

FERIC

**FOREST ENGINEERING
RESEARCH INSTITUTE
OF CANADA**

**INSTITUT CANADIEN
DE RECHERCHES
EN GÉNIE FORESTIER**

R.T. -
30

Rapport Technique N° RT-30
décembre 1978

La simulation: un outil de préparation des décisions à l'usage des dirigeants d'entreprises

G. J. Garner

La simulation: un outil de préparation des décisions à l'usage des dirigeants d'entreprises

G. J. Garner

Rapport Technique N° RT-30
décembre 1978

This Technical Report is available in English

FERIC

**FOREST ENGINEERING
RESEARCH INSTITUTE
OF CANADA**

**INSTITUT CANADIEN
DE RECHERCHES
EN GÉNIE FORESTIER**

AVANT-PROPOS

De façon générale, les techniques de recherche opérationnelle, dont la simulation, n'ont guère été appliquées dans l'industrie canadienne des produits forestiers, malgré des dépenses considérables affectées au développement de modèles mathématiques susceptibles de résoudre les problèmes de cette industrie. Lors des premières applications de la recherche opérationnelle, un fossé s'est créé dans les communications entre directeurs d'entreprises et analystes-informaticiens, amenant la construction de modèles qui s'adaptaient mal aux besoins des responsables des décisions, d'où un manque de confiance général dans l'utilité de ces techniques. FERIC cherche, par la publication du présent rapport, à corriger la situation.

Le rapport décrit d'abord ce qu'est la simulation, puis il démontre la valeur de cette technique en vérifiant le réalisme d'un modèle de simulation développé pour le camionnage. Au moyen d'applications de ce même modèle, il cherche également à illustrer l'utilité éventuelle de la simulation pour les responsables des décisions, à tous les niveaux de direction.

Il ne constitue pas un exposé technique de la théorie de la simulation, ni des caractéristiques du modèle de camionnage. Sous cet aspect, les lecteurs qui possèdent une expérience approfondie de la simulation ou bien une formation en recherche opérationnelle trouveront sans doute que le rapport n'ajoute rien à leurs connaissances. En fait il s'adresse plutôt à ceux qui n'ont ni formation particulière ni expérience dans l'application des techniques de simulation.

Les compagnies-membres de FERIC et de l'Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (PAPRICAN) peuvent se procurer au prix coûtant une copie du modèle de simulation du camionnage, programmé sur ordinateur, ainsi que de la documentation à l'appui. Les compagnies et les organismes qui ne sont pas membres l'obtiendront à prix coûtant majoré. Toute demande de programme ou de prix devrait être envoyée à FERIC.

Les exemples servant à la vérification sont basés sur les résultats d'une étude du système de camionnage par entrepreneurs de Nova Scotia Forest Industries (N.S.F.I.). FERIC désire remercier le personnel de N.S.F.I. et les entrepreneurs qui ont collaboré à cette étude.

Nous exprimons également notre reconnaissance à Robert A. Poole de PAPRICAN.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
RESUME	R1
INTRODUCTION	1
SIMULATION	2
Qu'entend-on par simulation et par modèle de simulation?	2
Avantages et inconvénients	3
Quand doit-on utiliser la simulation?	5
La méthode de simulation	5
MODELE DE SIMULATION DU CAMIONNAGE	8
Procédés utilisés pour vérifier le modèle de camionnage	8
Résultats -	8
Cas pilote 1	9
Cas pilote 2	11
Cas pilote 3	12
EXEMPLES D'APPLICATION DU MODELE DE SIMULATION DU CAMIONNAGE	13
Evaluation de divers systèmes	13
Détermination du nombre de camions requis	15
Normes d'opération	19
COMMENTAIRES GENERAUX	22
Banque de données	22
Adaptation de modèles actuels	23
Complexité du modèle	23
Rôle de la simulation dans la prise de décision	23
CONCLUSIONS	24
ANNEXE - Dimensions des charges et coûts horaires utilisés pour les essais de simulation	25
BIBLIOGRAPHIE	26

RESUME

Ce rapport a pour but de fournir aux responsables des services forestiers qui n'ont pas de formation en simulation ou autres techniques de modélisation des connaissances générales sur le sujet. FERIC se propose ici de stimuler l'intérêt dans l'application de ces techniques qui, par leur nature, se prêtent bien à l'analyse de divers problèmes forestiers.

On y trouvera:

1. une brève description de la simulation et d'un modèle de simulation, de ce que cet outil cherche à accomplir, du genre de problèmes auxquels il devrait être appliqué, et des étapes que comporte le processus de simulation;
2. une illustration du niveau de précision que l'on peut attendre d'un modèle de simulation, retenant comme exemple les résultats de la vérification d'un modèle développé par J.-G. Routhier pour le camionnage des bois;
3. trois exemples d'application de ce même modèle, visant à démontrer l'éventail de problèmes que l'on peut analyser, et l'utilité potentielle de la simulation, comme outil de préparation des décisions à tous les niveaux de direction;
4. des commentaires sur ce qu'on peut attendre de la simulation et des autres techniques de programmation, ainsi que sur les écueils à éviter.

INTRODUCTION

Dès ses débuts, FERIC possédait un modèle de simulation pour l'analyse du camionnage de bois à pâte et de billes de sciage, modèle qui avait été mis au point en 1973 par Jean-Guy Routhier, alors à l'emploi de PAPRICAN [réf. 5]. Toutefois de 1973 à 1977, il ne fut l'objet que de trois demandes de renseignements ou d'aide, bien que durant cette même période, plusieurs compagnies-membres aient entrepris d'importantes études de transport auxquelles le modèle se serait bien prêté.

On attribua ce manque d'intérêt au fait que le modèle n'avait jamais été vraiment confronté à la réalité. FERIC saisit donc l'occasion offerte par Nova Scotia Forest Industries qui lui demanda son aide dans la poursuite d'une étude de ses opérations de camionnage par entrepreneurs. C'était en effet une chance tout indiquée de vérifier le réalisme du modèle, et de l'appliquer à plusieurs problèmes intéressants.¹

Le travail effectué lors de ce projet contribua toutefois à démontrer l'existence d'un problème plus fondamental encore. Un fossé dans les communications, entre les spécialistes en recherche opérationnelle et les dirigeants d'entreprises impliqués dans les premières applications de ces techniques à la forêt, avait fréquemment entraîné la mise au point de modèles axés sur la démonstration des techniques plutôt que sur la solution des problèmes des dirigeants. Il en était résulté une conception fort erronée de ces techniques, de même qu'un manque général de confiance à leur égard.

Cette situation contraste singulièrement avec celle que l'on rencontre dans d'autres industries, et même dans d'autres secteurs de l'industrie des produits forestiers, où la recherche opérationnelle, souvent après avoir fait face aux mêmes difficultés au début, rallie maintenant tous les suffrages. FERIC veut par ce rapport, essayer de ranimer l'intérêt dans l'application de ces techniques à la solution des problèmes qui confrontent à tous les niveaux de décision les responsables des services forestiers.

Il contient un exposé, d'un point de vue non-technique, de la simulation, cet outil particulièrement approprié à l'analyse de plusieurs problèmes forestiers. A l'aide des résultats obtenus lors de la vérification du modèle de camionnage, il cherche à illustrer la précision que l'on peut atteindre par la simulation. Enfin, trois exemples d'application de ce même modèle servent à démontrer l'éventail de problèmes qui conviennent à une solution de ce genre.

¹ Le rapport technique RT-24 [réf. 1] de FERIC, publié précédemment, décrit le système de camionnage et donne quelques-uns des résultats de l'étude.

SIMULATION

Les lecteurs qui ne sont pas familiers avec la simulation, ou qui souhaitent réviser leurs connaissances en ce domaine, trouveront ici un bref exposé sur la nature de la simulation, sur ses avantages et ses inconvénients, sur le genre de problèmes qui se prêtent à son utilisation et sur les étapes que comporte le processus de simulation. Quant aux lecteurs familiers avec le sujet, ils peuvent, s'ils le désirent, omettre les prochains paragraphes.

