

Publié par : Faculté des sciences de l'administration
Published by : Université Laval
Publicación de la : Québec (Québec) Canada G1K 7P4
Tél. Ph. Tel. : (418) 656-3644
Fax : (418) 656-7047

Édition électronique : Aline Guimont
Electronic publishing : Vice-décanat - Recherche et partenariats
Edición electrónica : Faculté des sciences de l'administration

Disponible sur Internet : http://rd.fsa.ulaval.ca/ctr_doc/default.asp
Available on Internet rd@fsa.ulaval.ca
Disponible por Internet :

DOCUMENT DE TRAVAIL 2004-011

LA PLANIFICATION DES TIRS SUR UN SITE D'ESSAIS BALISTIQUES

Patrick FORGET
Fayez F. BOCTOR

Version originale : ISBN – 2-89524-201-1
Original manuscript :
Version original :

Série électronique mise à jour : 03-2004
On-line publication updated :
Seria electrónica, puesta al día

LA PLANIFICATION DES TIRS SUR UN SITE D'ESSAIS BALISTIQUES

Patrick Forget et Fayez Boctor

Centre de recherche sur la technologie de l'organisation réseau (CENTOR)
Faculté des sciences de l'administration
Université Laval

La planification des tirs sur un site d'essais balistiques est une activité logistique ayant un impact économique majeur sur la chaîne d'approvisionnement en munitions. Une seule entreprise privée au Canada opère un site d'essais balistiques. Une approche heuristique a été élaborée pour effectuer l'ordonnancement des essais balistiques. Cette approche est la base d'un système de gestion informatisée qui est maintenant utilisé quotidiennement pour la planification des tirs.

Les munitions et les essais

La fabrication de munitions requiert toujours un contrôle de qualité. Généralement, les produits sont fabriqués par lots de quantités spécifiques. Sur chacun des lots, un échantillon déterminé est sélectionné afin d'être testé. Ces tests d'homologation permettent d'assurer la conformité des produits aux exigences et spécifications du client. Les munitions sont ensuite livrées chez le client et entreposées dans les dépôts de munitions. Il arrive aussi que la munition soit testée de nouveau par le client après un certain temps d'entreposage afin de vérifier que tout est toujours conforme car la fiabilité d'un lot peut influencer la réussite d'une mission (Torkelson, 1997).

La planification des tirs sur un site d'essais balistiques est une tâche complexe. La coordination de toutes les activités doit être bien faite afin d'optimiser l'utilisation des ressources. Le processus logistique implique l'ordonnancement de plusieurs types de ressources limitées ayant des spécifications ou compétences propres.

Les essais à réaliser varient selon le type de munitions impliquées. Il y a deux grandes catégories d'essais à réaliser : les tests d'homologation et les tests de R&D. Les tests d'homologation font partie de la routine et sont généralement planifiés à l'avance en fonction du plan de production des usines de fabrication. Les tests de R&D sont parfois planifiés à l'avance mais peuvent également être demandés de façon ponctuelle s'il y a des particularités à vérifier en cours de fabrication.

Plusieurs caractéristiques de la munition peuvent être vérifiées. On retrouve, entre autres, le fonctionnement de l'amorce, la pression dans la douille, la résistance de la douille, la vitesse du projectile à la sortie du canon, la trajectoire du projectile, la précision sur une cible située à quelques centaines de mètres, l'explosion à l'impact, la portée et la dispersion d'un lot de munitions.

