

Risques liés à la planification des emplois du temps pour la prise en charge d'enfants handicapés

Yannick Kergosien LI Université de Tours, Christian Toinard LIFO INSA Centre Val de Loire

Résumé

Cet article étudie la difficulté de calculer les emplois du temps pour des établissements de prise en charge du handicap moteur. Le problème est issu d'un travail conjoint avec un Institut d'Education Motrice. Nous montrons que le calcul d'un emploi du temps par enfant sur l'année est un problème complexe puisqu'il faut prendre en compte la présence de l'enfant, les besoins rééducatifs, éducatifs et pédagogiques. De plus, les contraintes, sur les ressources en personnel et les moyens de transport, doivent être prises en considération. Nous proposons une modélisation du problème et montrons la difficulté à le résoudre de façon automatique. Une heuristique de résolution est proposée. Pour faire face au risque de ne pas aboutir à un résultat optimal, une solution de replis est envisagée permettant soit de modifier le résultat du calcul soit de définir un emploi du temps informatisé entièrement basé sur des interactions utilisateurs.

Introduction

La prise en charge d'enfants handicapés moteurs dans des établissements spécialisés présente des risques liés à la complexité du problème de planification des emplois du temps. Si les risques commencent à être appréhendés en termes d'usage de l'informatique pour la prise en charge du handicap [6], les risques liés à la planification des emplois du temps sont en général mal maîtrisés en raison de la complexité du problème. Cela conduit, les établissements pour handicapés moteurs à devoir planifier manuellement les emplois du temps avec un manque d'optimisation qui dégrade la qualité de la prise en charge des enfants. Des séances de rééducation étant souvent non réalisées par manque d'outils informatiques permettant de chercher une solution qui satisfait les besoins soit globalement sur l'année soit en réponse à un imprévu.

Nous présenterons dans cet article, le contexte d'un Institut d'Education Motrice typique en se focalisant sur la description de cette problématique de confection d'emplois du temps. Puis la modélisation des données, contraintes et variables du problème est décrite. Une première méthode de résolution est ensuite proposée afin de résoudre ce problème. Ce travail est mené dans le cadre du RTR Risques financé par la région Centre et impliquant

notamment les laboratoires LI et LIFO et des établissements spécialisés de prise en charge du handicap moteur.

Description de la problématique

La problématique consiste à concevoir des emplois du temps d'une semaine pour des enfants handicapés moteurs. Ces emplois du temps qui seront suivis pendant une année scolaire, sont spécifiques pour chaque enfant. Ils dépendent du type, de l'âge et du niveau de handicap de l'enfant. Chaque emploi du temps d'un enfant doit contenir un ensemble d'activités de rééducation (kinésithérapeute, orthophoniste, etc.) et éducatives (sports, cuisine, etc.) tout en respectant les activités de scolarisation prévues.

Les activités peuvent être individuelles ou collectives avec d'autres enfants de l'établissement. Ces dernières sont caractérisées par un nombre d'enfants minimum pour ouvrir ces activités et un nombre maximum d'enfants pouvant y participer. Certaines activités peuvent être fixées à l'avance dans l'emploi du temps et d'autres peuvent se dérouler à l'extérieur du centre. Dans ce dernier cas, il faut assurer le transport aller-retour du ou des enfants concernés, ce qui nécessite l'utilisation de véhicules pendant un temps dépendant du lieu de l'activité. Ces activités doivent être planifiées dans la semaine aux jours et aux horaires où l'enfant est présent. Une même activité peut être programmée plusieurs fois dans la semaine avec une fréquence donnée (par exemple, un jour sur deux) et/ou un délai minimum entre chaque séance (par exemple, deux jours minimum entre deux mêmes activités). Les durées des activités sont soit préétablies à l'avance et dépendent donc du type d'activité, soit elles sont variables, ce qui ajoute un niveau de décision supplémentaire. Dans ce cas, il faut choisir la durée prévue dans l'emploi du temps sachant qu'elle doit tout de même être comprise dans un intervalle minimum/maximum. Chaque activité nécessite une ou plusieurs ressources en nombre limité. Ces ressources, matérielles et humaines, sont contraintes par un horaire de disponibilité pour chaque jour de la semaine. Pour les activités collectives, certaines ressources sont aussi caractérisées par un ratio définissant la quantité de ressource nécessaire en fonction du nombre d'enfants. Par exemple, pour l'activité cuisine, il

faut un éducateur pour cinq enfants. En plus de ces ressources liées aux activités, d'autres ressources liées aux transports doivent être pris en compte. Il s'agit des différents types de véhicules. Chaque type de véhicule possède une capacité modulable en nombre de places assises et en nombre de fauteuils roulants. Enfin, l'objectif de l'établissement est de s'occuper au mieux de tous les enfants présents dans le centre et donc de leurs planifier un maximum d'activités.

