

National Library

Bibliothèque nationale du Canada

Canadian Theses Service , Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30.

AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait paryenir une photocopie de qualité inférieure.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, tests publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30.

Méthode Numérique de Sélection de Logiciels pour ·la Petite Entreprise de Construction

'Paul Vincent Gervais

Mémoire

présenté

au

Centre des Etydes

gur le (Bâtiment

comme exigence partielle en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en Génie (Bâtiment) Université Concordia Montréal, Québec, Canada

Octobre 1987

© Paul Vincent Gervais, 1987

Permission has been granted "to-the National Library of Canada to microfilm this thesis and to lend or sell copies of the film.

The author (copyright owner) reserved other publication rights, and neither the thesis nor extensive extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her written permission.

L'autorisation a été accordée à la Bibliothèque nationale du Canada de microfilmer cette thèse et de prêter ou de vendre des exemplaires du film.

L'auteur (titulaire du droit d'auteur) se réserve autres droits de publication; ni la thèse ni de longs extraits de celle-ci doivent être imprimés autrement reproduits sans son autorisation 'écrite.

0-315-41657-2

ISBN

SOMMAIRE

Méthode Numérique de Selection de Logiciels pour la Petite Entreprise de Construction

Paul Vincent Gervais

L'informatisation des activités de gestion, qui constitue une étape importante dans l'évolution des petites entreprises de construction, se réduit généralement à l'acquisition simultanée de plusieurs logiciels spécialisés. Etant donné le manque d'expertise en informatique au sein de ces entreprises, le processus de sélection des logiciels risque souvent de se solder par un échec et ainsi compromettre la réussite de toute l'informatisation.

Cette étude présente le développement et la vérification d'un modèle numérique pour effectuer la sélection de logiciels. Ce modèle permet de guider le choix d'un gestionnaire de petite entreprise de construction parmi un certain nombre de logiciels disponibles lorsqu'une évaluation de ces derniers a été effectuée au préalable. Une revue de la littérature nous permet également de discuter en détail des critères de sélection à considérer, lors du choix de logiciels.

Le modèle numérique proposé, fondé sur les techniques de la programmation linéaire des objectifs, permet de considérer plusieurs critères de sélection simultanément, qu'ils soient quantitatifs ou qualitatifs, afin d'établir le meilleur choix possible de logiciels et cé, quelles que soient les unités utilisées pour faire l'évaluation de ces logiciels. Il permet également d'établir des préférences ou priorités, parmi les critères de sélection retenus.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers mon directeur de thèse, Dr. Claude Bédard, qui m'a guidé par ses encouragements, ses précieux conseils et le temps qu'il a consacré durant tout le processus de préparation et de la rédaction de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier Messieurs François Lamy, Edmond Miresco, Jean Paradis et Albert Poirier, pour le temps qu'ils ont bien voulu consacré lors des entrevues effectuées dans leurs entreprises.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à la Direction de l'Enseignement et de la Recherche de l'École de Technologie Supérieure de l'Université du Québec, pour leur appui moral.

Finalement, je remercie tous ceux et celles qui m'ont encouragé et supporté durant ce processus.

A mon fils, Felix

TABLE DES MATIERES

1	1						•			·PΑ	GES
SOMM	AIRE					°				1	. 1 j
REME	RCIEMĖNI	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		<i>.</i> .	,						v
LIST	È DES TA	BLEAUX		'		• • • • •					х
LIST	E DES FI	GURES	• • • • • •							. , х	(ii
•	, , , ,	har		•	• .	_					
CHAP	ITRE 1	INTRODUCT	'ION'				•				~
1.1	PROBLEM	IATIQUE., 🚙	• • • • •					· · · · ·			1
		PORTEE DE						•			3
1.3	METHODO	COGIE ET L	IMITES	S DE	LA R	RECHE	RCHE .				4.
	. 1	,	, , ,		ι	.,		**	•	٠, ٠	,
CHAP:	TRE 2*	METHODOLO	GIE D	'EVAL	LUATI	ON.	'		•	1.	
2.1	CONTEXT	re					`				6,
2.2	INFORMA	ATISATION E	E L'E	NTREF	PRISE	Ξ	· (• • • •	1	• • •	<u>.</u> .	
•	2.2.1	AŅĄLYSE DE	S BÉS	OIŅS			٠٠٠ نهان	•,•••			9
•	•	2.2.1.1	CTIVI	TES A	A INF	TORMAT	riser.			. :	10
	2.2.2	RECHERCHE	PRIMA	IRE I	DE LC	OĞICII	ELS		··		11
* •	`	2.2.2.1	.OGICI	EĽS į	DEDIÈ	s ou	GENER	XUA:			11
	,	2.2.2.2 F	TINALIS	SATI	ָם ׁ א ַם	(CHÒ	IX PRI	MAIR	ε:.		18
	2.2.3	SELECTION	DES L	OGIĆ:	IELS			· • • • •			13
2.3	CRITERE	es de selec	NOIT				· • • • •		•		15
• ; -	2.3.1	CRITERES C	RITIO	UES .	برين		ن بيز،			••:	18
_	2.3.2	CRITERES C	DUANTI'	TATI	rs	.,			·		18
	.2. 3. 3	CRITERES	UALIT	AT,IF	5		• • • • •			• •	20
·		VALIDATION									
	2.3.5	FICHE D'EV	ALUAT	ĮON I	DES C	CRITE	RES			• • •	23
2.4 .	сноіх і	où Modele M	UMER Ì	QUE .		· · · · ·	· · · · ·			••	25
	2.4.1 .	MATRICE D	ÉVALU	ATIO	N			· .		« .	27,
		ANALYSE HI									
•	2.4.3	ANALYSE CO	YAKTUC	ANTA	GE					••	35
,	2.4.4	MODELE MUL PROGRAMMAT	TIDIM	ENSI	ONNEL						38
	2.4.5	PROGRAMMAT	TION L	INEA	IRE .		<i>.</i>		• • • •		39
	2.4.6	PROGRAMMAT	TON E	TNEAT	TRE T	sés m	B.TECT1	FS -	, , , , ,		44