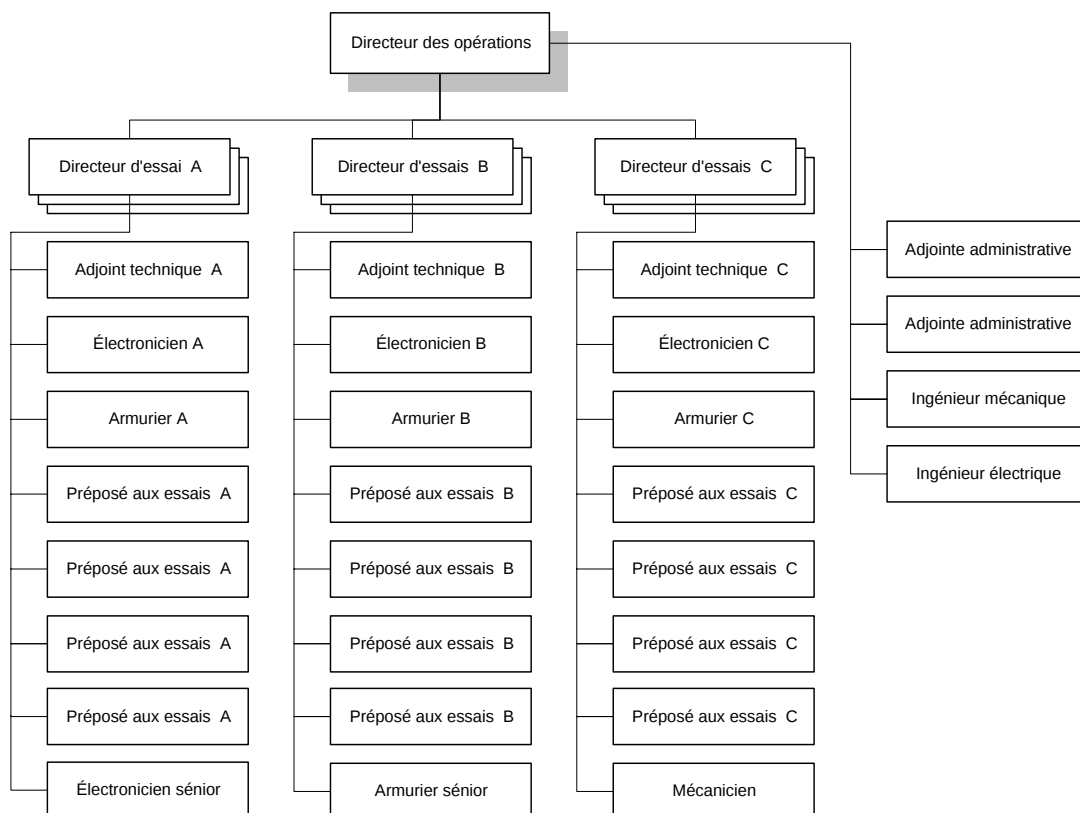
Les infrastructures d'un site d'essais balistiques sont conçues en fonction des différents types de projectiles à tester. Ainsi, il y a des postes de tir, appelés batteries de tir, attirés à chaque calibre. Toutefois, il est probable que les infrastructures d'une batterie de tir permettent les essais de plusieurs types de munitions. De ce fait, il peut survenir des conflits dans l'affectation des essais de tir aux batteries. De plus, certains essais ne peuvent être effectués au

site d'essais de la compagnie à cause des infrastructures. À ce moment, les employés doivent se déployer sur les bases militaires canadiennes pour effectuer ces essais.

Les ressources humaines et matérielles sont un autre aspect à considérer. En effet, les ressources sont limitées et elles ont des compétences spécifiques par rapport aux divers essais à réaliser. Il y a 32 employés travaillant au site d'essais balistiques (voir Figure 1). Le groupe de travail est composé principalement de 3 équipes de tir ayant chacune des affinités spécifiques pour certaines tâches secondaires. Chaque équipe est composée d'un directeur d'essais, d'un adjoint technique, d'un électronicien, d'un armurier et de quatre préposés aux essais. Les préposés aux essais font généralement les fonctions de canonnière, de munitionnaire, d'observateur et de patrouilleur. D'autres ressources font partie des équipes pour des fonctions particulières telles que le calibrage électronique, l'armement ou la mécanique. Chaque équipe de tir est spécialisée dans certains calibres et chaque ressource a des compétences spécifiques pour certaines fonctions.

