



# Évaluation de la méthode de traitement pour la résolution du problème de trans- port aérien proposé pour le DSS

*J. Berger  
A. Boukhtouta  
M. Gagnon  
RDDC Valcartier*

**Conditions de diffusion:** L'information contenue dans les présentes est la propriété de Sa Majesté et elle est communiquée en vue d'un usage à des fins d'information et d'évaluation seulement. Toute utilisation commerciale, y compris pour la fabrication, est interdite. La communication à des tiers de cette publication, ou de l'information qu'elle renferme, est interdite sans le consentement écrit préalable R et D pour la défense Canada.

**Defence R&D Canada – Valcartier**

Note Technique

DRDC Valcartier TN 2003-345

Juin 2004

Canada



# **Évaluation de la méthode de traitement pour la résolution du problème de transport aérien proposé pour le DSS**

Jean Berger  
Abdeslem Boukhtouta  
Michel Gagnon

RDDC Valcartier

## **RDDC Valcartier**

Note technique

DRDC Valcartier TN-2003-345

Juin 2004

Auteur

---

Jean Berger, Abdeslem Boukhtouta, Michel Gagnon

Approuvé par

---

Éloi Bossé

Chef de Section, Systèmes d'aides à la décision

© Her Majesty the Queen as represented by the Minister of National Defence, 2004

© Sa majesté la reine, représentée par le ministre de la Défense nationale, 2004

## **Abstract**

---

This technical note identifies the difficulties met in reading the mathematical model developed to solve the assignment problem of airlines known as the Line Tasking Problem (LTP). This problem is solved within a decision support system programmed by the GERAD. The technical note resumes the information request submitted in order to ease the analysis of the DSS documentation and the good understanding of the LTP modeling. It also underlines some limitations of the LTP mathematical modeling proposed.

## **Résumé**

---

Cette note technique décrit les difficultés rencontrées dans l'interprétation du modèle mathématique élaboré pour résoudre le problème d'assignation des lignes aériennes désigné par « Line Tasking Problem » (LTP). Ce problème est résolu par un système d'aide à la décision (DSS) mise au point par le GERAD. Cette note technique résume les requêtes d'information qui sont transmises au GERAD dans le but de faciliter l'analyse du document décrivant le DSS et la bonne compréhension de la modélisation du LTP. Elle souligne aussi quelques limitations de la modélisation mathématique du LTP développé.

This page intentionally left blank.

## Executive summary

---

A «Decision Scheduling System» ( DSS ) has been developed by the GERAD under a research and development program. The DSS' aim is to solve the airline assignment problem designated as the « Line Tasking Problem » (LTP). A review of the research report entitle « *Decision Support Systems for Simultaneous Aircraft And Crew Scheduling: The Line Tasking Problem at Air Mobility Forces* » written by Rancourt and Savard [1] describes, on the one hand, different operations conducted by the Canadian Air Mobility Force and, on the other hand, the LTP mathematical model. One observes firstly that the mathematical model proposed is incomplete. It is then hard to understand how the problem is solved and if the solution method can easily be modified in order to take into account new needs. Moreover, to be able to solve the LTP problem, the DSS required the Gencol software commercialized by the AdOpt firm. But, the licence cost of the software package makes the deployment of the DSS too expensive. A study has been undertaken by DRDC Valcartier to identify other feasible solution techniques to the LTP problem with existing and less expensive commercial software.

Jean Berger, Abdeslem Boukhtouta, Michel Gagnon. 2004. Évaluation de la méthode de traitement pour la résolution du problème de transport aérien proposé pour le DSS. TN 2003-345 DRDC Valcartier.

## Sommaire

---

Un «Decision Scheduling System» ( DSS ) a été mis au point par le GERAD dans le cadre d'un programme de recherche et développement. L'objectif du DSS est de résoudre le problème d'assignation des lignes aériennes désigné par « Line Tasking Problem » (LTP). Une révision du rapport de recherche intitulé « *Decision Support Systems for Simultaneous Aircraft And Crew Scheduling: The Line Tasking Problem at Air Mobility Forces* » rédigé par Rancourt et Savard [1] décrit, d'une part, les différentes opérations menées par la Force de mobilité aérienne du Canada (Air Mobility Forces) et, d'autre part, le modèle mathématique du LTP. On constate d'abord que la formulation du modèle mathématique du LTP est incomplète. Il est donc difficile de savoir comment le problème est résolu et si le modèle peut être facilement modifié pour tenir en compte de nouveaux besoins. De plus, pour résoudre le problème LTP, le DSS doit utiliser le logiciel Gencol commercialisé par la firme AdOpt. Mais, le coût d'acquisition de la licence du logiciel rend le déploiement du système DSS trop coûteux. L'étude entreprise par RDDC Valcartier consiste à vérifier s'il existe d'autres techniques de résolution du problème LTP à l'aide de logiciels commerciaux moins coûteux.