CHAPITRE 3	MODELE NUMERIQUE POUR LA SELECTION	
•	DE LOGICIELS	
_	MMATION LINEAIRE EN NOMBRE ENTIER	
3.2 FORMUL	ATION DU PROBLEME	54
	FORMULATION GENERALE	54
,,	3\2.1.1 PRIORITE	
• •	3.2.1.2 THEORIE DE PREFERENCE	
3. 2. 2	VARIABLES DECISIONNELLES	59
3.2.3	DEFINITION DES OBJECTIFS ET CONTRAINTES	
	3.2.3.1 CRITERE QUANTITATIF	
• .	3.2.3.2 CRITERES QUALITATIFS	62
,	3.2.3.3 CONTRAINTES RIGIDES	64
3.2.4	DEVELOPPEMENT DE LA FONCTION ECONOMIQUE	
:	3.2.4.1 CRITERE QUANTITATIF	65
, , , ,	3.2.4.2 CRITERES QUALITATIFS	66
3.3 CAS DE	BASE	67
3.3.1	FORMULATION MATHEMATIQUE	68
• 1		
CHAPITRE 4	ANALYSE DES RESULTATS	
4.1 LOGICI	EL LIMDO	71
4.2 ETUDE	PARAMETRIQUE SANS PRIORITE	73
4 4.2.1	ANALYSE INITIALE	73
	4.2.1.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	75
4.2.2		76
•	4.2.2.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	80
4.2.3	SOMMATION DES COUTS DE LOGICIELS	81
•	4.2.3.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	82
4.2.4	NOUVELLE FORMULATION DU MODELE NUMERIQUE	83
4.2.5	CAS DE BASE MODIFIE	87
•	4.2.5.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	88
4.2.6	TRANSITION 55199-52209	
	(CAS DE BASE MODIFIE)	
	4.2.6.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	
	PARAMETRIQUE AVEC PRIORITE	93
4.3.1	PRIORITES DES CRITERES SELON L'AUTEUR (CAS DE BASE)	9:
	4.3.1.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	

	4,3.2	CAS DE BASE MODIFIE AVEC PRIORITE	
	•	4.3.2.1 INTERPRETATION DES RESULTATS	,
·	4.3.3	PRIORITE - VENDEUR	
•		4.3 3.1 INTERPRETATION DES RESULTATS10	
4.A	соисти	SION10	01
		پيمر	
CHAP	ITRE 5	MODELE MULTIDIMENSIONNEL	02
5.1	FORMUL	ATION GENERALE	-
/ ·	5,₹.,1	CRITERES QUANTITATIFS	04
ļ	5,1.2	CRITERES QUALITATIFS r	04
ŕ	Ÿ	5. 1. 2. 1 PONDERATION DES COTES	
		PAR ACTIVITE	
5.2.		DN DU PROBLEME	
	5.2.1	METRIQUE DU CRITERE QUANTITATIF	
-		METRIQUE DES CRITERES QUALITATIFS 9 10	
<i>μ</i>		EVALUATION DES LOGICIELS	
	5.2.4	ANALYSE DE SENSIBILITE	
		5. 2. 4.1 INTERPRETATION DES RESULTATS 1	
5.3	COMPAR	AISON DES MODELES	
′ 5. 4 _,	DISCUS	SION	14
	•		
CHAP	ITRE 6	CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS POUR RECHERCHE FUTURE	
5 . 1	CONCLU	SIONS 1	16
6.2		TIONS POUR RECHERCHE FUTURE	
	٠,		
BIBL	IOGRAPH:		
ANNE	XE 1 A	59	33
·	LISTE	DES LOGICIELS PRESELECTIONNES1	34
		DES ENTREVUES AUPRES DE QUATRE RISES QUEBECOISE1	36
	GRILLE	DE PREFERENCE	41
\ 2	EVALUA	TION DES LOGICIELS RETENUS	43
'e '	SORTIE	STANDARD DU LOGICIEL LINDO1	53
		ES DE PROBLEMES EN PROGRAMMATION	
•	-	RE EN NOMBRE ENTIER	
•	PECILI T	ATS DES ESSAIS SORTIE DU LOGICIEL LINDO1	58