Figure 1

Organigramme hiérarchique des ressources humaines



Un tir requiert généralement dix personnes et les équipes se supportent mutuellement afin de bien répartir tout le travail secondaire nécessaire à la préparation des tirs. Ceci comprend tous les travaux de menuiserie, d'usinage, de transport, d'amélioration, de R&D, d'administration, de démolition, de calibrage et d'entretien des équipements. Parfois, il arrive qu'une équipe soit responsable d'effectuer les tirs ne faisant pas partie de leur spécialisation. À ce moment, il y a de

la formation et un partage des connaissances entre les équipes. Ceci se produit lorsqu'il y a une surcharge de travail pour une équipe dans une période de temps donnée ou bien lorsqu'il y a un déploiement sur un champ de tir à l'extérieur. Lorsqu'il y a un déploiement, une équipe doit demander du support des autres équipes, car plus de personnel est requis pour le transport et pour la manipulation des équipements lors de la préparation et l'installation.

Les ressources matérielles requises pour faire les tirs sont limitées et partagées entre les équipes selon la priorité accordée à chacun des essais de tir. Les équipements sont regroupés sous sept catégories : les équipements d'instrumentation, les fourgons de conditionnement, les véhicules de patrouille, les véhicules utilitaires, les génératrices, les remorques et les camionnettes.

Gains à réaliser par une planification efficace

Il est difficile d'évaluer les gains quantitativement, mais il est certain qu'une planification efficace des tirs permettra d'éliminer les conflits de ressources et, par conséquent, diminuera les pertes de temps. Ceci aura pour effet d'augmenter le nombre d'essais à effectuer dans l'année donc il y aura un effet positif sur les lignes de production. De plus, il y aura davantage de temps à consacrer à l'entretien des équipements et aux projets de soutien reliés aux essais tels que la fabrication de montages spécifiques par exemple. Actuellement, même si le personnel est qualifié pour effectuer ces projets de soutien et que les machines et les outils sont disponibles, la compagnie doit faire affaires avec des sous-traitants à cause du manque de temps.

Une planification efficace des tirs donnera aussi des gains qualitatifs au niveau des relations de travail. En effet, les employés sont parfois dépêchés pour faire les installations pour un essai car il y a des conflits de ressources à cause d'une mauvaise planification. Ils deviennent alors irrités ce qui aurait dû être évité. De plus, le fait de réduire les pertes de temps pourra les libérer afin de participer à des projets de soutien qui sont très intéressants et valorisants pour eux.

Objectifs du projet

Le problème de planification des tirs sur un site d'essais balistiques est un problème très complexe par l'ensemble des caractéristiques qu'il comporte : types d'essais, types de produits, date de réception des munitions, affectation des essais aux batteries de tir, ordonnancement des ressources, etc. À notre connaissance, il n'existe aucune publication qui propose des façons pour traiter ce problème de planification des opérations.

Dans le cadre de ce projet, les objectifs visés étaient de bien identifier les contraintes et éléments de complexité du problème et de proposer une approche de résolution afin d'améliorer les opérations et réaliser des gains. Un outil informatique de planification des essais de tir a été développé. Cecil et Hall indiquent qu'une organisation peut améliorer sa compétitivité en utilisant les technologies de l'information pour augmenter ses habiletés et ses forces organisationnelles ou pour changer radicalement la façon d'effectuer ses activités (Martel et Oral, 1995).

Il existe des logiciels de planification globale du type ERP (Enterprise Resource Planning) qui font interagir les départements des ventes, des achats, de comptabilité, des ressources humaines, d'inventaire et d'ordonnancement de la production (Boctor, 1999). L'ordonnancement est donc seulement une partie du logiciel. Il n'y a pas de logiciel existant qui

prend en considération les spécificités des activités d'un site d'essais balistiques et il est impératif d'avoir un logiciel d'ordonnancement flexible et conçu pour représenter la réalité (Marche, 1997). Il était par conséquent nécessaire de construire un outil de planification informatisé sur mesure pour répondre efficacement aux besoins de la compagnie.