Ce type de problème peut être résolu en utilisant les techniques d'optimisation de la Recherche Opérationnelle (RO). En effet, il existe plusieurs travaux de recherche autour de la RO et l'éducation académique [1]. Parmi ces travaux, la résolution automatique des problèmes de conception d'emplois du temps ont donné lieu à de nombreuses études [2]. Cependant, la plupart des problèmes traités sont plus simples et ne tiennent pas compte des nombreuses contraintes spécifiques à la prise en charge d'enfants handicapés, notamment les élèves ne suivent pas tous le même emploi du temps. De plus, ce problème de planification passe par la résolution d'un problème de transport pour handicapé qui n'est pas un problème facile à résoudre à lui seul [3]. Ce problème de planification d'activités peut être également associé aux problèmes d'ordonnement de projets à contraintes de ressources [4]. Ce type de problème consiste à affecter des activités, ou tâches, à des ressources. Ces tâches appartiennent à des projets et possèdent donc éventuellement des contraintes de précédences entre elles. Elles peuvent nécessiter une ou plusieurs ressources disponibles en quantité limitée. Une variante de ce problème, nommée multimode, peut permettre de modéliser les activités à durées variables [5]. Ce type de problème est donc assez similaire aux problèmes d'emploi du temps pour enfants handicapés si on associe chaque enfant en tant que type de ressource unique en indiquant que chaque activité nécessite l'enfant concerné et les ressources matérielles et humaines pour le déroulement de cette activité. Cependant, quelques distinctions font que ces deux problèmes ne sont pas équivalents. Notamment, la notion de projet n'existe pas dans les deux problèmes. Egalement, toutes les activités ne doivent pas être nécessairement planifiées ce qui n'est pas le cas dans un problème d'ordonnement de projets.

Ce problème de confection d'emploi du temps pour enfants handicapés est donc un problème combinatoire difficile à résoudre et qui, à notre connaissance, n'a pas été étudié dans la littérature. Même si des travaux de recherches sur la résolution

de problèmes de RO similaires à celui-ci peuvent être trouvés dans la littérature, adapter ces méthodes de résolution existantes ou en développer de nouvelles, reste donc un challenge scientifique.

Modélisation du problème

Le problème consiste donc à établir un planning/emploi du temps hebdomadaire d'activités pour enfants handicapés. Le pas de temps d'une journée est de 15 min (les dates de début et de fin des activités sont déterminées au quart-heure). Les données du problème étudié sont les suivantes :

- Soit n le nombre de planning à établir (un par enfant), un planning d'un enfant i est caractérisé par :
 - Un intervalle de présence pour chaque jour d de la semaine, $[e_i^d; l_i^d]$.
 - Une liste d'activités obligatoires dépendant du niveau de l'enfant. Chaque activité $j \in \{1..NbAO_{ij}\}$ est caractérisée par :
 - Un indice $indiceAO_{ij}$ parmi la liste de toutes les activités.
 - Un quota à planifier par semaine appelé $nbSAO_{ij}$
 - Un écart $e_{i,j}$ minimum en jours entre chaque activité « $indiceAO_{ij}$ »
 - Parmi ces $nbSAO_{ij}$ activités à planifier, certaines peuvent être fixées. Leur nombre est noté $nbAOF_{i,j}$ avec $Jour_{i,j}^1$ et $Heure_{i,j}^1$ le jour et l'heure respectif de la $l^{ième}$ activité fixée ($l \in \{1..nbAOF_{i,j}\}$).
 - Une liste d'activités optionnelles. Chaque activité $j \in \{1..NbAOP_{ij}\}$ est caractérisée par :
 - Un indice AOP_{ij}
- Soit m le nombre total d'activités proposées, chaque activité j est caractérisée par :
 - Une durée maximum D_j^{max} et une durée minimum D_j^{min} . Une activité j telle que $D_j^{max} = D_j^{min}$, a une durée fixée.
 - Un nombre maximum d'enfants NbE_j^{max} et un nombre minimum NbE_j^{min} pour planifier l'activité j (certaines activités étant collectives). Une activité individuelle est telle que $NbE_j^{max} = NbE_j^{min} = 1$.
 - Une durée de transport pour chaque début et fin d'activité DT_j . Cette