Jean Berger, Abdeslem Boukhtouta, Michel Gagnon. 2004. Évaluation de la méthode de traitement pour la résolution du problème de transport aérien proposé pour le DSS. DRDC Valcartier TN-2003-345.



## Table des matières

---

Abstract/Résumé.....	i
Executive summary.....	iii
Sommaire.....	iv
Table des matières.....	v
1. Introduction.....	1
2. Vers une approche alternative pour résoudre le LTP (traité par le DSS).....	3
3. Requêtes d'information.....	5
4. Limitations de la modélisation mathématique du LTP.....	6
5. Conclusion.....	7
6. Références.....	8
Liste de distribution.....	9

This page intentionally left blank.

# 1. Introduction

---

Les activités de transport aérien effectuées par la 8<sup>e</sup> Escadre à Trenton sont au cœur de la Force de mobilité aérienne du Canada. Différentes opérations sont effectuées par cette escadre: opérations stratégiques et tactiques de transport aérien, recherche et sauvetage et ravitaillement des avions en vol. L'assignation des lignes aériennes aux avions est un problème de planification des opérations stratégiques de transport aérien. Ces dernières opérations sont définies comme le transport du personnel, de l'équipement et de la marchandise entre les théâtres des opérations. Les opérations stratégiques de transport aérien sont réparties en deux catégories: opérations prévues et imprévues. Les opérations prévues sont planifiées à l'avance par la 1<sup>re</sup> Division aérienne du Canada (1 DAC) et elles sont intégrées aux programmes mensuels (MAP : Monthly Airlift Programme) et annuel des opérations de transport aérien. Les requêtes reliées aux opérations imprévues ne sont pas intégrées à ces programmes mais elles sont acheminées aux escadres pour être traitées en priorité. Les requêtes imprévues perturbent le MAP et les escadres se trouvent dans l'obligation d'apporter des changements hebdomadaires à ce dernier.

Un «Decision Scheduling System» ( DSS ) a été mis au point par le GERAD dans le cadre d'un programme de recherche et développement afin de résoudre le problème d'assignation des lignes aériennes désigné par « Line Tasking Problem » (LTP). Le document intitulé « *Decision Support Systems for Simultaneous Aircraft And Crew Scheduling: The Line Tasking Problem at Air Mobility Forces* » rédigé par Rancourt et Savard [1] décrit, d'une part, les différentes opérations menées par la Force de mobilité aérienne du Canada (Air Mobility Forces) et, d'autre part, le modèle mathématique du LTP.

Le LTP est une variante du problème "multiple depot vehicle scheduling problem (MDVSP)" [2]. La technique de génération de colonnes a été retenue pour résoudre le LTP. À cet effet, le système DSS utilise le résolveur Gencol<sup>1</sup> commercialisé par la société AdOpt issue du GERAD pour le résoudre le LTP soumis. Or, des coûts importants sont associés à l'acquisition du résolveur Gencol par la Force aérienne canadienne. Par conséquent, une étude a été entreprise par RDDC Valcartier afin d'examiner la possibilité de résoudre le LTP par une approche différente et d'utiliser d'autres techniques offertes, au besoin, par des logiciels commerciaux.

L'objectif de la présente note technique est d'identifier et de formuler:

- Les difficultés rencontrées lors de l'analyse du document [1] ;

---

<sup>1</sup> Solveur permettant la résolution des problèmes de grande taille par la méthode de génération de colonnes.

- Les points manquants qui faciliteront sûrement la compréhension de la modélisation du LTP et qui permettront de retracer complètement le modèle mathématique résolu par Gencol ;
- Des commentaires relatifs à la modélisation du LTP et une proposition sur l'approche qui pourrait être utilisée pour modéliser et résoudre la problématique de la Force de mobilité aérienne (8<sup>e</sup> Escadre).