Le logiciel développé devait éliminer les conflits d'ordonnancement et devait permettre de gérer les ressources. Il devait aussi avoir une bonne flexibilité pour permettre une mise à jour continue des plans. Le logiciel devait permettre également de créer une cédule des essais ainsi que des rapports d'utilisation de ressources. Des données et contraintes réelles devaient être utilisées dans les méthodes de résolution afin de représenter concrètement la problématique. Une évaluation des résultats obtenus devait être réalisée pour déterminer l'efficacité de la méthode utilisée.

Définition du problème

La planification des tirs est un problème d'ordonnancement au plus tôt et elle était faite manuellement par le directeur des opérations en collaboration avec les directeurs d'essais. Il y a deux types d'activités dans ce problème : les activités fixes (par exemple : les activités de formation, d'entretien, de déploiement, ...) et les essais. Les activités fixes mobilisent des ressources pendant des périodes de temps déterminées. Ces activités fixes doivent être inscrites à des dates spécifiques de façon ponctuelle sur l'horizon de planification. S'il y a un conflit de ressources, l'activité doit être déplacée sur le calendrier ou bien la sélection des ressources doit être modifiée. D'un autre côté, les essais sont planifiés en conséquence des activités fixes selon les priorités et les ressources disponibles. Les ressources nécessaires pour tous les essais à planifier doivent être identifiées. Ensuite, les essais sont inscrits sur le calendrier en ordre de priorités selon les ressources disponibles. Les priorités sont très importantes et doivent être respectées. En effet, les lignes de production sont dépendantes de la livraison des résultats d'essais. Alors il est impératif de coordonner tous les efforts au site d'essais afin d'effectuer les essais de tir dans l'ordre des priorités établies par la production.

Il est difficile de penser à toutes les contraintes et de connaître l'état de toutes les ressources. Il arrive alors qu'il y a des conflits de ressources et des pertes de temps en résultent. La livraison des résultats est donc souvent repoussée, ce qui occasionne des retards sur les lignes de production. Une description plus spécifique du problème est représentée ci-bas.

Le problème de planification des essais de tir est tel que:

- ❑ Il y a plusieurs batteries de tir utilisées pour les essais.
- ❑ Il y a des essais qui peuvent être effectués sur plus qu'une batterie de tir, d'autres qui ne peuvent être effectués que sur une seule batterie de tir.
- ❑ Il y a des opérateurs (directeurs, adjoints techniques, électroniciens, armuriers, préposés aux essais) qui connaissent bien toutes les batteries, mais qui sont plus spécialisés pour certains essais.
- ❑ Plusieurs opérateurs sont requis pour faire un essai et ils utilisent un ensemble de ressources communes pour effectuer les tâches.
- ❑ Les ressources sont limitées (équipements d'instrumentation, fourgons de conditionnement, véhicules de patrouille, véhicules utilitaires, génératrices, remorques, camionnettes) et ont diverses utilités pour des travaux spécifiques.
- ❑ Si un essai est interrompu, il peut être poursuivi plus tard ou, dans certains cas, doit être recommencé du début.