Qu'entend-on par simulation et par modèle de simulation?

La simulation est souvent décrite comme une méthode qui consiste à reproduire l'essence d'un système sans toucher à la réalité de ce système [réf. 4, p. 359].

Cette définition comprend deux parties importantes. "Reproduire l'essence d'un système" signifie que seuls entrent dans le modèle les éléments ou les facteurs qui affectent la performance du système. On n'essaie nullement de reproduire chacun de ses éléments. Par exemple, il n'est pas nécessaire de modéliser le fonctionnement du moteur d'une chargeuse pour déterminer l'effet de la productivité de la chargeuse sur les coûts du camionnage. Par contre, on peut modéliser la disponibilité mécanique de la chargeuse qui est affectée par le moteur, car elle pourrait influencer les coûts du système de transport.

Le second membre de la phrase, "sans toucher à la réalité de ce système", signifie que la simulation implique la construction d'une reproduction ou d'une maquette du système. Ces reproductions prennent généralement trois formes: physique, symbolique ou mathématique. Les reproductions physiques sont des répliques du système réel ou proposé, tel que la maquette à l'échelle d'une usine, et sont fréquemment utilisées lorsqu'on analyse l'idée générale d'un projet. Les modèles symboliques, comme le diagramme d'un circuit électrique ou l'organigramme de la figure 1, représentent le système à l'aide de symboles. Un modèle mathématique décrit le système en termes d'équations mathématiques. Le modèle de camionnage, dont il est question dans ce rapport, entre dans cette dernière catégorie.

Un modèle de simulation mathématique décrit le fonctionnement du système en fonction des éléments que ce dernier contient. Le comportement de chaque élément et leur interrelation sont décrits au moyen d'équations.* Les éléments sont ensuite combinés selon leur ordre

* Ces équations peuvent être déterministes ou stochastiques. Les équations déterministes supposent que tout est connu, et que l'on peut définir une relation précise, comme par exemple, la formule de la superficie d'un carré. Les équations stochastiques impliquent de l'incertitude ou une variation, en ce sens qu'un échantillon statistique a une moyenne autour de laquelle existe une certaine variation. Une variable peut prendre une valeur déterminée, selon la distribution de l'échantillon, la moyenne de cet échantillon et son écart-type. Comme il est parfois difficile ou impossible de formuler des équations déterministes, on utilise alors des équations stochastiques pour estimer les valeurs.

normal, et on simule le comportement du système en introduisant des données d'entrée qui sont compatibles avec le déroulement prévu du système simulé.

Avantages et inconvénients

La réduction du système à ses éléments essentiels constitue à la fois la force et la faiblesse de la simulation. Une simplification trop poussée peut empêcher le modèle de coller à la réalité. Par ailleurs le manque de simplification conduit souvent à des modèles lourds dont les coûts de construction et d'utilisation l'emportent sur les avantages que procure l'augmentation de précision. Définir le moyen terme entre ces deux extrêmes constitue la décision la plus importante de l'analyste-informaticien.

Parmi les avantages généralement admis des études de simulation, mentionnons les suivants [réf. 3, pp. 4-9]:

1. On peut analyser des systèmes qui seraient trop coûteux ou impossibles à observer dans le monde réel.
2. La simulation permet l'étude et l'expérimentation des interactions complexes à l'intérieur même d'un système.
3. L'observation détaillée du système nécessaire à la construction du modèle peut amener une meilleure compréhension du système ainsi que des suggestions susceptibles de l'améliorer. La cueillette des données requises rend parfois évidente la solution du problème, supprimant ainsi la nécessité de construire le modèle.
4. Lorsqu'on introduit de nouveaux éléments dans un système, on peut se servir de la simulation pour aider à prévoir les problèmes futurs.
5. La simulation permet souvent de saisir quelles sont les variables les plus importantes et la façon dont elles réagissent entre elles.
6. La simulation permet de mettre à l'épreuve de nouvelles politiques et de nouveaux critères de décision dans le fonctionnement d'un système, sans courir les risques qu'entraînerait l'expérimentation du système réel.
7. On peut utiliser la simulation comme outil d'enseignement pour développer une certaine habileté dans l'analyse et la prise des décisions.

La méthode stochastique de la simulation offre un avantage additionnel aux directeurs des services forestiers. Plusieurs méthodes servant actuellement à l'analyse des problèmes utilisent pour certaines relations des estimations déterministes qui ne sont aucunement précises. Les effets des interrelations entre ces estimations imprécises peuvent infirmer les résultats de l'analyse. Un bon plan statistique appliqué à des essais de simulation contrebalancera le manque de relations déterministes et les données incomplètes que l'on rencontre dans plusieurs exploitations forestières.

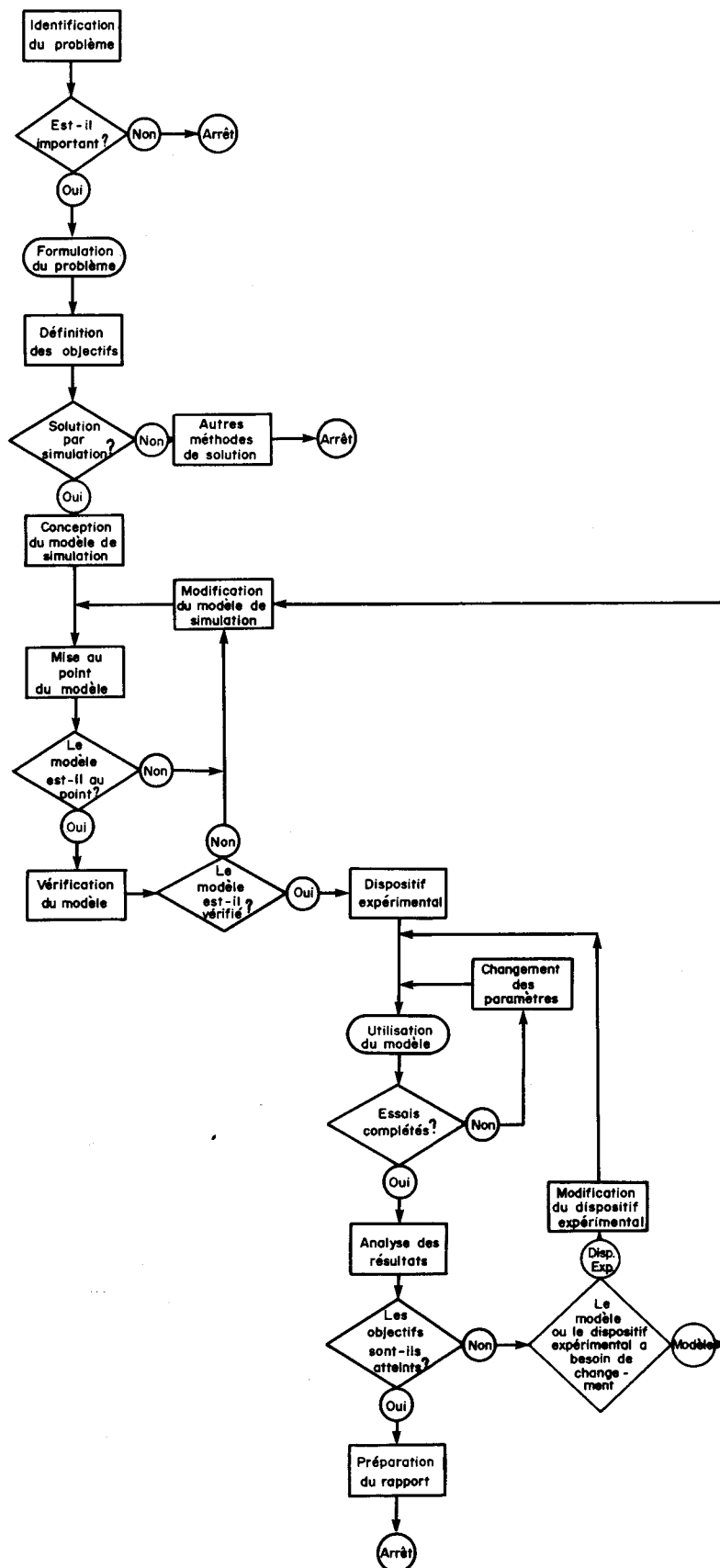


Figure 1. Organigramme d'un modèle de simulation, d'après Phillips [réf. 4, pp. 362-364].