Le document est organisé comme suit. Les difficultés rencontrées sur l'interprétation du modèle mathématique décrivant le LTP développé par le GERAD sont décrites au chapitre 2. Les requêtes d'information qui sont transmises au GERAD dans le but de faciliter l'analyse du document décrivant le DSS et la bonne compréhension de la modélisation du LTP sont présentées à la section 3. Quelques limitations de la modélisation mathématique du LTP mise au point par le groupe de recherche GERAD sont décrites à la section 4. La fait l'objet du chapitre 5.

## 2. Vers une approche alternative pour résoudre le LTP (traité par le DSS)

---

La Section des systèmes d'aide à la décision (SAD) de RDDC Valcartier a entrepris une étude sommaire afin de proposer une approche alternative à la résolution du LTP effectuée par le DSS. Les objectifs de l'étude effectuée se résument en deux points principaux.

La définition et la modélisation du LTP à résoudre avec une approche de flux pouvant être solutionné à l'aide d'un solveur commercial (par exemple, CPLEX de ILOG).

La comparaison des résultats de planification obtenus par cette autre approche à ceux générés par le DSS pour le même jeu de données.

Plusieurs tâches doivent être accomplies pour cerner ces objectifs. Dans un premier temps, il s'agit d'extraire et d'énumérer les contraintes du modèle mathématique du LTP. Dans un second temps, il s'agit d'obtenir les données d'opérations militaires de transport utilisées par le GERAD pour effectuer les différents tests justifiant les économies projetées et le développement du DSS.

Plusieurs difficultés ont entravé dès le départ le bon déroulement des premiers efforts entrepris pour l'accomplissement des objectifs de cette étude. D'une part, le modèle présenté dans le document [1] est incomplet. Plusieurs variables n'ont pas été modélisées et ne sont pas étayées dans le document [1]. D'autre part, l'intégration au DSS de certaines contraintes ainsi que leur traitement lors de la résolution du problème ne sont pas clairs et ne sont pas étayés dans le rapport de Rancourt et Savard [1]. Les contraintes suivantes ont été formellement modélisées :

Les « Generic requests », les fenêtres de temps et d'autres attributs ne sont pas précisées. On cite à titre d'exemple les contraintes de temps relatives au ravitaillement en vol.

Les missions d'entraînement;

Les missions explicites (fournies et précisées par l'utilisateur).

De plus, le rapport de Rancourt et Savard [1] ne présente pas explicitement la modélisation mathématique du problème LTP sous-jacent au DSS. On peut citer, à titre d'exemple, l'intégration des fenêtres de temps relatives aux équipages. Le seul modèle mathématique présenté est celui du « Set Partitioning Model » qui constitue le problème maître présenté à la section 8.4 du document [1]. Aucune description n'est donnée sur la décomposition du problème maître et le traitement des sous-problèmes.

Le « *Solution Proposer* » est au cœur du solveur du DSS. Par contre, aucune information n'est donnée concernant l'approche utilisée pour résoudre le problème formulé. Les techniques d'optimisation utilisées par le « *Solution Proposer* » pour

résoudre le LTP ne sont pas documentées ni abordées dans le document. On doit conclure que le *Solution Proposer* utilise la technique de génération de colonnes du résolveur Gencol pour la résolution du problème.

Le rapport de Rancourt et Savard [1] fournit la définition de tous les termes utilisés. Par contre, la formulation du modèle mathématique du problème est incomplète. C'est ainsi qu'aux pages 55 et 56 du document [1], on donne une formulation mathématique du LTP sans que toutes les variables utilisées soient définies. Ces variables sont :  $c_p^k$ ,  $c_o$ ,  $Z_o$ ,  $Y_h^u$ . Nous supposons que ces variables font partie de la formulation du problème maître. Si c'est le cas, l'explication de chaque variable devrait être fournie. De plus, la formulation explicite des sous-problèmes résolus n'est pas fournie dans le rapport de Rancourt et Savard [1].

On est amené à conclure aussi suite à l'étude du document [1] que le DSS permet le traitement de différentes fonctions objectifs. Par contre, il n'est pas explicite dans ce document [1] si le LTP a été modélisé et résolu comme un problème optimisant une seule fonction objectif ou plusieurs fonctions objectifs.