Approche de résolution

L'approche de résolution utilisée pour résoudre ce problème est au moyen d'une heuristique élaborée pour répondre aux exigences de ce problème. Le principe de fonctionnement est le suivant : tout d'abord il y a la planification des activités fixes qui sont planifiées à des dates prédéterminées. Ces activités fixes peuvent être planifiées à n'importe quel moment et sont automatiquement enregistrées sur le calendrier par les directeurs. Lorsqu'il y a un conflit de ressources, le responsable doit immédiatement régler ce conflit pour valider l'inscription au calendrier. Ensuite, il y a la planification automatique des essais où les essais sont planifiés à des dates choisies le plus tôt possible selon les priorités préétablies par le directeur des opérations et selon la disponibilité des ressources. Les essais font ainsi partie d'une liste dans laquelle ils sont triés en ordre de priorités. Les besoins en ressources pour chaque essai sont également identifiés et conservés en mémoire. Lorsque les essais sont planifiés un à la fois, les ressources nécessaires sont à ce moment affectées à l'essai et celui-ci s'inscrit sur le calendrier. Donc, les activités fixes représentent des contraintes sur le calendrier et l'ordonnancement principal s'effectue avec la liste des essais selon les priorités. Les étapes de résolution utilisées pour l'heuristique sont représentées ci-après.

Étapes de résolution :

- ❑ *Phase 1 : Planification d'une activité fixe sur le calendrier.*
Cette phase inscrit une activité fixe sur l'horizon de planification. Autrement dit, une activité fixe est enregistrée directement sur le calendrier. Cette phase est faite de façon ponctuelle au fur et à mesure que de nouvelles activités fixes doivent être inscrites. L'utilisateur doit sélectionner toutes les ressources requises pour l'activité fixe, soit le personnel, les camionnettes, les fourgons de conditionnement, les équipements d'instrumentation, les véhicules utilitaires, les véhicules de patrouille, les génératrices et les remorques.
- ❑ *Phase 2 : Construction d'une liste d'essais prévus sur l'horizon de planification.*
Cette phase génère une liste d'essais prévus sur l'horizon de planification en ordre de priorités. Tous les besoins en ressources pour les essais sont alors enregistrés et conservés en mémoire pour la prochaine phase. L'utilisateur doit sélectionner les ressources requises parmi les catégories suivantes : les équipements d'instrumentation, les véhicules utilitaires, les génératrices et les remorques. Et il doit aussi indiquer le nombre de ressources requises pour les catégories suivantes : le personnel, les camionnettes et les fourgons de conditionnement.
- ❑ *Phase 3 : Planification automatique des essais sur le calendrier.*
Cette phase inscrit les essais sur l'horizon de planification en ordre de priorités selon les demandes de ressources et la disponibilité de celles-ci. Pour chaque essai à planifier, cette phase comprend les 4 sous-étapes suivantes :
 - *Phase i : Choix d'un intervalle de temps pour l'essai.*
Cette étape choisit un intervalle de temps pour l'essai considéré.
 - *Phase ii : Vérification de la disponibilité des ressources requises pour l'essai sur l'intervalle de temps choisi.*

Cette étape vérifie la disponibilité des ressources demandées par l'utilisateur au niveau des équipements d'instrumentation, des véhicules utilitaires, des génératrices et des remorques.

- *Phase iii : Vérification du nombre de ressources disponibles pour le personnel, les camionnettes, les fourgons de conditionnement et les véhicules de patrouille.*
Cette étape vérifie le nombre de ressources demandées par l'utilisateur pour le personnel, les camionnettes, les fourgons de conditionnement et les véhicules de patrouille. À noter que le nombre de véhicules de patrouille demandé dépend du nombre de patrouilleurs demandé.
- *Phase iv : Inscription de l'essai pour l'intervalle choisi sur le calendrier.*
Cette étape inscrit l'essai sur le calendrier et assigne les ressources à l'essai.