- valeur est nulle si l'activité se déroule dans l'établissement.
 - Une fenêtre horaire $[A_j^d; B_j^d]$ durant laquelle elle peut se dérouler, selon le jour d .
 - Plusieurs types de ressources $NbTR_j$ sont nécessaires au déroulement de l'activité. Chaque type de ressource $k \in \{1..NbTR_j\}$ est caractérisé par :
 - Un nombre de ressources nécessaires $NbR_{j,k}$.
 - Un ratio $Ra_{j,k}$ correspondant au nombre d'enfants pour la ressource k .
- Soit w le nombre total de ressources dans l'établissement, chaque ressource k est caractérisée par :
 - Un type Ty_k
 - Un intervalle de temps $[e_k^d; l_k^d]$ durant lequel la ressource est disponible le jour d .
- Soit $R_{i,k}$ la matrice binaire représentant la compatibilité des ressources envers les enfants (=1 si la ressource k est assignable à l'enfant i , 0 sinon).
- Soit $E_{i,i'}$ la matrice binaire représentant la compatibilité entre enfants (=1 si les enfants i et i' peuvent participer à la même activité, 0 sinon).
- Soit v le nombre de véhicules de transport, chaque véhicule x est caractérisé par :
 - Un nombre maximum de places assises $NbPA_x$.
 - Un nombre maximum de places pour fauteuils roulants $NbPFR_x$.
 - Un ratio de pertes de places assises par fauteuils roulants Ra_x pour les véhicules modulables. Ces véhicules sont utilisés pour effectuer les transports des activités extérieures nécessitant DT_j unité de temps. La mutualisation est possible du moment que les capacités des véhicules sont respectées.

Une solution à ce problème peut être représentée de la manière suivante :

- Une liste de n planning, avec pour chaque planning associé à un enfant i :
 - Une liste des cinq jours de la semaine avec pour chaque jour :
 - Une liste d'activités définie par :
 - Le type de l'activité
 - Une heure de début et de fin de l'activité

- Une liste des ressources affectées
- Le véhicule utilisé en cas de transport.

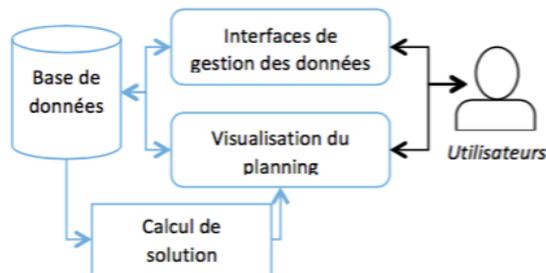
Pour être réalisable, une solution doit respecter un ensemble de contraintes. Ces contraintes sont intuitives et nombreuses :

- Chaque enfant ne peut réaliser qu'une activité à la fois à l'horaire où il est présent dans l'établissement. De même, chaque ressource ne peut être utilisée que pour une seule activité à la fois aux horaires de sa disponibilité.
- Pour chaque enfant, les $NbAO_i$ activités doivent être planifiées au quota $nbSAO_{i,j}$ nécessaire et en respectant les délais minimums entre une même activité. Les $nbAOF_{i,j}$ activités fixées doivent être placées aux jours et heures indiqués.
- Un enfant ne peut participer qu'aux $NbAO_i$ activités obligatoires ou aux $NbAOP_i$ activités optionnelles définies.
- Chaque activité planifiée dans l'une de ses fenêtres horaires, doit avoir : une durée dans l'intervalle $[D_j^{min}, D_j^{max}]$, un nombre d'enfants participants dans l'intervalle $[NbE_j^{min}, NbE_j^{max}]$ et les $NbTR_j$ types de ressources nécessaires pour son déroulement.
- La compatibilité entre enfants et enfant/ressource d'une même activité doit être respectée.
- Enfin, l'ensemble des transports par véhicules doit respecter la capacité totale des véhicules de l'établissement.

Etant donné ce problème combinatoire, le nombre de solutions réalisables est exponentiel même si ces nombreuses contraintes limitent l'espace de solution réalisable. L'objectif du centre est de prévoir un maximum d'activités pour les enfants en plus des activités obligatoires qui doivent être planifiées. Une solution réalisable de ce problème peut donc être évaluée par une fonction objectif à minimiser égale à la somme des temps d'inactivités de tous les enfants. Selon les données du problème, il peut être difficile de trouver une solution réalisable. Afin d'éviter de ne trouver aucune solution réalisable, la contrainte des activités obligatoires peut être non respectée. Cependant une solution où des activités obligatoires n'ont pas été planifiées pour certains enfants, sera fortement pénalisée dans la fonction objectif.

Outil d'aide à la décision

Afin d'aider le centre à établir un planning pour chaque enfant en utilisant au mieux les ressources disponibles, un outil d'aide à la décision est en train d'être développé. Le schéma suivant synthétise les 4 parties importantes de l'outil.



La base de données centralise toutes les informations nécessaires pour constituer les plannings et les sauvegarder. Le modèle conceptuel de données est donné en annexe. Des interfaces web de gestion des données permettent la saisie des données nécessaires pour l'élaboration des plannings. Une visualisation du planning sous forme de Gantt est également prévue. Une possibilité de modification des activités des plannings en mode glisser-relâcher (*drag-and-drop*) afin de pallier à un résultat incomplet (à l'extrême le planning d'un enfant peut être entièrement réalisé dans ce mode de secours). Enfin une fonction permettant d'établir automatiquement un planning initial est aussi proposée afin d'aider le centre dans cette tâche. La première version de cette fonction est une heuristique décrite dans la section suivante.

