoire un nombre réel compris entre 0 et 1, pour l'identification, voir la figure 4 ci-dessous :

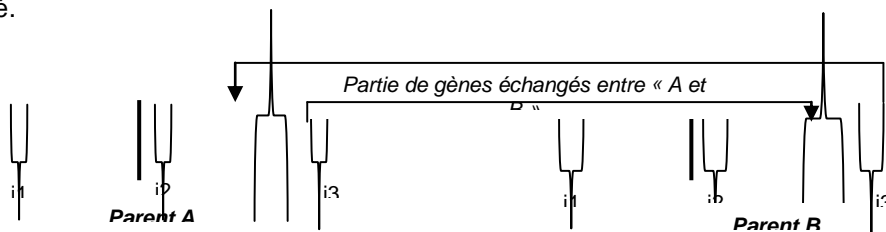


Si le **Sous chromosome 1** est tiré : coupure en deux points et concerne un seul acteur à la fois (figure 5). Les autres sous-chromosomes restent intacts.



**Figure 5. Principe de croisement en deux points**

Si le **Sous chromosomes 2 ou 3** est tiré : coupure en un point (figure 6) et pour identifier le point de coupure on tire aléatoirement un nombre entre 1 et le nombre total de gènes du sous-chromosome concerné.



**Figure 6. Principe de croisement en un point**

Cette méthodologie est en cours de test afin de présenter des résultats escomptés.

#### 4. CONCLUSION

L'affectation flexible des ressources dans la planification des activités industrielles se déroule sur deux phases essentielles. D'une part, l'adaptation de la charge à la capacité par période. Cette vérification qui se déroule dans la partie faisabilité permet de lisser la charge selon la capacité de l'entreprise. D'autre part, le choix des acteurs sur les différentes tâches. A ce niveau, nous utilisons la polyvalence qui fournit des ressources non optimales pour augmenter le nombre de choix que l'on peut opérer sur les acteurs internes de l'entreprise et absorber d'éventuelles surcharges. Le fait d'appliquer la règle de criticité de compétence pour générer la population initiale pour l'algorithme génétique est prometteuse en tenant en compte des exemples test que nous menons.

#### Références

- <sup>1</sup> P. Baptiste, V. Giard, A. Haït, F. Gestion de production et ressources humaines - Méthodes de planification dans les systèmes productifs. Presses Internationales Polytechnique, Montréal (Juin 2005).
- <sup>2</sup> Everaere. Management de la flexibilité, Editions Economica, Paris (1997).
- <sup>3</sup> Everaere, P. Perrier. La flexibilité dans les organisations industrielles. Revue AG 3 100, techniques de l'ingénieur (1999).
- <sup>4</sup> Erol. Prise en compte de la flexibilité dans la planification dynamique : Application à la flexibilité des ressources humaines. Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité : Génie Industriel (1999).
- <sup>5</sup> Inman. Scheduling preventive overtime: a new approach for the automotive industry. IIE Transactions, Vol 28, page 555-556 (1996).
- <sup>6</sup> H. Kane. Etude de l'ajustement de la capacité à la charge pour une gestion quantitative des ressources humaines en production. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (2001).
- <sup>7</sup> Hung. Scheduling a workforce under annualized hours, Int. J. of Production Research, vol. 37, n° 11, page 2419-2427 (1999).
- <sup>8</sup> Loerch. An approach to production planning and scheduling in cyclically scheduled manufacturing systems. International Journal of Production Research, Vol.32 N°4 P 851 – 871, 1994.
- <sup>9</sup> V. Giard, C. Triomphe. SIAD permettant la définition des services offerts au personnel d'un centre de production. Cahier de recherche du GREGOR, IAE de Paris (1996).
- <sup>10</sup> C. Hoong, S. Chong. Efficient Multi-skill Crew Rostering via Constrained Sets. Information Technology Institute Singapore China (1997).
- <sup>11</sup> Edi K. Hilaire, P. Duquenne, J.M. Le Lann. Prise en compte de l'efficacité dans la compétence des acteurs : caractéristique essentielle de la polyvalence. 6<sup>e</sup> congrès international de génie industriel, Besançon France (7- 10 juin 2005).
- <sup>12</sup> P. Duquenne, Edi K. Hilaire, J.M. Le Lann. Characterization and modelling of flexible resources allocation on industrial activities. 7th World Congress of Chemical Engineering, Glasgow Scotland (10-14 juillet 2005).
- <sup>13</sup> P. Duquenne, Edi K. Hilaire, J.M. Le Lann. Affectation flexible des ressources sur les activités industrielles : caractérisation et modélisation. 10<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de Génie des Procédés. Toulouse, France (20-22 septembre 2005).
- <sup>14</sup> Edi K. Hilaire, P. Duquenne. Intégration de la polyvalence et de la modulation d'horaire dans une approche d'affectation flexible de la ressource humaine. MOSIM'06 (6<sup>ième</sup> conférence francophone de Modélisation et Simulation, Rabat, Maroc (3-5 avril 2006).
- <sup>15</sup> M. Yoshimura, Y. Fujimi, K. Izui, S. Nishiwaki. Decision-making system for human resource support allocation in product development projects. Department of Precision Engineering, Kyoto University, 606-8501 Japan, March 2005
- <sup>16</sup> W.J.Hermosillo. Vers une meilleure prise en compte des ressources humaines dans les processus d'entreprise : connaissances, rôles et compétences. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse (2003)
- <sup>17</sup> E. Vidal. Stratégie de planification pour la flexibilité opérationnelle d'un atelier à cheminement unique. Thèse de doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Toulouse (février 2000)



<sup>18</sup> Goldberg D.E., Les algorithmes génétiques, les Editions Addison Wesley (1994).