Le principal inconvénient de la simulation provient de ce que, contrairement aux autres techniques de recherche opérationnelle, elle ne conduit pas directement à la solution optimale. La simulation est en effet une méthode de résoudre les problèmes par essais successifs (méthode heuristique), ce qui peut la rendre lente et coûteuse. On a consacré énormément d'efforts à la mise au point de méthodes et de techniques qui minimisent cet inconvénient. Cependant la cueillette de bonnes données fondamentales demeure la meilleure façon de réduire les coûts de simulation et de s'assurer que le modèle produise des solutions fiables, s'approchant de la solution optimale.

Quand doit-on utiliser la simulation?

La simulation est une méthode d'analyse appropriée lorsqu'il n'est pas pratique d'expérimenter le système réel. Une telle situation se présente:

- quand l'expérimentation du système est très coûteuse;
- quand il existe un risque élevé que l'expérimentation puisse bouleverser le système;
- quand le système n'est pas accessible pour fins d'expérimentation;
- quand un tel système n'existe pas.

La complexité de plusieurs systèmes empêche souvent l'emploi d'autres méthodes analytiques. Les systèmes qui contiennent plusieurs éléments définis de façon imprécise (stochastiques), et dont la performance peut être grandement affectée par des changements de paramètres se prêtent bien à l'analyse par simulation.

La méthode de simulation

La figure 1 indique les diverses étapes qu'implique l'analyse d'un problème par simulation. Il est à remarquer que si la formulation du modèle de simulation est une partie critique de toute étude de simulation, elle n'en constitue pas la seule étape. Il y en a d'autres qui sont également importantes. L'admettre peut être bénéfique à l'analyse, puisqu'il vaut mieux qu'une partie des décisions nécessaires soient prises par les responsables.

Comme toute autre technique visant à résoudre des problèmes, le processus de simulation est amorcé au moment où l'on reconnaît l'existence d'un problème. Les responsables des décisions doivent alors déterminer si le problème est suffisamment grave pour justifier la recherche d'une solution et entreprendre l'analyse du système en faisant appel à leur état-major.

Pour bien formuler le problème, il faut le quantifier, préparer une banque de données se rapportant aux éléments du système, saisir les relations qui existent entre ces éléments, et identifier quelques-unes des solutions possibles. Ces données de départ aideront à définir des objectifs orientés vers la solution du problème, comme par exemple, la sélection de paramètres de fonctionnement pour un système actuel ou futur, l'évaluation de changements à un système actuel, ou la conception d'un nouveau système.

On doit alors retenir une méthode de solutionner le problème. S'il rencontre les critères présentés à la section précédente, la simulation peut s'avérer une technique appropriée. Ce n'est qu'à ce moment que commence la conception et la mise en oeuvre du modèle en vue de répondre aux objectifs de l'étude.

Il y a souvent une tendance à se reposer uniquement sur l'analyste-informaticien pour compléter les étapes ultérieures. Bien que l'emploi d'une personne possédant de l'expérience en programmation puisse sauver du temps et de l'argent, et permettre d'obtenir un modèle plus efficace, il faut reconnaître que l'analyste-informaticien est dans la plupart des cas un membre de l'état-major possédant généralement peu d'expérience pratique avec le système réel. Il est souhaitable que le responsable des décisions s'implique à ce stage-ci, car certains des avantages principaux de la méthode de simulation sont reliés à la compréhension du système réel, laquelle est nécessaire à la construction du modèle. De plus sa présence aidera à s'assurer que le modèle réponde à ses besoins.

La phase de mise au point détermine si le modèle se comporte comme prévu. Elle implique l'essai du modèle de façon à isoler tout défaut caché qui, sans empêcher le modèle de fonctionner, pourrait entraîner des résultats erronés.

La vérification, une des phases les plus critiques de toute étude de simulation, consiste à vérifier si le modèle prévoit de façon satisfaisante le comportement du système réel. Ce qui constitue une prévision satisfaisante dépend fortement de la précision des données d'entrée, ainsi que de l'usage que l'on fera du modèle, mais on retire peu de profit d'une étude de simulation basée sur un modèle qui ne se vérifie pas.

La façon habituelle de vérifier un modèle consiste à l'utiliser avec des données historiques et à comparer ensuite les résultats ainsi obtenus avec ceux du système réel. Des tests de comparaison statistiques servent à déterminer s'il existe des différences significatives.

Une autre façon consiste à demander à des membres du personnel familiers avec le système réel si les résultats de la simulation sont vraisemblables. Ceci a l'avantage additionnel d'impliquer les utilisateurs éventuels dans la mise au point du modèle, et contribue à réduire leur appréhension quant à son utilisation. C'est peut-être la seule méthode de vérifier le modèle à un coût raisonnable, lorsqu'il s'agit de systèmes expérimentaux ou non-existants, ou lorsqu'il existe une grande variation dans l'opération analysée. Il peut être utile en ce cas d'effectuer une analyse de sensibilité pour savoir comment la performance du système est modifiée en fonction des variables.

Une fois le modèle vérifié, il reste à l'utiliser selon des dispositifs expérimentaux appropriés en fonction des objectifs. On se sert généralement de dispositifs expérimentaux factoriels pour déterminer de quelle façon les divers facteurs modifient le système. On fait varier la variable à l'étude tout en gardant les autres constantes. Les

résultats sont alors analysés et interprétés à l'aide de techniques statistiques.¹ Il est parfois nécessaire d'effectuer des changements dans le modèle ou le dispositif expérimental afin de rencontrer les objectifs de l'étude.

La méthode de simulation se termine par la préparation d'un rapport donnant les résultats de l'étude.

¹ Les livres de Kleijnen [réf. 2] contiennent un bon sommaire des techniques statistiques utilisées lors de la conception et de la vérification d'un modèle, ainsi que dans la conception et l'analyse des essais de simulation.

MODELE DE SIMULATION DU CAMIONNAGE

Le modèle de simulation mis au point par J.-G. Routhier est un modèle général pour l'analyse de systèmes de camionnage dans lesquels les camions se déplacent d'une ou plusieurs zones de chargement jusqu'à un point unique de déchargement. Un rapport publié précédemment [réf. 5] contient la description des données d'entrée nécessaires à ce modèle ainsi que de l'extrait final.

Lors de travaux précédents, on avait effectué un essai de vérification du modèle chez la compagnie dont les exploitations avaient servi à son développement, mais son application sur une plus grande échelle demeurerait discutable. La vérification du modèle fut parachevée, comme partie d'une étude du système de camionnage de Nova Scotia Forest Industries (N.S.F.I.), étude entreprise par FERIC.

Procédés utilisés pour vérifier le modèle de camionnage

La vérification du modèle de camionnage a comporté deux étapes:

- vérifier que les distributions utilisées pour les variables étaient appropriées;
- déterminer si le modèle reproduisait les opérations réelles avec suffisamment de précision.

Afin de déterminer la distribution des données observées, on fit des tests statistiques des données résumées dans le précédent rapport, portant sur l'étude du système de camionnage de N.S.F.I. [réf. 1]. On compara ces distributions à celles utilisées lors du développement du modèle de simulation afin de s'assurer qu'elles étaient les mêmes.

Pour savoir si le modèle de simulation reproduisait assez fidèlement le système réel, on observa durant une journée quatre opérations, dont chacune représentait une partie bien caractéristique du système de camionnage de N.S.F.I., pour obtenir des renseignements sur les méthodes de travail et les taux de production. Ces données furent mises de côté pour servir de contrôle par la suite. Les données appropriées provenant des tests de distribution servirent alors d'intrants au modèle de simulation du camionnage, et chaque opération fut simulée durant l'équivalent de trente (30) postes de travail. Les résultats de cette simulation furent ensuite comparés à ceux du contrôle pour vérifier si le modèle prévoyait le comportement réel de l'opération.