Heuristique

L'heuristique développée pour calculer une solution initiale est un algorithme de liste. Cet algorithme se décompose en deux phases. La première a pour objectif de trier une liste constituée de l'ensemble des activités obligatoires et optionnelles de tous les enfants. Le nombre d'élément de la liste est donc égal à $\sum_{i=1..n} (N_{BAO_i} + N_{BAOP_i})$. Puis, dans une deuxième phase, les activités sont ajoutées une à une aux plannings des enfants dans l'ordre de la liste et en respectant l'ensemble des contraintes.

L'idée principale de la liste est de placer les activités importantes (à planifier prioritairement) en début de la liste. Ainsi les critères de tri de la liste sont les suivants :

- Tout d'abord, les activités obligatoires de tous les enfants sont placées avant les activités optionnelles.
- Puis, les activités obligatoires sont triées selon leurs quotas à planifier, plus le nombre de répétition d'une activité est

important plus cette activité va être placée en début de liste.

- Ensuite les activités équivalentes sont triées selon un ratio entre la quantité de ressources disponibles et le nombre de ressources nécessaires (ordre croissant). L'idée est de planifier en priorité les activités pour les ressources les plus critiques (moins disponibles).
- Enfin, pour toutes les activités identiques, les activités sont triées par ordre D_j^{min} croissant puis selon la durée totale de disponibilité de l'enfant.

Après ce calcul, les activités sont planifiées dans les emplois du temps des enfants une à une telle que :

- Toutes les contraintes soient respectées.
- L'activité est placée au jour et à l'heure au plus tôt où toutes les ressources nécessaires à sa réalisation sont disponibles pendant D_j^{min} unité de temps.
- Pour une activité collective, l'enfant est en priorité ajouté à une même activité collective déjà planifiée sinon une nouvelle est créée et placée dans le planning.
- Toutes les activités sont d'abord planifiées pour une durée D_j^{min} et une post-optimisation augmente au maximum les durées des activités de chaque enfant.
- Une activité peut ne pas être planifiée si des ressources viennent à manquer où que l'enfant n'a plus de périodes de disponible.

Etant donné la simplicité de cette heuristique, une métaheuristique utilisant un codage de solution indirecte (la liste d'activités) est envisagée pour améliorer cette solution initiale. Plusieurs pistes sont envisagées : algorithme génétique, recherche à voisinage variable et/ou hybridation de celles-ci.

Conclusion

La solution décrite est en cours de développement, elle implique des étudiants de l'Université de Tours et de l'INSA Centre Val de Loire. Etant donné la complexité du problème d'optimisation, une solution manuelle est en cours de conception. Celle-ci doit permettre de modifier tous les emplois du temps par une procédure glisser-relâcher simple d'utilisation. Une expérimentation est prévue dans un Institut d'Education Motrice afin de valider l'approche. C'est le travail conjoint avec cet Institut de prise en charge du handicap moteur qui a permis de dégager cette problématique de recherche originale. Cette coopération avec un établissement spécialisé offre un terrain d'expérimentation

concernant la planification des soins. Le risque de résultats non optimaux peut conduire à une perte de qualité du suivi médical et éducatif. Pour l'instant ce risque est traité manuellement dans l'IEM. Ainsi, la proposition d'une méthode manuelle même offrant certains contrôles concernant les ressources en personnel offrira déjà un premier recours face au risque de ne pas aboutir dans le calcul automatisé des emplois du temps tout en laissant la maîtrise de la planification aux personnels.

Références

- [1] Johnes, J. (2015). Operational Research in education. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 683-696.
- [2] Burke, E. K., & Petrovic, S. (2002). Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*, 140(2), 266-280.
- [3] Toth, P., & Vigo, D. (1997). Heuristic algorithms for the handicapped persons

transportation problem. *Transportation Science*, 31(1), 60-71.

- [4] Neumann, K., Schwindt, C., & Zimmermann, J. (2012). *Project scheduling with time windows and scarce resources: temporal and resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions*. Springer Science & Business Media.
- [5] Sprecher, A. (2012). *Resource-constrained project scheduling: Exact methods for the multi-mode case* (Vol. 409). Springer Science & Business Media.
- [6] Antoine J.Y., Labat M.E., Lefevre A., Toinard C. (2014) *Vers une méthode de maîtrise des risques dans l'informatisation de l'aide au handicap*, Actes Environrisk'2014, Bourges, Cépaduès.

Annexe