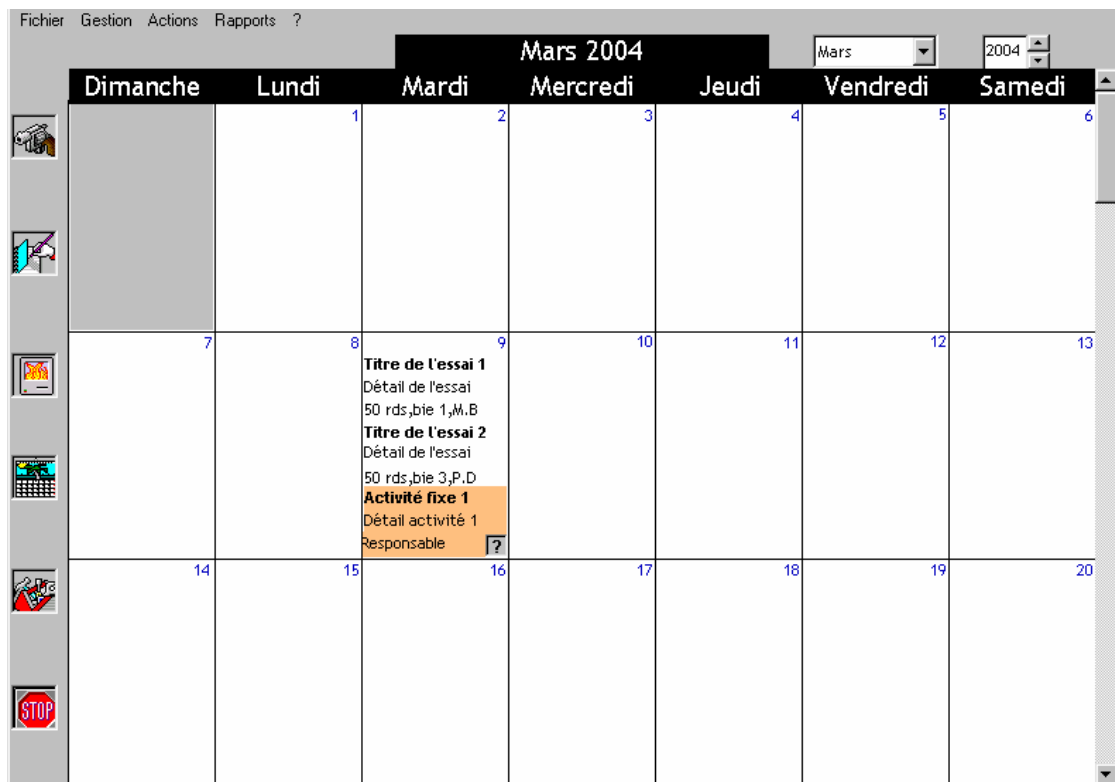
Le système informatique réalisé

La fenêtre d'ouverture du logiciel permet de visualiser un horizon de planification de trois semaines sous forme de calendrier (voir Figure 2). On peut voir jusqu'à trois essais ou activités fixes au total sur une même journée. S'il y a plus d'essais ou d'activités fixes planifiés sur une même journée, on peut cliquer sur le point d'interrogation pour obtenir plus d'information. Les essais apparaissent sur un fond blanc tandis que les activités fixes apparaissent sur un fond orangé. Pour chaque essai ou activité fixe, on retrouve le titre sur la première ligne ainsi que le détail sur les deux autres lignes tel que le responsable par exemple. Il y a également, dans le haut de la fenêtre, cinq menus permettant diverses fonctionnalités ainsi que des icônes dans la section gauche de la fenêtre servant de raccourcis pour certaines fonctions des menus. On peut aussi naviguer dans le mois en cours à l'aide de la barre de défilement à droite de la fenêtre. Lorsqu'on veut changer de mois, il suffit d'utiliser les barres de déroulement dans le haut de la fenêtre à côté du mois et de l'année.