Résultats

Les tests statistiques des données montraient qu'à une exception près, toutes les distributions utilisées lors du développement du modèle de simulation étaient appropriées aux exploitations de N.S.F.I. La rareté des données sur la fréquence et la durée des pannes ne permettait pas de tester ces variables par type de camion. Cependant, la combinaison des données obtenues pour tous les types de camions donna la distribution montrée à la figure 2. Cette distribution s'avéra exponentielle, comme celle du modèle de simulation du camionnage, et fut utilisée par la suite pour les variables relatives aux réparations.

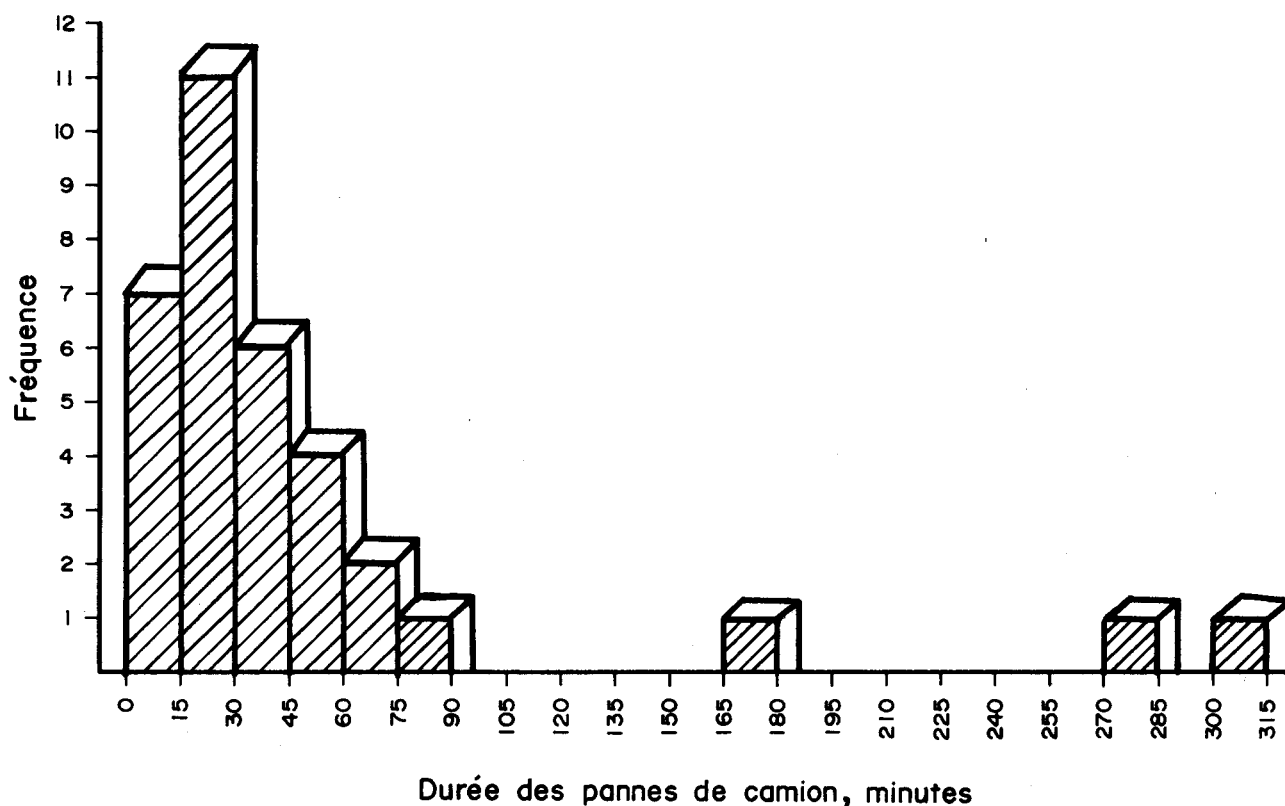


Figure 2. Fréquence et durée des pannes pour l'ensemble des types de camion.

Les résultats, décrits ci-après, des tests de vérification de trois des opérations observées illustrent la concordance étroite trouvée entre les résultats observés et simulés. Dans chaque cas pilote, on décrit l'opération, on compare les résultats réels et simulés, et on explique les causes des variations¹.

Cas pilote 1:

Cette opération, effectuée par un entrepreneur, comprenait cinq 10-roues (camions ordinaires avec tandem) chargés au moyen d'une chargeuse Prentice, modèle G, montée sur un petit camion. L'entrepreneur était propriétaire de trois des camions, et conduisait la chargeuse. Les autres camions appartenait à leurs opérateurs.

¹ On trouvera à l'annexe A un sommaire des dimensions des charges et des coûts de fonctionnement des divers types de camions dans les cas pilotes et les exemples d'applications. Pour les besoins de la démonstration, les coûts sont intentionnellement approximatifs.

Le tableau 1 récapitule le temps total des camions, détaillé tel qu'observé, ainsi que les résultats de la simulation. Malgré des différences dans les résultats obtenus individuellement par camion, les résultats moyens concordent étroitement. Sauf l'exception soulignée, on constate la différence la plus importante dans le total des heures travaillées, différence imputée à des bris mécaniques.

Tableau 1. Temps observés et simulés du cas pilote 1.

VARIABLE	TEMPS OBSERVÉS					TEMPS SIMULÉS				
	Numéro du camion					Numéro du camion				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Temps de déplacement, heures	6,5	4,9	6,6	6,9	6,9	6,7	6,8	6,6	6,7	7,0
Temps de chargement, heures	1,4	1,2	1,5	1,4	1,4	1,3	1,8	1,4	1,4	1,4
Temps de déchargement, heures	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5
Temps d'attente à la jetée, heures	0,5	0,2	0,6	0,3	0,7	0,7	0,1	0,9	0,5	0,7
Temps d'attente dans le parc de l'usine, heures	0,3	0	0,6	0,1	0,4	0	0	0	0	0
Total des heures travaillées	10,3	7,7	11,0	10,6	11,6	10,9	11,0	11,2	11,0	11,4
Disponibilité, %	100	100	100	100	100	99,6	98,6	98,0	99,8	100
Nombre de voyages	4	3*	4	4	4	4	4	3,9	4	4

* A cause de raisons personnelles, le conducteur du camion 2 ne fit pas de quatrième voyage, le jour des observations.

Cas pilote 2:

Lors de cette opération, les conducteurs des camions chargeaient leurs semi-remorques à l'aide de deux chargeuses dont le grappin avait une capacité de $0,5 \text{ m}^3$ (0,2 cu). Comme elles étaient localisées au même endroit, les conducteurs des camions avaient le loisir de se servir de l'une ou l'autre chargeuse, suivant celle qui était inoccupée. L'une des deux étant plus vieille, et ayant des coûts fixes plus faibles, cet arrangement permettait à l'entrepreneur de minimiser le temps d'attente à la jetée, et de fournir, à un coût minimal, des services mécaniques sur place, ainsi qu'une certaine flexibilité dans l'opération. Le tableau 2 compare le comportement observé et simulé des deux chargeuses.

Tableau 2. Comparaison des temps observés et simulés du cas pilote 2.

V A R I A B L E	TEMPS OBSERVÉS		TEMPS SIMULÉS	
	Chargeuse 1	Chargeuse 2	Chargeuse 1	Chargeuse 2
Temps de chargement, heures	5,9	2,6	5,8	2,4
Temps de déplacement entre les jetées, heures	0,2	0	0,2	0,1
Temps d'attente des camions, heures	6,4	8,9	6,6	9,3
Total des heures travaillées, heures	12,5	11,5	12,6	11,9
Disponibilité, %	100	100	97	99
Nombre de charges	9	4	8,8	3,7

Dans le cas présent, les légères différences entre les résultats observés et simulés proviennent du déplacement entre les jetées et des pannes des chargeuses. En effet, le jour des observations, il n'a pas été nécessaire de déplacer la seconde chargeuse, et aucune panne ne se produisit.