				ø	PA	GES
	Tableau	2.1	Critères de sélection de logiciels			17
	Tableau	2. 2	Identification des personnes consultée	es		24
	∼Tableau	2.3	Matrice d'évaluation			28,
_	Tableau	2.4	Comparaisons par paires des alternativo pour le critère/objectif travail			30
`	Tableau	2, 5	Ordre de préférence des critères/objectifs		•	31
	Tableau	2.6	Facteur préférentiel		•	32
	Ţableau	2.7	Classement pour le critère/objectif travail	· • • • • •		32
	Tàbleau	2.8 ·	Pointage final pour l'alternative CORPORATION	• • • • •	•	33
	Tableau	2.9	Classement final des alternatives			34
,	Tableau	2.10	Budget alloué pour l'acquisition de l'équipement informatique		• _	36
	Tableau	2. 11	Soumissions recues	• • • • • •		36
	Tableau	2.12	Sommaire des comparaisons	<i>L.</i>	•	36
	Tableau	3.1	Formulation des objectifs et écarts correspondants à minimiser			56
	Tableau	3.2	Grille de préférence		•	58
	Tableau	3.3,	Variables décisionnelles associées aux logiciels retenus	• • • • •	•	60
	Tableau	3. 4	Compilation des cotes d'évaluation et coûts initiaux pour chacun des logicie			68
	Tableau .	4.1	Résultats pour un DEC variant par trai de 500\$ (annexes 20 à 25)		•	74
•	Tableau	4.2	Résultats pour un DEC variant par tra	nches	,	

Tableau ,	4.3	Résultats pour les transitions 5519\$-5520\$ et 5741\$-5742\$ (annexes 32 à 35) 81
Tab/leau	4.4	Résultats avec le cas de base modifié (annexes 36 à 43) 87
Tableau	4.5	Vérification de la transition 5519\$-5520\$. (annexes 44 à 47) 91
Tableau	4.6	Résultats avec le cas de base et priorités (annexes 48 à 51)
Tableau	4.7	Résultats avec le cas de base modifié et priorités (annexes 52 à 55)
Tabléau	4.8	Résultats avec le cas de base modifié et priorité accordée au CVE (annexes 56 à 59)99
Tableau	5.1	Résultats des MFS et MFO pour l'activité traitement de texte 107
Tableau	5. 2 _,	Résultats des MFS et MFO pour l'activité planification 107
Tableatu	5.3	Résultats des MFS et MFO pour l'activité estimation
Tableau	5.4	Logiciels retenus en fonction de la variable I
Tableau	5.5	Logiciels retenus par les deux modèles

ø

LISTE DES FIGURES

		•	PAGES
Figure	2.1	Processus d'informatisation	8
Figure	2.2	Eventail de choix de logiciels	13
Figure	2.,3	Liens hiérarchiques pour le choix de carrière	29
Figure	3, 1	Solution utilisée par la méthode du "B&B"	52
Figure	5.1	Analyse de sensibilité pour les logiciels de l'activité traitement de texte	110
Figure	5.2	Analyse de sensibilité pour les logiciels de l'activité planification	110
Figurè	5.3	Analyse de sensibilité pour les logiciels de l'activité estimation	110

GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

AES activité estimation API. activité planification activité traitement de texte. ATT В, branchement de décision "branch-and-bound" B&B résurtat préférentiel C, \ CE. cote d'évaluation reque par le logiciel critère k critère critique CR CAP critèré qualitatif "apprentissage" critère quantitatif "coût initial" CCI CDO critère qualitatif "documentation" critère qualitatif "flexibilité" CFL CONS consultation corporation CORP CUT critère qualitatif "utilisation" critère qualitatif "vendeur" CVE déboursé en capital DEC évaluation du logiciel j EL, \ fonction économique 🕏 FE Ι importance accordée à MFO. ICQ. importance du facteur subjectif ĹE, logiciels d'estimation LP, logiciels de planification logicrels de traitement texte LT, MFO. métrique des critères quantitatifs pour logiciel i metrique des critères qualitatifs pour le logiciel v MFS. priorité accordée à l'objectif t Ρ. pondération des cotes par activité-PCA's petite ét moyenne entreprise PME recherche et développement R&D sommation de l'inverse des coûts pour l'activité l sommation des coûts réels des logiciels retenus SCR

UNIV	/université
VFE	valeur de la fonction économique
$\mathbf{x}_{\mathbf{y}}$ (variables décisionnelles et d'écart °
z ` ·	valeur de la fonction économique
Zo.	valeur de la fonction économique obtenue avec la programmation linéaire sans restriction
Z	valeur de la fonction économique pour cette . itération
Z•	valeur de la fonction économique avec la programmation linéaire en nombre entier
b,	but visé par l'objectif t
e	variable d'écart négatif qui reflète la sous- réalisation d'un objectif ι
e:	vaxiable d'écart positif qui reflète l'excédent, dans la réalisation d'un objectif z
f ₄ (x)	fonction l'inéaire des variables décisionnelles représentant les objectifs à atteindre
m	nombre d'activité considérée
n'	nombre de logiciel dans une activité
p · ·	nombre déterminé par la théorie de préférence
q	nombre total de logiciels considérés 🌺 🗋
r ·	nombre de critères qualitatifs
х ,	variable décisionnelle composant une fonction linéaire
у .:	indice désignant un nombre dans le texte
τ, j, k, i	indices

sommation

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 PROBLEMATIQUE

L'entreprise de construction québécoise utilise peu l'informatique comme outil de gestion. Cependant, l'évolution constante des technologies, la complexité de la réalisation des projets et la compétition de plus en plus grande dans l'industrie de la construction obligent les gestionnaires d'entreprise à considérer, de plus en plus sérieusement, l'approche informatique afin de faire face à ces changements et d'assurer un mellleur suivi des travaux.