Il faut préciser que ces interrogations ne se limitent pas à ce que fait Gencol et aux stratégies de décomposition adoptées pour la résolution du LTP. L'objectif poursuivi est de connaître exactement le modèle mathématique que Gencol résout dans le DSS et d'évaluer si la modélisation mathématique couvre tous les aspects du LTP. Ces informations sont aussi nécessaires si nous voulons apporter des améliorations dans le futur au modèle pour tenir compte d'autres aspects du problème comme les vols imprévus («non-forecast airlift»).

Une description des différentes étapes, sous forme de diagrammes de traitement, donnant la séquence des différents problèmes qui sont traités par le DSS pour aboutir à un plan de vol optimal faciliterait sûrement la compréhension du rapport de Rancourt et Savard [1]. Ainsi, ces diagrammes pourraient nous indiquer à quel niveau les fenêtres de temps concernant les équipages interviennent lors de la préparation de la planification par le DSS car ces dernières ne sont pas intégrées à priori à la modélisation mathématique du LTP.

### 3.Requêtes d'information

---

L'analyse du LTP résolu par le DSS proposé nécessite une analyse détaillée du modèle mathématique décrit dans le document [1]. Plusieurs difficultés ont été rencontrées pour extraire et comprendre le modèle mathématique abordé dans le document [1] et du LTP traité par le DSS.

On devrait pouvoir obtenir, pour chaque avion, son réseau, la description des ressources utilisées sur chaque nœud, ainsi que les fenêtres de temps associés à ces nœuds, et la consommation de ressources au niveau des arcs du réseau.

Il est aussi nécessaire d'indiquer comment les contraintes suivantes sont effectivement modélisées :

Les « Generic requests », les fenêtres de temps et d'autres attributs qui ne sont pas précisées. On cite à titre d'exemple les contraintes de temps relatives au ravitaillement en vol;

Les missions d'entraînement;

Les missions explicites (fournies et précisées par l'utilisateur).

Il faut donc obtenir une formulation complète du modèle mathématique du LTP qui est effectivement résolu par le DSS. Cette formulation doit faire ressortir toutes les ressources utilisées avec leur fenêtre au niveau de chaque nœud. Même si ces dernières semblent être définies aux pages 46 et 47 du document [1], elles n'apparaissent pas clairement dans la formulation mathématique du problème.

En résumé, pour compléter cette analyse, le GERAD devrait donc fournir :

Un document ou une mise à jour du document [1] fournissant la description complète de la modélisation du LTP résolu par le DSS.

La description du fichier généré à partir des données (d'un scénario) qui est soumis à Gencol pour être résolu ainsi que le jeu (dans une forme compréhensible) de données militaires utilisé pour valider le DSS.

## 4. Limitations de la modélisation mathématique du LTP

---

Le DSS proposé par le GERAD traite de façon ad hoc le problème des opérations de transport aérien imprévues. La planification déjà établie contenue au MAP doit être revue chaque fois qu'il y a une requête de vol imprévu en lançant une nouvelle optimisation. Il s'agit d'une planification avec un horizon roulant effectuée par ré-optimisation. Donc, le DSS doit être utilisé à deux niveaux: par 1 CAD pour établir dans une première étape le MAP et dans une deuxième étape par les escadres pour faire une « re-planification » du programme de vols chaque fois qu'il y a une requête imprévue. En général, trois (3) escadres participent à cette planification.

Une telle planification faite par le DSS ne garantit pas que le premier plan déjà établi (c.-à-d. le MAP) soit considéré comme « optimal » par suite de la replanification.

Une nouvelle approche de solution envisageable pour résoudre le LTP est de tenir compte des requêtes imprévues dès le processus de planification initial du MAP. Le problème sous-jacent soumis au DSS serait donc traité de façon stochastique et des plans de contingence pourraient être obtenus. Cette façon de faire serait cependant différente du mode de fonctionnement des opérations actuelles.

D'autre part, l'exploitation du DSS nécessite l'utilisation d'une copie du logiciel DSS pour chacune des escadres, en plus de 1 CAD. Ceci implique que plusieurs copies du DSS devraient être achetées. On pourrait contourner ce dernier inconvénient en centralisant l'utilisation du DSS uniquement au niveau de 1 CAD. Ainsi, cette dernière se chargerait de maintenir le MAP et de replanifier le MAP en cas de requêtes imprévues. Cependant, il faut signaler que cette manière de procéder est différente de ce qui se fait actuellement puisque la replanification se fait au niveau des escadres.