Cas pilote 3:

Le troisième cas pilote comprenait 10 semi-remorques chargées par une chargeuse Drott 40, dont le grappin avait une capacité de 1 m³ (0,35 cu). Ainsi que l'indiquent, au tableau 3, les longs temps d'attente observés à la jetée, il s'agissait d'une opération "hors contrôle". On décida de l'utiliser lors de la vérification, malgré les problèmes qu'elle présentait, car elle était typique de l'opération de chargement rencontrée chez plusieurs compagnies, et elle offrait un véritable test de la précision du modèle dans des conditions difficiles.

Tableau 3. Comparaison des temps observés et simulés du cas pilote 3*.

V A R I A B L E	CHARGEUSE		CAMIONS	
	TEMPS OBSERVES	TEMPS SIMULES	TEMPS OBSERVES	TEMPS SIMULES
Temps de déplacement entre les jetées, heures	0,30	0,36	--	--
Temps de déplacement, heures	--	--	5,28	5,55
Temps de chargement, heures	7,40	7,25	0,74	0,76
Temps d'attente à la jetée, heures	2,00	2,05	2,30	2,76
Temps de déchargement, heures	--	--	0,32	0,31
Temps d'attente pour décharger, heures	--	--	0,30	0,32
Rendement, %	79,4	77,2	70,9	70,1
Nombre de charges	20,0	20,1	2,00	1,99

Dans ce troisième cas, le modèle de simulation n'a pas été aussi précis dans ses prévisions de la performance du système que dans les autres cas. Les écarts provenaient de difficultés à déterminer les temps réels de départ des camions. Malgré tout, le modèle donna quand même des estimations acceptables.

* Les temps donnés pour les camions représentent les moyennes des 10 camions impliqués dans l'opération.

EXEMPLES D'APPLICATION DU MODELE DE SIMULATION DU CAMIONNAGE

Cette section offre trois exemples de situations où la méthode de simulation pourrait s'avérer appropriée à la solution de problèmes. Chacun est présenté sous la forme d'un scénario qui décrit brièvement le problème, et d'une proposition expliquant comment on pourrait se servir de la simulation pour trouver des solutions possibles. On y ajoute quelques résultats. Ces exemples ont pour but d'illustrer l'utilité potentielle de la simulation comme outil dans la préparation des décisions à tous les niveaux de l'administration.

Evaluation de divers systèmes

Scénario:

Les exploitations forestières de Jack Pine Pulp and Paper Company jouissent, dans leur assiette de coupe actuelle, d'une réserve de cinq ans de bois d'oeuvre. Le vice-président du service forestier, P.B. Lambert, demande à son personnel d'analyser les diverses options relatives au transport à l'usine de bois provenant de l'assiette de coupe voisine. Des études préliminaires ont démontré que le système d'écoulement des eaux du bloc voisin ne permet pas le flottage, ce qui laisse le transport par camion comme seul choix possible.

Comme actuellement la compagnie flotte tout son bois, il lui faut donc développer un système de transport entièrement nouveau. L'accès à la nouvelle aire de coupe se fera au moyen d'une route publique de 96 km (60 mi) et d'une route privée de haute qualité que la compagnie est en train de construire sur une longueur de 64 km (40 mi). Lambert a demandé à l'ingénieur à la recherche du service forestier, monsieur L. A. Lumière, d'évaluer plusieurs systèmes possibles de camionnage dans le but de minimiser le coût total du transport.

Lumière trouve que deux solutions semblent particulièrement intéressantes. La première (solution I) consisterait à transporter le bois directement à l'usine au moyen de semi-remorques. La seconde (solution II) propose des trains routiers à deux remorques sur la route privée, les remorques étant par la suite désassemblées à un dépôt provisoire et tirées à l'usine par des camions tracteurs ordinaires. S'il y avait augmentation des charges maximales permises sur les routes publiques, une troisième solution pourrait consister à transporter directement le bois à l'usine au moyen des trains routiers.

Proposition:

A l'aide du modèle développé pour le camionnage, Lumière conçoit trois systèmes différents pour lesquels les livraisons journalières correspondent approximativement à la distance moyenne de transport à partir de la nouvelle assiette de coupe. Il simule ensuite ces systèmes pondérés sur toute la gamme des distances de camionnage que la compagnie aura à parcourir en exploitant ce nouveau territoire.

Tableau 4. Systèmes pondérés à une distance totale de transport de 128 km (80 mi).

		SOLUTION I	SOLUTION II	SOLUTION III
SEMI-REMORQUES	Nombre de camions	10	4	
	Total des heures travaillées	9,9	10,2	
	Rendement, %	95,6	95,9	
	Nombre de voyages/poste de travail/camion	2,00	3,12	
	Coût du camionnage, \$/t (\$/T)	5,73 (5,20)	3,80 (3,45)	
TRAINS ROUTIERS	Nombre de camions		3	7
	Total des heures travaillées		10,1	11,8
	Rendement, %		86,5	92,2
	Nombre de voyages/poste/camion		3,43	2,00
	Coût du camionnage, \$/t (\$/T)		1,74 (1,58)	4,06 (3,69)
COUT TOTAL DE CAMIONNAGE, \$/t (\$/T)		5,73 (5,20)	5,54 (5,03)	4,06 (3,69)
CHARGEUSE	Total des heures travaillées	11,1	10,7	14,0
	Rendement, %	66,9	70,4	79,5
	Nombre de charges/poste	20,00	10,30	14,00
	Coût de chargement, \$/t (\$/T)	0,84 (0,76)	0,79 (0,72)	0,83 (0,75)
COUT TOTAL DE TRANSPORT, \$/t (\$/T)		6,57 (5,96)	6,33 (5,75)	4,89 (4,44)

Pour un camionnage de 128 km (80 mi) Lumière trouve que le système de trains routiers (solution II) est légèrement moins coûteux que le système de semi-remorques (solution I) (voir tableau 4). A de plus courtes distances, les coûts horaires plus élevés des trains routiers, de même que le temps additionnel requis pour désassembler les remorques, rendent la première solution supérieure à la seconde. La supériorité du système de trains routiers augmente en même temps que la distance de transport sur route privée. La troisième solution, selon laquelle les trains routiers se rendent directement à l'usine, donne les coûts de transport les plus bas à toutes les distances étudiées, mais elle est actuellement irréalisable.

Lors de son analyse, Lumière se rend compte également que le degré d'utilisation de la chargeuse diminue rapidement, pour les solutions II et III, à mesure qu'augmentent les distances de transport. Il en conclut que le pré-chargement de remorques additionnelles minimiserait le temps non-productif des tracteurs aussi bien que des chargeuses, d'où une production plus élevée et des coûts plus faibles.

Lumière recommande à V. P. Lambert que la compagnie Jack Pine choisisse la solution II comme système de transport dans la nouvelle assiette de coupe, et fasse des pressions en vue de faire changer les règlements relatifs au poids des charges de façon à pouvoir utiliser des trains routiers directement jusqu'à l'usine.

Détermination du nombre de camions requis

Scénario:

Selon N. O. Cash, contrôleur de la compagnie Jack Pine, des ventes médiocres ont causé un manque de disponibilité monétaire. Il demande donc à V. P. Lambert de couper les dépenses en immobilisations inscrites au budget pour l'année à venir, car la compagnie doit installer à l'une de ses usines, de nouveaux dispositifs anti-pollution.

Lambert pense que le nouveau système de transport est le seul domaine où il soit encore possible de diminuer les dépenses de capital. Il demande au chef du service forestier divisionnaire, monsieur P. M. Miller, d'examiner toutes les options susceptibles de réduire localement les immobilisations.

Pour l'année qui vient, Miller a projeté de transporter 425 000 m³ (150 000 cu) au moyen de trains routiers, alors que le reste des besoins de l'usine, 325 000 m³ (175 000 cu) seront livrés par voie de flottage. Pour fournir à ces besoins, on avait prévu au budget l'achat de deux ensembles équilibrés à un coût total de \$1 300 000. L'achat d'un autre ensemble, c'est-à-dire 6 semi-remorques, 3 trains routiers et une chargeuse, était prévu pour l'année suivante.