Les fonctionnalités du logiciel permettent deux types de planification. Il y a tout d'abord la planification dite fixe qui consiste en l'inscription, par l'utilisateur, d'une activité fixe sur le calendrier. L'utilisateur inscrit une activité fixe en indiquant les dates de début et de fin ainsi que les ressources requises. S'il y a un conflit de ressources, il doit déplacer l'activité sur le calendrier ou bien changer les ressources afin que l'activité fixe soit enregistrée. Cette planification fixe est faite de façon ponctuelle par l'utilisateur. Ensuite, il y a la planification automatique des essais qui consiste en l'inscription, par l'application, de tous les essais enregistrés dans une liste, sur le calendrier. À chaque planification automatique, l'application efface donc tous les essais sur le calendrier et refait une inscription des essais par ordre de priorités le plus tôt possible sur le calendrier en tenant compte des ressources disponibles. L'utilisateur peut enregistrer un nombre indéfini d'essais mais plus la liste est longue, plus le temps de traitement est long. Cependant, l'horizon de planification maximal a été limité à six mois afin de restreindre le temps de traitement et aussi parce que cet horizon est amplement suffisant pour la compagnie. Il est à noter que lorsque l'utilisateur planifie une activité fixe sur le calendrier, il doit refaire une planification automatique du logiciel afin que les essais soient réinscrits sur le calendrier en fonction des ressources utilisées par la nouvelle activité fixe.

Figure 2

Fenêtre d'ouverture du logiciel



Divers scénarios d'ensemble d'activités fixes et d'essais de tir ont été utilisés afin de vérifier à la fois la qualité des plans donnés par l'heuristique proposée et le bon fonctionnement du logiciel développé. L'heuristique proposée s'est avérée efficace pour tous les scénarios testés. L'allocation des ressources dans le temps n'a généré aucun conflit tout en minimisant la plage horaire pour la réalisation des essais. De plus, la séquence des vérifications réalisée par le logiciel pour les différentes ressources a été conçue pour minimiser le temps de traitement des données. La vérification débute avec les batteries, suivie des instruments. Ces deux ressources sont les plus susceptibles de causer des conflits. Les génératrices, les remorques et les véhicules utilitaires sont ensuite vérifiés. Ces premières vérifications sont au niveau des ressources sélectionnées par l'utilisateur. Ensuite, les vérifications se poursuivent au niveau des ressources attribuées par le logiciel, c'est-à-dire les employés, les fourgons, les camionnettes, les véhicules de patrouille. Ces contrôles requièrent une vérification de la demande et des disponibilités, et ensuite une sélection est effectuée. Ces opérations nécessitent un temps d'opération supérieur, c'est pourquoi elles sont effectuées seulement si aucun conflit n'est survenu avec les premières ressources.

Auparavant, l'ordonnancement des essais et la coordination des ressources se faisaient manuellement sans aucun système informatique automatisé. Le calendrier des activités était construit manuellement dans un chiffrier Excel. La gestion des ressources se faisait selon l'expérience du gestionnaire. Il planifiait les essais de façon à ce que les ressources les plus conflictuelles, telles que les batteries, les instruments et les équipes de travail, n'entrent pas en

conflit. Malgré toute l'expérience que peut posséder le gestionnaire, il arrivait de temps en temps que des conflits survenaient au niveau des autres ressources, ce qui occasionnait des pertes de temps, un ralentissement de la production et parfois du mécontentement chez le personnel.

Le temps alloué à l'ordonnancement manuel des essais est difficile à évaluer. Il fluctuait selon le nombre d'essais à planifier ainsi que selon le nombre de modifications à apporter au cours d'une semaine. Ces modifications provenaient surtout des reports d'essais, et parfois de changements de priorités ou de changements de dates de réception des munitions. Plus le nombre de modifications était grand, plus le gestionnaire consacrait du temps à la planification des activités. L'utilisation du logiciel permettra au gestionnaire de sauver beaucoup de temps et d'effort.

Conclusion

L'industrie de la défense est un secteur d'activité économique d'envergure mondiale et l'achat de munitions conventionnelles en fait partie. La compagnie fait donc face à plusieurs concurrents sur le marché international de la vente de munitions. La fabrication de munitions requiert toujours un contrôle de qualité. Ces contrôles permettent de vérifier la conformité des produits selon les exigences et les spécifications du client.