Il existe un logiciel « CPLEX toolbox » commercialisé par ILOG qui traite le problème de la génération de colonnes et qui pourrait être utilisé comme alternative à Gencol. Le prix de ce dernier logiciel est plus abordable. Par contre, il ne faut pas perdre de vue que l'utilisation du solveur CPLEX dans une perspective de génération de colonnes est une approche qui nécessite un nouvel effort de programmation pour intégrer la résolution du LTP à un système d'aide à la décision.

On remarque enfin que le système DSS n'a pas de lien avec les applications existantes. Il y aurait lieu de prévoir les possibilités d'interaction avec un système de gestion de l'entretien des avions et celui de l'ordonnancement et la gestion de la disponibilité des équipages.



## 5. Conclusion

---

Nous pouvons confirmer qu'il existe des techniques de résolution du problème LTP à des coûts d'exploitation inférieurs à ceux envisagés avec le générateur de colonnes Gencol mis de l'avant par le GERAD. À cet effet, nous avons mentionné le logiciel CPLEX commercialisé par ILOG.

La proposition d'une méthode stochastique comme approche alternative afin de résoudre une variante plus complète (dynamique) du LTP répond aussi à l'un des objectifs de l'étude entreprise par RDDC Valcartier. L'analyse comparative de cette approche en comparaison à celle mise de l'avant selon le mode d'exploitation du DSS proposé par le GERAD permettra d'identifier les avantages de chacune.

## 6. Références

---

[1] Eric Rancourt and Gilles Savard, "Decision Support Systems for Simultaneous Aircraft and Crew Scheduling, The line Tasking Problem at Air Mobility Forces", September, 10, 2001.

[2] M. Dell'Amico, M. Fischetti and P. Toth, "Heuristic Algorithms for the multiple depot vehicle scheduling problem", Management Science, 39:115-125, 1993.

## Liste de distribution

---

### **DISTRIBUTION INTERNE DRDC Valcartier TN 2003-345**

- 1 - Directeur général
- 3 – Bibliothèque des documents
- 1 – Chef, Systèmes d'aide à la décision
- 1 - Lcol C. Beaumont
- 1 - Maj M. Clairoux
- 1 - Maj B. Deschênes
- 1 - M. Bélanger
- 1 - J. Berger (auteur)
- 1 - A. Boukhtouta (auteur)
- 1 - M. Gagnon (auteur)
- 1 - A. Guitouni
- 1 - J. C. St-Jacques
- 1 - P. Fournier, DGRO
- 1 – RDDC Valcartier, SIC2FA

**DISTRIBUTION EXTERNE**  
**DRDC Valcartier TN 2003-345**

- 1 - QGDN, Directeur – Emploi de la force (Air) 3
- 1 - QGDN, Directeur - Besoins aérospatiaux 2-4
- 1 - Directeur - Science et technologie (Air)
- 1 - Lcol Côté  
J4 Doctrine logistique  
J4 Matériel/Directeur général de la logistique  
QGDN  
Édifice MGen George R Pearkes  
Ottawa ON K1A 0K1  
CA
- 1 - M. Bob Dickinson  
Directeur – Recherche opérationnelle (Interarmées)  
QGDN  
Édifice MGen G.R. Pearkes  
101, Colonel By Drive  
Ottawa, ON K1A 0K2  
CA
- 1 - M. Charles Hunter  
Centre de recherche opérationnelle et d'analyse  
(CROA)  
1ère Division aérienne du Canada/Quartier général de la  
Région canadienne du NORAD  
C.P. 17000, Succ. forces  
Winnipeg, MB R3J 3Y5  
CA
- 1 - DGRO/Bibliothèque DRO  
QGDN  
MGen G.R. Pearkes Bldg.  
101, Colonel By Drive  
Ottawa, ON K1A 0K2  
CA