Miller voit une possibilité d'épargner en construisant une route de qualité inférieure pour les 24 km (15 mi) qui restent de la nouvelle route d'accès toutes saisons. Il croit que cela réduirait de \$300 000 ses dépenses en immobilisations, mais entraînerait des vitesses de déplacement plus faibles. Il ignore cependant de quelle façon cela affecterait le nombre de camions requis.

Kerry Allwood, un entrepreneur local en camionnage, possédant 10 semi-remorques semblables à celles que la compagnie se proposait d'acheter, cherche du travail. Miller se rend compte que l'emploi des camions d'Allwood pourrait également réduire ses besoins en capital. On se trouve donc ici devant quatre possibilités:

1. Les camions d'Allwood et l'un des ensembles de trains routiers de la compagnie Jack Pine effectuent le transport sur une route d'accès de haute qualité.
2. Les camions d'Allwood et l'un des ensembles de trains routiers de la compagnie Jack Pine effectuent le transport sur une route d'accès comportant une section de qualité médiocre.
3. Dans le système de trains routiers proposé, les camions d'Allwood remplacent toutes les semi-remorques de Jack Pine sauf deux.
4. Dans le système de trains routiers proposé, et sur une route d'accès dont une section est de qualité médiocre, les camions d'Allwood remplacent toutes les semi-remorques de Jack Pine, sauf deux.

Proposition:

Miller demande à son personnel de simuler la performance du système de trains routiers tel que conçu à l'origine, en tenant compte d'une route d'accès de haute qualité sur toute sa longueur, puis en diminuant la qualité de la route sur sa dernière section. De plus il fait simuler, dans les mêmes conditions, la performance du parc de camions d'Allwood afin de déterminer quels sont les coûts de transport et la production auxquels la compagnie Jack Pine devrait s'attendre si elle décidait d'utiliser ce parc de camions comme moyen de réduire ses dépenses en immobilisations.

Ainsi que l'indiquent les résultats du tableau 5, construire la dernière section de la route d'accès selon des normes inférieures est une option coûteuse. L'augmentation du coût de transport pour la production de la première année dépasse la réduction de \$300 000 dans les dépenses de capital. Miller conclut que la route d'accès devrait être construite selon des normes supérieures sur toute sa longueur et que retenir les services d'Allwood est la seule façon de réduire les dépenses.

Si on utilise le parc de camions d'Allwood, on se trouve devant une autre alternative: se servir des semi-remorques d'Allwood sur la grand'route et acheter six trains routiers, ou bien acheter un ensemble complet de trains routiers et faire transporter le bois par Allwood directement à l'usine. Le premier choix permettrait une économie de capital de \$520 000 ce qui représente seulement \$14 000 de plus que le second, mais le coût total de transport pour la production de l'année serait inférieur de \$160 000. Comme Miller veut minimiser ses coûts, il recommande à V. P. Lambert de choisir la première option.

Cependant Lambert est certain que les problèmes de démarrage des deux ensembles de trains routiers entraîneront une perte de production ainsi que des coûts plus élevés. Comme 40% de l'approvisionnement en bois de l'usine proviendra du nettoyage de la rivière, Lambert n'est pas sûr que l'usine reçoive suffisamment de bois. Il décide de n'acheter qu'un seul ensemble de trains routiers et de faire transporter le bois par Allwood directement à l'usine. De cette façon le personnel de la compagnie Jack Pine pourra se familiariser avec le système de trains routiers et le mettre au point sans pour cela menacer les approvisionnements en bois. Lambert diffère l'achat des deux autres ensembles jusqu'à l'année suivante alors que son personnel jouira d'une certaine expérience avec le système de trains routiers, ce qui en facilitera l'implantation, et alors que la compagnie sera, du moins l'espère-t-il, en meilleure situation financière.

Tableau 5. Options équilibrées, scénario relatif à la détermination du nombre de camions.

		SYSTEME INSCRIT AU BUDGET	SYSTEME INSCRIT AU BUDGET (SECTION DE ROUTE MÉDIOCRE)	CAMIONS D'ALLWOOD	CAMIONS D'ALLWOOD (SECTION DE ROUTE MÉDIOCRE)
SEMI-REMORQUES	Nombre de camions	6	6	10	10
	Total des heures travaillées	10,2	10,2	11,5	13,2
	Rendement, %	95,9	95,9	96,2	95,3
	Nombre de voyage/poste/camion	3,12	3,12	2,00	2,00
	Coût du camionnage, \$/t (\$/T)	3,80 (3,45)	3,80 (3,45)	6,85 (6,22)	8,87 (8,04)
TRAINS ROUTIERS	Nombre de camions	3	3		
	Total des heures travaillées	10,2	12,7		
	Rendement, %	97,3	96,3		
	Nombre de voyages/poste/camion	3,03	3,00		
	Coût du camionnage, \$/t (\$/T)	2,22 (2,02)	2,97 (2,69)		
COUT TOTAL DE CAMIONNAGE, \$/t (\$/T)		6,02 (5,47)	6,77 (6,14)	6,85 (6,22)	8,87 (8,04)
CHARGEUSE	Total des heures travaillées	11,1	12,5	12,4	13,5
	Rendement, %	59,5	49,0	60,3	55,3
	Nombre de charges/poste	9,10	9,00	20,0	20,0
	Coût du chargement, \$/t (\$/T)	0,88 (0,80)	0,97 (0,88)	0,92 (0,83)	0,98 (0,89)
COUT TOTAL DE TRANSPORT, \$/t (\$/T)		6,90 (6,27)	7,74 (7,02)	7,77 (7,05)	9,85 (8,93)
PRODUCTION JOURNALIERE (2 postes), m ³ (cu)		129 (364)	127 (360)	141 (400)	141 (400)

Normes d'opération

Scénario:

Miller, le chef du service forestier, a reçu l'approbation nécessaire aux dépenses en immobilisations qu'implique le nouveau système de camionnage. En vue de préparer son implantation, il demande à Jean Deplace, le surintendant au transport, d'en définir les normes d'opération.

Deplace a toujours été troublé par le fait que lors du flottage, les camions faisant le transport jusqu'au lieu de décharge à la rivière accusaient de longues attentes au chargement. Pour livrer son bois selon l'horaire prévu, il devait payer des heures supplémentaires aux conducteurs, ce qui augmentait ses coûts de transport. Les courtes distances étaient par ailleurs la cause d'interférences qui avaient déjoué tous ses efforts en vue de remédier à la situation.

Etant donné que les distances de transport à partir de la nouvelle assiette de coupe sont beaucoup plus longues, Deplace décide de corriger le problème dès le début. Il a l'impression que les difficultés proviennent du fait qu'un trop grand nombre de camions dépendent de la même chargeuse. Réflexion faite, il conclut que le nombre de camions (NC) qui peuvent dépendre d'une même chargeuse avec un encombrement minimum varie selon la longueur du voyage. Il pense que l'équation

$$NC = \frac{\text{Temps prévu par voyage (heures)}}{\text{Temps de chargement d'un camion par la chargeuse (heures)}}$$

permettrait d'arriver à une bonne estimation. On peut en déduire que pour minimiser les coûts dans la nouvelle coupe, il faut utiliser onze camions.

Deplace mentionne au contremaître au transport, G.M. Mack, qu'il est en train de préparer les normes d'opération du nouveau système. La durée des attentes inquiète également Mack, car il doit payer des heures supplémentaires pour atteindre son objectif de production. Il sait que ce problème provient de ce que Jacques Lelièvre et les autres conducteurs arrivent tous à la jetée à peu près à la même heure le matin, alors que l'opérateur de la chargeuse, H.E. Drinkwater, est en retard à son travail. Mack dit à Deplace que, d'après lui, un horaire amélioré et un certain contrôle des opérateurs permettraient d'augmenter la production.