Certaines grandes entreprises utilisent déjà, sur des ordinateurs de grande puissance, des logiciels complexes, capables d'effectuer plusieurs opérations de gestion de projet à des coûts très élevés. La petite entreprise, dans l'industrie de la construction, ne peut cependant pas se permettre de tels coûts. La venue de la micro-informatique, au début des années 80, ainsi que le développement de nombreux logiciels pour micro-ordinateur ont rendu possible l'accès aux outils informatiques à la petite entreprise de construction.

Lorsqu'il s'agit de procéder à l'informatisation d'une entreprise, la littérature technique se borne o L généralement à discuter et évaluer quantitativement les critères "objectifs" tels que les fichés techniques, la compatibilité et les coûts reliés à l'acquisition d'un système informatique. Par contre, de nombreux critères "subjectifs" tels que la qualité de la documentation de base, la facilité d'utilisation ou le service après vente sont identifiés dans cette littérature et aucun mécanisme de quantification n'y est proposé pour effectuem l'évaluation d'un logiciel à l'aide de ces critères. Une sélection de logiciels, basée uniquement sur des critères objectifs, ne garantira que certains aspects de la performance globale; les autres aspects de la performance, qui sont généralement associés aux critères subjectifs, pourront toutefois déterminer le succès final du processus d'informatisation.

Enfin, lors de l'informatisation d'une entreprise, un certain nombre d'activités sont susceptibles d'être informatisées simultanément. La littérature technique mentionne fréquemment l'intervention de fournisseurs de logiciels, qui spécifient, dans une proposition globale, un groupe de logiciels satisfaisant les divers besoins identifiés. Dans ce cas, rien ne garantit que les meilleurs logiciels disponibles sur le marché aient été considérés pour chaque activité, dans la proposition globale.

1.2 BUT ET PORTEE DE LA RECHERCHE

2

Le problème de la sélection de logiciels se résout généralement de façon empirique, souvent à partir de recommandations d'amis ou d'autres utilisateurs. Nous comptons maintenant élaborer une démarche systématique qui permettra, au gestionnaire d'une petite entreprise de construction, de choisir parmi un certain nombre de logiciels disponibles, ceux qui satisferont le mieux ses exigences.

Plus spécifiquement, cette approche devra:

- respecter un budget global d'acquisition;
- retenir un groupe de logiciel, soit un logiciel pour chacune des activités à informatiser;
- sélectionner le meilleur logiciel, pour une activité donnée, en tenant compte de critères de sélection tant objectifs que subjectifs.

1.3 METHODOLOGIE ET LIMITES DE LA RECHERCHÉ

Une revue de la littérature nous permettra d'abord d'identifier les besoins typiques, en informatique, des petites entreprises de construction ainsi que les critères qui sont généralement utilisés pour faire l'évaluation de logiciels. Par la suite, nous compilerons une liste de critères de sélection les plus significatifs, de manière à pouvoir comparer entre sux un certain nombre de logiciels de gestion applicables aux besoins informatiques préalablement identifiés. Nous assignerons par la suite, à l'aide de ces critères, des cotes d'évaluation à chacun des logiciels. Enfin, nous évaluerons différentes approches numériques, incluant les techniques de la recherche opérationnelle, afin de déterminer une méthode qui soit capable de résoudre le problème de la sélection de logiciels tel que défini précédemment.

Sur le plan conceptuel, il ne s'agit pas d'étudier en détail les cotes d'évaluation, ni les méthodes pour les obtenir, mais plutôt de développer une approche systématique pour effectuer la sélection de logiciels à partir de ces cotes. Il n'est pas dans nos intentions non plus d'approfondir la démarche menant à la prise de décision d'informatiser une entreprise de construction, bien que celle-ci soit essentielle à la réussité d'une telle opération. Nous visons plutôt à donner un outil au

gestionnaire, outil qui lui permettra, une fois qu'il aura les évaluations des logiciels selon les différents critères retenus, de faire un choix judicieux qui tiendra compte à la fois de critères objectifs et subjectifs pour un budget d'investissement donné.

(P)

Sur le plan méthodologique, il est pertinent de mentionner que quelques évaluateurs externes seront consultés, appartenant à des entreprises déjà informatisées, afin de vérifier l'exactitude des critères retenus. A la suite de cette mini-enquête, des cotes d'évaluation seront systématiquement décernées à un certain nombre de logiciels commerciaux, en faisant appel à ces mêmes critères. Les cotes ainsi obtenues seront significatives c'est-à-dire qu'elles représentement la perception d'évaluateurs expérimentés dans l'usage de produits informatiques.

CHAPITRE 2 *

METHODOLOGIE D'EVALUATION

2.1 : CONTEXTE

Les premières tentatives d'informatisation des. entreprises de construction au Québec datent de la fin des années 60. A cette époque, les seuls types d'ordinateurs disponibles coulaient au-delà de 100 000\$. Seule la grande entreprise pouveit alors se payer de tels outils pour effectuer la gestion de ses activités.