**FICHE DE CONTRÔLE DU DOCUMENT**

<b>1. PROVENANCE</b> (le nom et l'adresse) RDDC Valcartier	<b>2. COTE DE SÉCURITÉ</b> (y compris les notices d'avertissement, s'il y a lieu) Sans classification	
<b>3. TITRE</b> (Indiquer la cote de sécurité au moyen de l'abréviation (S, C, R ou U) mise entre parenthèses, immédiatement après le titre.) Évaluation de la méthode de traitement pour la résolution du problème de transport aérien proposé pour le DSS (U)		
<b>4. AUTEURS</b> (Nom de famille, prénom et initiales. Indiquer les grades militaires, ex.: Bleau, Maj. Louis E.) J. Berger, A. Boukhtoua et M. Gagnon		
<b>5. DATE DE PUBLICATION DU DOCUMENT</b> (mois et année) juin 2004	<b>6a. NOMBRE DE PAGES</b> 16	<b>6b. NOMBRE DE REFERENCES</b> 11
<b>7. DESCRIPTION DU DOCUMENT</b> (La catégorie du document, par exemple rapport, note technique ou memorandum. Indiquer les dates lorsque le rapport couvre une période définie.) Note technique		
<b>8. PARRAIN</b> (le nom et l'adresse)		
<b>9a. NUMÉRO DU PROJET OU DE LA SUBVENTION</b> (Spécifier si c'est un projet ou une subvention)	<b>9b. NUMÉRO DE CONTRAT</b>	
<b>10a. NUMÉRO DU DOCUMENT DE L'ORGANISME EXPÉDITEUR</b> TN 2003-345	<b>10b. AUTRES NUMÉROS DU DOCUMENT</b>  N/A	
<b>11. ACCÈS AU DOCUMENT</b> (Toutes les restrictions concernant une diffusion plus ample du document, autres que celles inhérentes à la cote de sécurité.) <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion illimitée <input type="checkbox"/> Diffusion limitée aux entrepreneurs des pays suivants (spécifier) <input type="checkbox"/> Diffusion limitée aux entrepreneurs canadiens (avec une justification) <input type="checkbox"/> Diffusion limitée aux organismes gouvernementaux (avec une justification) <input type="checkbox"/> Diffusion limitée aux ministères de la Défense <input type="checkbox"/> Autres (préciser)		
<b>12. ANNONCE DU DOCUMENT</b> (Toutes les restrictions à l'annonce bibliographique de ce document. Cela correspond, en principe, aux données d'accès au document (11). Lorsqu'une diffusion supplémentaire (à d'autres organismes que ceux précisés à la case 11) est possible, on pourra élargir le cercle de diffusion de l'annonce.)		

SANS CLASSIFICATION

COTE DE LA SÉCURITÉ DE LA FORMULE  
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)

13. SOMMAIRE (Un résumé clair et concis du document. Les renseignements peuvent aussi figurer ailleurs dans le document. Il est souhaitable que le sommaire des documents classifiés soit non classifié. Il faut inscrire au commencement de chaque paragraphe du sommaire la cote de sécurité applicable aux renseignements qui s'y trouvent, à moins que le document lui-même soit non classifié. Se servir des lettres suivantes: (S), (C), (R) ou (U). Il n'est pas nécessaire de fournir ici des sommaires dans les deux langues officielles à moins que le document soit bilingue.)

This technical note identifies the difficulties met in reading the mathematical model developed to solve the assignment problem of airlines known as the Line Tasking Problem (LTP). This problem is solved within a decision support system programmed by the GERAD. The technical note resumes the information request submitted in order to ease the analysis of the DSS documentation and the good understanding of the LTP modeling. It also underlines some limitations of the LTP mathematical modeling proposed.

14. MOTS-CLÉS, DESCRIPTEURS OU RENSEIGNEMENTS SPÉCIAUX (Expressions ou mots significatifs du point de vue technique, qui caractérisent un document et peuvent aider à le cataloguer. Il faut choisir des termes qui n'exigent pas de cote de sécurité. Des renseignements tels que le modèle de l'équipement, la marque de fabrique, le nom de code du projet militaire, la situation géographique, peuvent servir de mots-clés. Si possible, on doit choisir des mots-clés d'un thésaurus, par exemple le "Thesaurus of Engineering and Scientific Terms (TESTS)". Nommer ce thésaurus. Si l'on ne peut pas trouver de termes non classifiés, il faut indiquer la classification de chaque terme comme on le fait avec le titre.)

Line tasking problem, scheduling, mathematical programming, column generation, Operations Research

SANS CLASSIFICATION

COTE DE SÉCURITÉ DE LA FORMULE  
(plus haut niveau du titre, du résumé ou des mots-clefs)



## **Defence R&D Canada**

Canada's leader in defence  
and national security R&D

## **R & D pour la défense Canada**

Chef de file au Canada en R & D  
pour la défense et la sécurité nationale



[WWW.drdc-rddc.gc.ca](http://WWW.drdc-rddc.gc.ca)