Proposition:

En vue de mettre au point les normes d'opération du nouveau système, Deplace fait appel au modèle de simulation du camionnage. Il utilise pour le nombre de camions et l'intervalle de temps entre les camions une gamme de valeurs qui lui permettront de déterminer quelle est la combinaison de ces deux variables qui minimisera les coûts et maximisera la production. Les figures 3 et 4 montrent comment l'action conjuguée des deux variables

affecte les coûts de transport et la production totale. Il trouve que le système est très sensible au changement dans le nombre de camions, mais la relation entre le nombre de camions et les coûts de transport se révèle plus complexe qu'il n'avait d'abord pensé. L'emploi de dix ou onze camions surchargeait le système, produisant de longues files d'attente et des coûts élevés. L'utilisation de six camions par chargeuse entraînait de faibles coûts de camionnage, mais en y ajoutant les coûts élevés de chargement qui résultaient d'une faible production, on obtenait des coûts totaux de transport qui étaient loin d'être les moindres. Un compromis entre le rendement du camion et celui de la chargeuse permit de minimiser les coûts totaux de transport en utilisant 9 camions. Deplace conclut que le nombre optimal de camions par chargeuse peut être déterminé à l'aide de l'équation suivante:

$$NC = \frac{\text{Temps prévu par voyage (heures)}}{\text{Temps de chargement d'un camion par la chargeuse (heures)}} - 1$$

Il trouve également que la production est maximisée avec 10 semi-remorques, plutôt qu'avec les 9 camions qui minimisent les coûts. Avec plus de 10 camions dans le système, la longueur des attentes à la jetée fait de la durée du poste de travail un facteur limite. Les camions n'ont pas le temps de retourner en forêt chercher une autre charge, et ainsi la production totale diminue.

L'intervalle de temps prévu entre les camions avait moins d'effet sur le coût du transport, bien que là aussi il fût possible de réaliser quelques économies. Lorsque Deplace montre à Mack les résultats de la simulation, ce dernier se rend compte que l'intervalle optimum est plus long que celui dont il se servait. Augmenter l'intervalle de temps entre les camions accroît leur rendement ainsi que la longueur du temps durant lequel la chargeuse doit attendre. Toutefois lorsque l'intervalle est long, le coût de la chargeuse au repos et de la basse production augmente le coût total de transport. Par ailleurs, un court intervalle est également coûteux, à cause du coût des camions au repos et de leur basse production. Mack s'aperçoit que l'intervalle optimal (0,45 heure) est de 25% plus long que le temps moyen nécessaire à la chargeuse pour charger un camion, ce dernier temps correspondant à l'intervalle déjà utilisé. Un plus long intervalle minimise les effets que la variation à l'intérieur même du système produit sur la performance globale.

En partant de ces résultats, Deplace recommande à Miller, le directeur du service forestier de la compagnie Jack Pine, de n'employer que neuf des semi-remorques d'Allwood pour effectuer le transport direct et de prévoir un intervalle de 30 minutes. Miller décide de garder le camion supplémentaire en réserve afin d'être sûr de rencontrer ses objectifs de production.

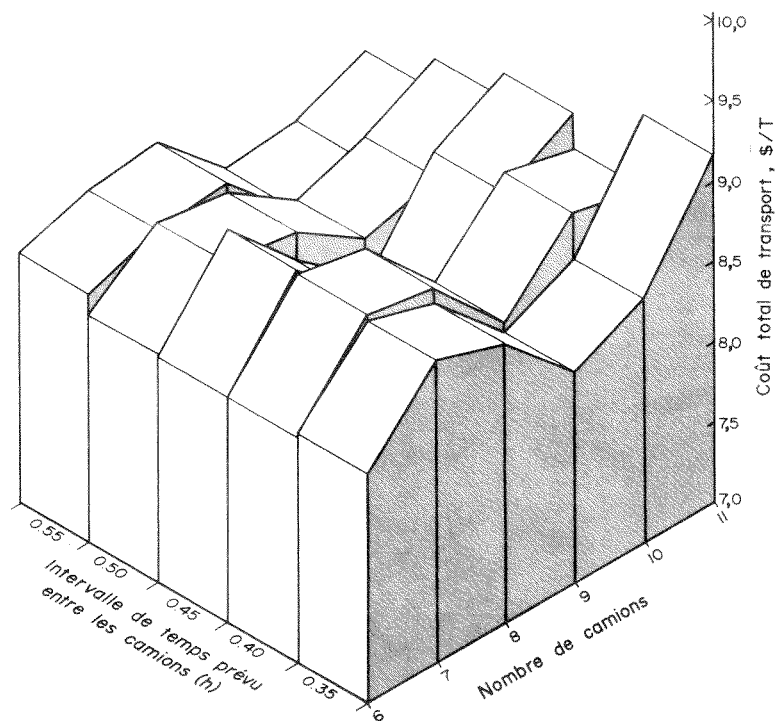


Figure 3. Effets sur le coût total de transport du nombre de camions et de l'intervalle de temps prévu entre eux. Le système atteint un coût minimal pour tous les intervalles prévus lorsque 9 camions dépendent de la même chargeuse. On obtient les coûts les plus bas [\$9.09/t (\$8.25/T)] si on prévoit un intervalle de 0,45 heure.

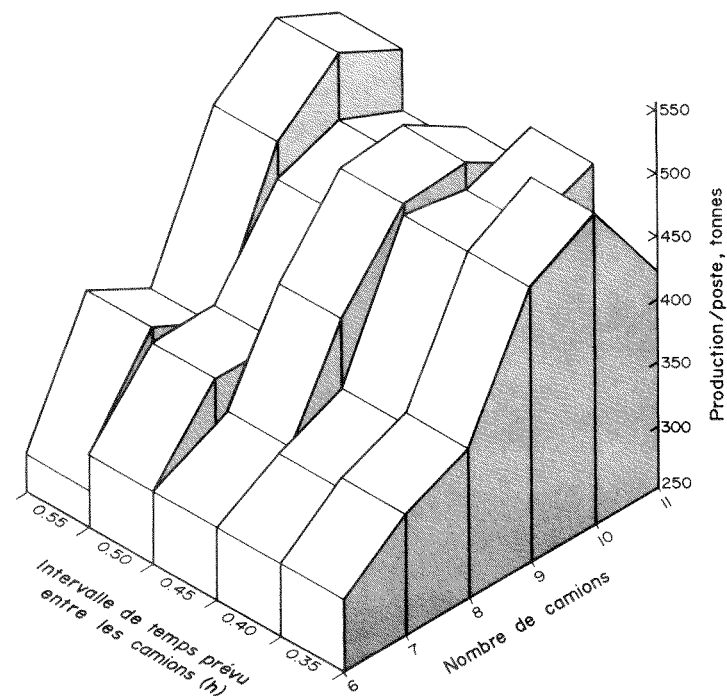


Figure 4. Effets sur la production totale par poste du nombre de camions et de l'intervalle de temps prévu entre eux. Le système atteint une production maximale lorsque la chargeuse a 10 camions à charger. La combinaison de 9 camions et d'un intervalle de 0,45 heure entre eux produit le point de rencontre optimal entre la production et le coût.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Ainsi que le montrent les applications précédentes, la simulation peut être une technique utile à la solution des problèmes qui se présentent à tous les niveaux de décision. Il est cependant nécessaire de faire quelques commentaires d'ordre général relativement à l'application de la simulation et des autres techniques de la recherche opérationnelle.

Banque de données

Les modèles de simulation, comme la plupart des autres techniques de recherche opérationnelle, exigent une quantité importante de renseignements, surtout si on les compare aux données que demandent plusieurs modèles déterministes. Ce facteur est, semble-t-il, le principal obstacle à l'utilisation de la recherche opérationnelle en exploitation forestière, où les banques de données sont généralement modestes par rapport à celles d'autres industries.

Cependant les modèles mathématiques ne sont pas meilleurs que l'information qu'on y entre. L'expression anglaise "Garbage In, Garbage Out" (concept GIGO) définit bien la situation. Un modèle de simulation ou tout autre modèle exploite des données d'entrée; il ne se rend pas compte des imperfections de ces données et ne les corrige pas. Les modèles compilent les données ou les convertissent sous une forme plus pratique. Souvent la cueillette d'un plus grand nombre de renseignements sur un système peut donner de meilleurs résultats qu'un effort plus important consacré à la construction et au raffinement du modèle.