La venue de la micro-informatique, au début des années 80, responsable de la barsse du rapport coût/capacité du matériel informatique et de la mise sur le marché de nombreux logiciels d'application, a ouvert la voie à l'informatisation des opérations de gestion dans l'industrie.

L'industrie de la construction reste cependant encore réticente à reconnaître ce changement. Au Québec, on estime que de 5% à 7% seulement des entreprises sont informatisées. Les principales causes qui ont été identifiées sont: le manque de familiarité avec cetté

technologie et le mysticisme qui l'entoure, le caractère traditionnel et conservateur des entreprises de construction et l'incapacité d'évaluer la valeur réelle des logiciels.

L'informatisation de l'entreprise ne doit pas avoir pour sepl objectif l'acquisition d'équipements informatiques et de logiciels. Or cette approche memble être celle qu'ont adoptée les PME au Québec jusqu'à maintenant. Pour sa part, la grande entreprise développe elle-même son système informatique. ou engage des spécialistes pour le faire, ce qui implique un investissement financier qui peut dans certains cas égaler le coût d'acquisition du système complet, c'est-à-dire matériel et logiciels de base. La petite entreprise, qui ne doit pas être considérée comme une grande entreprise en format réduit. ne peut cependant pas se permettre de tels déboursés, compte tenu qu'elle manque de ressources financières, humaines et techniques.

Or l'Institut de Recherche en Construction rapporte, pour l'année 85, que 95% des 111 000 entreprises de construction au Canada ont un revenu annuel brut d'exploitation inférieur à un million de dollars et qu'environ 100 000 d'entre elles ont vingt employés et moins¹². Plus près de nous au Québec, 82% des entrepreneurs en construction inscrits à l'Office de la Construction du Québec ont cinq employés et moins¹³. Ces chiffres

7 0

permettent de conclure, en accord avec l'acception d'une PME au Canada's, que ce sont de petites entreprises qui oeuvrent dans l'industrie de la construction.

L'implantation d'un système informatique dans une petite entreprise de construction devrait s'effectuer suivant, un processus approprié, tel qu'illustré à la figure 2.1.

Prise de décision d'informatisation

Analyse des besoins

Recherche primaire de logiciels

Sélection de logiciels

Implantation des opérations

Figure 2.1 Processus d'informatisation: 1.15.15.15.17

Compte tenu de la description de la première et de la dernière étape, à la figure 2.1, qui relèvent de conditions spécifiques à chaque entreprise, la présente étude portera essentiellement sur les trois étapes intermédiaires, à savoir l'analyse des besoins, la recherche primaire de logiciels et la sélection de logiciels.

2.2 INFORMATISATION DE L'ENTREPRISE

L'informatisation de l'entreprise a pour but de fournir le support informatique au niveau des opérations et du management de l'eorganisation. Elle permet au gestionnaire de consacrer ainsi plus de temps à l'analyse des problèmes fondamentaux de management et de s'assurer que les solutions retenues sont les meilleures possibles. L'outil informatique doit également rester adaptable ou modifiable, par les utilisateurs, à un coût raisonnable.

A . .

2.2.1 ANALYSE DES BESOINS

L'analyse des besoins fait suite à la décision d'informatiser une entreprise (voir figure 2.1). Afin d'assurer ses chances de succès dans le processus d'implantation d'un système informatique, le gestionnaire doit d'abord identifier ses problèmes de manière à établir des besoins informatiques précist. Bien que ce processus semble spécifique à chaque entreprise et aux individus qui les gèrent^{16,61}, il est toutefois possible d'établir les besoins de gestion, communs aux petites entreprises de construction.

Lorsque l'on examine de plus près les activités exercées par les entrepreneurs en construction, on constate que la comptabilité, l'estimation et la réalisation des

travaux (la planification, le contrôle des travaux, etc.)
constituent l'essentiel des opérations quotidiennes. A
celles-ci s'ajoutent les activités de secrétariat communes à
toutes les entreprises.

2.2.1.1 , ACTIVITES A INFORMATISER

La littérature de la planification comme les premières activités à informatiser après la comptabilité dans une entreprise de construction. A ces dernières président le traitement de texte qui permet d'augmenter la productivité et ainsi diminuer les coûts d'opération et la construction.

Dans le cadre de ce travail, la comptabilité est exclue des activités à informatiser étant donné le nombre ont délà élevé d'entreprises qui informatisé En effet, une étude réalisée aux Etats-Unis en 1982 démontre que 90% des entreprises de construction utilisatrices de micro-ordinateurs ou minimordinateurs utilisent déjà des logiciels de comptabilités. Ce premier pas vers l'informatisation s'explique par le fait que les logiciels de comptabilité produisent des résultats qui sont Cette position est de plus tangibles et immédiats justifiée par le fait que le choix d'un logiciel comptabilité est généralement imposé par l'expert-comptable de l'entreprise.

Par conséquent, dans le cadre de la présente étude, on réduira "les activités à informatiser au traitement de texte, à la planification et à l'estimation.