La planification des tirs sur un site d'essais balistiques est une tâche complexe. Le processus logistique implique l'ordonnancement de plusieurs types de ressources limitées ayant des spécifications ou compétences propres. Le type d'organisation gérant le champ de tir, la catégorie de tests à réaliser, le type de munitions à tester, la quantité et le nombre de lots à tester viennent influencer la planification. Les ressources humaines et matérielles sont limitées et ont des fonctionnalités spécifiques par rapport aux divers essais à réaliser. La gestion de tous ces aspects dans le but de planifier les tirs permettant de maximiser le temps d'utilisation des ressources a été traitée par une méthode heuristique.

Le logiciel développé est fait sur mesure pour répondre aux besoins de la compagnie. Il permet une planification efficace des tirs ce qui élimine les conflits de ressources et, par conséquent, diminue les pertes de temps. Ceci aura pour effet d'augmenter le nombre d'essais à effectuer dans l'année, donc il y aura un effet positif sur les lignes de production. De plus, il y aura davantage de temps à consacrer à l'entretien des équipements et aux projets de soutien reliés aux essais tels que la fabrication de montages spécifiques par exemple. La compagnie pourra par conséquent diminuer le recours à la sous-traitance. La planification efficace des tirs donnera donc des gains qualitatifs au niveau des relations de travail car les employés pourront participer à des projets de soutien qui sont très intéressants et valorisants pour eux.

Le logiciel développé est maintenant utilisé quotidiennement pour effectuer la planification. L'introduction du logiciel a été précédée d'une formation aux utilisateurs et un suivi permettra de recueillir les commentaires pour des améliorations futures. Le développement du logiciel est un avancement dans le domaine de la planification des essais balistiques. Cependant, des recherches plus approfondies sur le sujet pourraient éventuellement permettre d'étendre les possibilités du logiciel.

Un aspect à considérer pour le développement futur serait de permettre au logiciel de choisir automatiquement les ressources à allouer pour un type d'essai donné. Aucune donnée n'est actuellement recueillie concernant la distribution des équipements pour les différents tirs. Éventuellement, avec les données appropriées et une analyse détaillée, il serait peut-être possible

d'identifier certains équipements pour certains types d'essais. Le logiciel pourrait permettre à l'utilisateur de choisir l'essai, et alors les bonnes ressources pour la réalisation de l'essai seraient assignées automatiquement.

Un autre aspect de développement se situe au niveau des priorités accordées aux tirs. Les priorités des tirs proviennent de l'usine de fabrication. Celle-ci reçoit, de ses clients, des commandes pour la production de munitions. Selon les chaînes de production, le type et la taille des lots à produire, des prévisions sur les dates d'expédition des lots au site d'essais sont effectuées. À partir de ces prévisions et de quelques autres facteurs, traitant de la production, les priorités pour les essais sont établies. Cependant la question de définir le meilleur ordre de priorité reste un sujet qui mérite une recherche plus approfondie.

Et finalement, l'entretien préventif des équipements est très important pour ce secteur d'activité. En effet, la précision et les risques reliés à la munition et à l'armement requièrent d'avoir des équipements en excellente condition. Un logiciel d'entretien préventif, spécialement conçu pour le site d'essai, est actuellement utilisé. La planification des essais et l'entretien préventif sont gérés distinctement. Il serait intéressant d'intégrer ces deux logiciels afin de réaliser une meilleure planification.

Références

Torkelson, Paul R., "Functioning test of ammunition", *Army Logistician*, March/April 1997, p. 40.

Martel, Alain, et Oral, Muhittin, *Les défis de la compétitivité*, Tome 2, Publi-Relais, Montréal, 1995, p. 115-158.

Boctor, Fayez F., *Systèmes manufacturiers : planification et contrôle*, Notes de cours, Université Laval, Hiver 1999.

Marche, Sunny, "Planning for reality", *Manufacturing systems*, Wheaton, Février 1997.