En simulation, si l'on n'a pas de solides données fondamentales, ou bien il faudra effectuer un grand nombre d'essais sur ordinateur de façon à réduire la variation dans les résultats, ou bien il y aura diminution de la confiance que les responsables des décisions auront dans les conclusions. Les deux options peuvent s'avérer coûteuses. Ainsi, dans l'exemple que nous venons de voir relativement aux normes d'opération, la différence dans le coût de transport entre l'intervalle optimal et le suivant n'était que de \$0.09/t. On doit avoir énormément de confiance dans les résultats pour justifier une décision basée sur cette différence, bien qu'une telle décision soit de nature à faire épargner \$20 000 par année à la compagnie Jack Pine.

La valeur d'une banque de données ne varie pas en fonction inverse des différences entre les coûts étudiés, mais bien en fonction de la confiance que le responsable des décisions peut accorder à ses conclusions. Le refus de reconnaître le concept GIGO peut entraîner de la part des responsables, de très mauvaises décisions, prises à partir des résultats de la simulation. Les dirigeants d'entreprise ne s'attendent pas à ne jamais se tromper dans le choix qu'ils font eux-mêmes des solutions à apporter, mais on a tendance à attendre une précision de 100% de modèles basés sur les mêmes données. Quelle que soit la méthode utilisée, une meilleure information constitue la clé à l'amélioration des décisions; on ne doit donc pas sous-estimer la valeur d'une bonne banque de données.

Adaptation de modèles actuels

On ne devrait jamais forcer un modèle de simulation à faire ce pourquoi il n'a jamais été conçu, ni le critiquer parce qu'il ne réussit pas à le faire. La facilité avec laquelle on peut adapter des modèles déjà existants, ou utiliser des programmes tout faits a quelquefois entraîné une mauvaise application des techniques de recherche opérationnelle. Le fait qu'un programme ait donné de bons résultats lors d'une application ne signifie pas qu'il en donnera d'aussi bons en d'autres cas. Les hypothèses posées durant la construction du modèle peuvent ne plus être valables; les motifs des utilisateurs du modèle peuvent n'être plus les mêmes. Aussi les modèles devraient-ils toujours être vérifiés selon des normes appropriées de précision avant d'être utilisés.

On devrait choisir le genre de modèle qui convient le mieux à un problème et non façonner le problème de façon à ce qu'il s'adapte à la technique. Comme bien d'autres, les analystes-informaticiens ont tendance à s'appuyer sur les méthodes qui leur sont les plus familières et avec lesquelles ils ont déjà remporté le plus de succès. Le responsable des décisions a le devoir de s'assurer que la technique employée est appropriée à son problème.

Complexité du modèle

En simulation, la puissance et le caractère général d'un modèle n'ont rien à voir avec son utilité à traiter d'un problème spécifique. Le modèle le plus fort qui puisse être construit peut n'être pas suffisamment précis pour être utile. D'autre part, un modèle puissant peut être beaucoup trop détaillé pour justifier les coûts et les efforts additionnels qu'entraînera son utilisation dans tel cas bien déterminé. Dans la construction d'un modèle, "plus gros et plus compliqué" ne signifie pas nécessairement "meilleur".

La complexité d'un modèle doit correspondre à l'utilisation éventuelle qui en sera faite. Il faut mettre dans le processus de mise au point du modèle, un effort proportionnel à l'importance des décisions à prendre. Cependant lorsqu'on construit un modèle dans un but particulier, la meilleure règle à suivre consiste à le garder le plus simple possible, compte tenu des objectifs de l'étude.

Rôle de la simulation dans la prise des décisions

Les modèles de simulation sont couramment l'objet d'une conception erronée selon laquelle ils fournissent des solutions optimales objectives et libres de toute erreur. Cela implique que la prise de décisions devient automatique si toutes les variables sont convenablement définies. Il ne faut pas oublier que des décisions ont dû être prises tout au long du processus de simulation, et alors que les hypothèses sont censées être basées sur la raison, ces décisions sont subjectives. Souvent un problème est influencé par des facteurs non-quantifiables. Aussi même lorsqu'on a trouvé une solution, la modifier de façon à tenir compte de ces autres facteurs, puis la mener à bonne fin, continue à demander l'expérience, l'intuition et le jugement des responsables des décisions. Les modèles peuvent aider les dirigeants d'entreprises et de ce fait leur permettre de prendre de meilleures décisions, mais il ne remplacent en aucun cas les responsables de ces décisions.

CONCLUSIONS

La simulation procure une méthode d'étudier les problèmes causés par divers systèmes sans avoir toutefois à traiter directement le système lui-même. Cette méthode conduit à une meilleure compréhension du système et laisse entrevoir l'importance des facteurs qui en modifient la performance. C'est donc un outil qui peut aider les responsables des décisions à trouver des solutions à leurs problèmes lorsque les systèmes comportent plusieurs éléments interdépendants.

Au cours de l'étude du système de camionnage de N.S.F.I., le test rétrospectif de vérification du modèle de camionnage a montré que celui-ci prévoit avec précision la performance du système, et ce dans une gamme étendue de conditions du milieu. L'utilisation, pour fins de vérification, d'une période de cueillette d'une seule journée n'a malheureusement pas fourni les données de longue durée sur le comportement mécanique nécessaires à une comparaison de la performance à régime permanent du système. Cependant comme les erreurs produites ne dépassaient généralement pas cinq pour cent, le modèle de camionnage s'est trouvé vérifié.

Les quelques exemples donnés dans ce rapport montrent que la simulation trouve son application à tous les niveaux de décision. Bien que les modèles de simulation soient surtout avantageux pour évaluer les changements majeurs à apporter à un système ou la conception d'un nouveau système, l'amélioration des méthodes de fonctionnement de systèmes déjà en usage peut permettre de réduire les coûts, ce qui est un des soucis des cadres moyens et inférieurs.

ANNEXE

DIMENSIONS DES CHARGES ET CÔUTS HORAIRES
UTILISÉS POUR LES ESSAIS DE SIMULATION

TYPE D'EQUIPEMENT	DIMENSIONS DE LA CHAR- GE t (T)	CÔUTS HORAIRES	
		\$/HMP _v *	\$/HMP **
10-roues	15,9 (17,5)	5,00	16,50
Semi-remorque	24,9 (27,5)	7,10	23,50
Train routier	49,9 (55,0)	10,20	32,00
Chargeuse	----	15,00	35,00

Les calculs de coût faits dans ce rapport sont basés sur un coût en \$/HMP lorsque l'équipement fonctionne et sur un coût en \$/HMP_v lorsqu'il est en poste, mais au repos. Ainsi un camion qui travaille en tout 11 heures/jour, dont 6 heures de transport, aurait 6 heures selon un taux en \$/HMP et 5 heures selon un taux en \$/HMP_v.

On a supposé des taux de main-d'oeuvre de \$7.75/HMP_v pour les conducteurs de camions et de \$9/HMP_v pour les opérateurs de chargeuses. Un facteur de 1,5 pour heures supplémentaires a été appliqué au temps de travail supérieur à 10 heures.

* HMP_v = heure-machine prévue

** HMP = heure-machine productive

BIBLIOGRAPHIE

1. Garner, G.J. Study of a Contractor Hauling System. FERIC Tech. Rept. TR-24, 1978. pp. 20.
2. Kleijnen, J.P.C. Statistical Techniques in Simulation, Parts 1 and 2. Marcel Dekker, Inc., New York, 1974. pp. 775.
3. Naylor, T.H., J.L. Balintfy, D.S. Burdick, et K. Chu. Computer Simulation Technique. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1966. pp. 352.
4. Phillips, D.T., A. Rowindran, et J.J. Solberg. Operations Research: Principles and Practice. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1976. pp. 585.
5. Routhier, J.-G. A Simulation Model for the Analysis of Pulpwood and Sawlog Trucking. PAPRICAN Logging Res. Rept. LRR-57, 1974. pp. 51.