2.2.2 RECHERCHE PRIMAIRE DE LOGICIELS

A cette étape, le gestionnaire cherche a identifier le plus grand nombre possible de logiciels susceptibles de satisfaire les besoins énumérés à la section 2.2.1. Il est à noter que de nombreux logiciels, disponibles sur le marché, peuvent être pris en considération, pour les cactivités énumérées précédemment. L'entrepreneur pourra, par conséquent, effectuer cette recherche primaire par le biais de revues spécialisées (telles que "Construction Computer Application News Letter", "One Soft Decision News", et autres), par des démonstrations lors d'expositions spécialisées ou par l'entremise d'associations professionnelles.

2.2.2.1 LOGICIELS DEDIES OU GENERAUX

En général on peut considérer deux catégories de logiciels pour une activité particulière, soit les logiciels d'application (ou dédiés) et les logiciels généraux.

Le logiciel dédié restreint l'utilisateur à quelques opérations et à une démarche particulière. Ils sont ainsi

plus performants mais aussi beaucoup plus rigides que les logiciels généraux. Les entreprises de construction utilisent généralement des logiciels dédiés pour les activités de comptabilité, de planification et de traitement de texte¹.

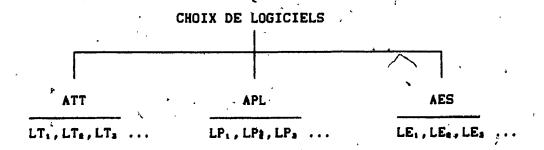
Dans le cas de l'estimation, les deux catégories de logiciels sont fréquemment utilisées. Certains logiciels dédiés, en estimation, se révèlent trop restrictifs, rigides ou incompatibles avec les procédures internes propres à chaque entreprise:7. C'est pourquoi certains entrepreneurs préfèrent des logiciels de type "chiffrier" pour faire leur Ils obtiennent ainsi de très bons tabulateurs et calculateurs, mais rien de plus. 🗸 /Pour égaler les \ performances des logiciels dédiés dans le domaine, l'on doit souvent faire appel à d'autres logiciels. généraux tels que les bases de données**. L'entrepreneur doit donc être très familier avec plusieurs logiciels généraux pour atteindre le niveau de performance des , logiciels dédiés dans le domaine de l'estimation (ce qui est rarement le cas). Pour cette raison, dans ce travail, seuls les logiciels dédiés d'estimation seront considérés lors du propessus de sélection.

2.2.2.2 FINALISATION DU CHOIX PRIMAIRE

Avant de passer à la quatrième étape du processans d'informatisation (figure 2.1), le gestionnaire finalisera le choix primaire de logiciels qui sont susceptibles de satisfaire ses besoins. Pour ce faire, il utilisera des critères critiques. Ce terme signifie (voir section 2.3.1) que le logiciel étudié est compatible avec l'équipement informatique que l'on possède ou que l'on veut acquérir. On trouvera à l'annexe 1 les logiciels retenus pour la présente étude.

2.2.3 SELECTION DES LOGICIELS

Partant des besoins établis, l'entrepreneur a fait une première sélection de logiciels et se retrouve avec un éventail de possibilités, comme le démontre la figure 2.2.



οù

ATT Activité traitement de texte

APL Activité planification

AES Activité estimation

LT, Logiciels de traitement texte

LP. Logiciels de planification

LE, Logiciels d'estimation

Figure 2.2 Éventail de choix de logiciels

Il doit maintenant choisir un et un seul logiciel pour chaque activité à informatiser. Cette étape du processus d'informatisation d'une entreprise est cruciale: puisqu'un choix judicieux de logiciels permettra à l'entreprise d'utiliser au maximum les capacités du logiciel tandis qu'un choix douteux en minimisera l'utilisation.

Fondamentalement, le choix de logiciels se fait en comparant entre eux les logiciels présélectionnés pour chaque activité. Ce choix est évidemment facile lorsqu'un logiciel se démarque clairement de tous les autres. En pratique, toutefois, le processus de sélection doit tenir compte des forces et des faiblesses relatives de chaque logiciel. A cette difficulté s'ajoute également le fait que l'on doive ici choisir un groupe de trois logiciels simultanément (un par activité à informatiser), et non pas seulement choisir trois fois un logiciel soit, un pour chaque activité à informatiser. En d'autres termes, le processus de sélection que nous élaborerons ci-après devra de l'interdépendance des nécessairement tenir compte choixes, de manière à optimiser la qualité globale du groupe de logiciels choisis pour un coût d'acquisition total donné.

D'après Wholeben's, un critère est une norme ou une règle par laquelle une décision potentielle peut être testée pour, sa valeur ou performance en s'adressant directement à l'issue proposée; il en résulte alors un jugement rationnel. Pour qu'une décision soit prise, on doit d'abord définir les objectifs ou besoins (voir section 2.2.1) et par la suite, les critères qui serviront à les évaluer.

nombreux auteurs ont aborde la question de l'évaluation des logiciels. L'article de Dologites traite spécifiquement de l'acquisition de logiciels en établissant des critères de sélection qui sont utilisés, par un modèle numérique simple, pour effectuer le choix de logiciels. Sanders et al. 33 axent plutôt leur article sur l'élaboration ' numérique d'évaluation pour faciliter modèle l'acquisition de logiciels. Les livres de Enockson's, Hilliard', et Canning et al. 34 portent principalement sur la description et l'élaboration d'une liste de facteurs reliés l'acquisition d'un système informatique c'est-à-dire le matériel et les logiciels. Pour sa part Isshiki's traite aussi de ce qui précède et propose en plus plusieurs modèles la sélection d'un système numériques pour effectuer informatique.

Il ressort de cette littérature que les critères utilisés pour évaluer les logiciels se regroupent dans une des trois catégories suivantes, à savoir les critères critiques, quantitatifs ou qualitatifs.

Le tablequ 2.1 ci-dessous résume bles critères utilisés par les auteurs précédents.

Tableau 2.1 Critères de sélection de logiciels

AL	ITEURS	issh	sand	cann	dolo	hill	enoc
Cı	ritères critiques: ,				9		f
CC	ompatibilité	×	×	, x	×	· x	×
, CE	ractéristique fonctionnelle	×	×			×	×
Ca	pacité du hardware	1		×	i.	×	x
Cr	ritères quantitatifs			\$	`.	,	 ,
cc	out initial	×	×	,	1	ж,	' x
CC	oûts des opérations futures	ì	×	` X + .	1.	, ,	
CC	outs relies à l'apprentissage	×	×	×	. 1	∤X	, 2
Cr	itères qualitatifs		,		:		· _
do	ocumentation de qualité	x.	×	x	x	×	X.
fe	cilité d'utilisation	×	×	×	×	X.	X
ac	cessibilité de l'information	1,	×		×	×	×
Ĺα	ste de vérification	1	×			×	
fl	lexibilițé	×	" X	×	×	·x	x
≠ y	etème sécuritaire '		×		X,	×	,
	Meration	x ,		x ,[×	* X	ж.
	valuation utilisateur	×		×	, X	' X	X
	itécédent du vendeur	×	×	×	×	, X	•
	de installation	×			×	×	×
	ipport .	×		X	X ·	×	×
_	ranties	×			×	x	X
80	ouplesse contractuelle	×		×	X	x	, x

x critère d'évaluation utilisé par l'auteur

AUTEURS:

issh `	ί.	Isshiki's	
sand		Sanders et	al. **
cann		Canning et	
dolo		Dologite's	
hill		Hilliard'	, ,
enoc		Enochson, 4	

¹ L'auteur inclut ces critères dans les critères qualitatifs. Il est à nôter que Schelles préconise ce genre d'évaluation.

² Enockson's consacre un chapitre à ce sujet mais ne spécifie aucun coût.

2.3.1 CRITERES CRITIQUES

Ces critères regroupent essentiellement deux aspects, la compatibilité avec le matériel informatique et les caractéristiques fonctionnelles.

Le premier aspect, la compatibilité avec le matériel informatique, signifie que le logiciel évalué pourra fonctionner sur l'équipement informatique que l'entrepreneur possède ou possèdera. Ceci comprend par exemple la capacité mémoire du mîcro-ordinateur, le type de système d'exploitation, la nécessité d'avoir un disque dur, etc.

Le second aspect couvre les fonctions essentielles que doit remplir le logiciel. Il est évident qu'un logiciel qui n'exécute pas ce que le gestfonnaire désire lors d'un essai au moment de l'achat ne le fera pas plus tard même si le vendeur certifie le contraire.

Les logiciels retenus pour cette étude satisfont déjà aux critères critiques.

2.3.2 CRITERES QUANTITATIFS

Les critères de cette catégorie sont les plus es tangibles, ceux que l'on peut chiffrer. Ces critères (aussi ...

appelés objectifs) reflètent essentiellement les waleurs quantifiables, c'est-à-dire:

- le critère "coût initial" englobe l'acquisition, la livraison et les taxes applicables;
- les coûts d'entretien, les modifications si requises, etc.;
- le critère "apprentissage" Evalue le nombre d'heures
 requises (incluant les heures de cours) pour
 utiliser adéquatement un logiciel.

Dans cette étude, l'on considérera un seul critère quantitatif, soit le critère "coût initial". Le critère "coût des opérations futures" n'est pas considéré étant donné qu'il est inhérent à la décision d'informatisation de l'entreprise et dépend des conditions propres à chaque entreprise. Quant à l'apprentissage, il sera considéré, comme le suggérent certains auteurs (voir tableau 2.1), avec les critères qualitatifs. Raymond²⁶ fait remarquer à ce sujet qu'une approche basée sur un jugement subjectif est préférable à une approche uniquement basée sur des mesures quantitatives d'usage et de performance.

2.3.3 CRITERES QUALITATIFS

Dans cette catégorie entrent les critères que l'on ne peut évaluer que de manière subjective.

Le tableau 2.1 énumère une douzaine de critères qualitatifs. L'on remarque que les critères suivants ont été retenus par tous les auteurs: documentation, facilité d'utilisation, flexibilité et coûts reliés à l'apprentissage. Les cinq derniers critères ont trait au vendeur et seront considérés comme un seul critère qualitatif.

Pour les fins de cette étude, les termes suivants caractérisent chacun des critères qualitatifs retenus:

- le critère "documentation" évalue la qualité de l'information écrite fournie lors de l'achat du logiciel et destinée à en faciliter l'utilisation;
- le critère "utilisation" reflète la facilité d'accès aux opérations que peut effectuer le logiciel;
- le critère "flexibilité" considère la facilité d'adaptation du logiciel aux opérations courantes de l'entreprise ainsi que la communication avec d'autres logiciels";

- le critère "apprentissage" tient compte des ressources nécessaires pour initier le personnel d'une entreprise au bon fonctionnement du logiciel. L'information de base pourra provenir de commentaires formulés par d'autres utilisateurs du même logiciel, de sessions de cours, etc.;
- le critère "vendeur" englobe tout ce qui a trait au fournisseur du logiciel, c'est-à-dire ses antécédents, le support après vente, les garanties du produit et l'aide à l'installation.

2.3.4 VALIDATION DES CRITERES PAR L'ENTREPRISE

Afin de confirmer la pertinence des critères retenus, des entrevues ont été effectuées auprès d'entreprises oeuvrant dans le domaine de la construction qui sont déjà familières avec l'approche informatique.

Compte tenu du temps requis pour visiter chaque entreprise de construction et de la diversité de leurs spécialisations, nous avons retenu- quatre entreprises québécoises qui ont accepté de répondre à nos questions. On trouvers aux annexes 2 à 5 un compte rendu de ces entrevues.

Le tableau 2.2 ci-dessous identifie les personnes contactées au sein de ces entreprises.

Tableau 2.2 Identification des personnes consultées

МОМ	ENTREPRISE	FONCTION	RELATION AVEC L'INFORMATIQUE
François Lamy	Construction Deka Inc.	estimateur	entreprise qui désire informatiser son département d'estimation
Édmond Miresco	MIRESCO Inc.	président	auteur du logiciel PROJECT 1 ²⁷ sur micro,
Jean Paradis	Gestion FRANDI Inc.	président	consultant chez Gaz Métropolitain pour l'informatisation de l'estimation budgétaire
>	,	•	•
Albert Poirier	Les constructions CAVEL Inc.	vice-président	ancien président de Gerex Inc. qui a participé au développement et à l'implantation du logiciel CACTES34

En résumé, ces consultants conviennent que les critères choisis sont adéquats pour faire l'évaluation de logiciels. Certains ajoutent d'autres critères plus spécifiques au Québec, par exemple l'utilisation d'un logiciel en français. Le critère "flexibilité" est unanimement considéré comme essentiel lors de l'acquisition de logiciels. Ils sont aussi d'accord sur l'évaluation du critère "apprentissage" en tant que critère qualitatif (voir section 2.3.2). Enfin, ils sont tous d'avis que les coûts des opérations futures ne doivent pas intervenir dans le processus de sélection de logiciels.

2.3.5 FICHE D'EVALUATION DES CRITERES

L'unique critère d'évaluation quantitatif tiendra compte du coût actuel d'acquisition d'un logiciel.

Les critères qualitatifs, qui font appel au jugement de l'évaluateur, requièrent eux aussi une évaluation numérique. Pour que cette évaluation soit traitée par un modèle numérique, les critères qualitatifs seront cotés de la manière suivante:

où les valeurs numérique (cotes) représentent

1 : très A

2 : BEEST A

3 : autant A que B

4 : assez B

5 : très B.

de manière à constituer une grille d'évaluation comme suit:

documentation	pauvre }		excellente
utilisation	difficil e	<u> </u>	facile
flexibilité	aucune		grande
apprentissage	ardu		facile "
vendeur	médiocre	· / /	excellént.

Ces cotes permettent de quantifier les forces et les faiblesses de chaque logiciel c'est-à-dre qu'elles indiquent pour des valeurs élevées (4-5) une qualité supérieure ou un attribut désirable. Elles reflèteront ainsi la perception qu'a l'évaluateur, d'un logiciel, pour un critère donné*!

2.4 CHOIX DU MODELE NUMERIQUE

A la section 2.3, nous avons déterminé les critères à utiliser pour l'évaluation des logiciels retenus lors de la recherche primaire. Il est maintenant nécessaire d'élaborer un modèle numérique qui permette d'effectuer la comparaison des critères entre eux d'une façon systématique, de manière à identifier les logiciels qui répondront le mieux aux besoins énoncés à la section 2.2.1.

Un modèle permet de simuler un problème de gestion pour mieux le comprendre, le connaître et l'analyser.

Il doit par conséquent formaliser les caractéristiques essentielles d'une situation réelle en un ensemble de symboles et de relations mathématiques.

Ainsi le modèle numérique choisi doit être en mesure de:

- manipuler les critères quantitatifs et qualitatifs sans discrimination;
- permettre à l'évaluateur de pondérer son jugement;
- permettre une analyse paramétrique afin de vérifier la qualité du choix final;
- choisir un et un seul logiciel pour chaque activité, en même : temps qu'un groupe de trois logiciels pour un montant global d'acquisition donné.

La recherche opérationnelle offre plusieurs modèles numériques qui pourraient satisfaire aux exigences précédentes. Plusieurs de ces modèles ont été utilisés dans le domaine de la recherche et du développement (R&D) pour évaluer un projet de recherche de la recherche de

Parmi les modèles numériques à considérer, mentionnons le modèle de pointage ..., la méthode du "Figure Of Merit"..., la matrice d'évaluation ..., l'analyse hiérarchique., l'analyse coût/avantage ..., le modèle multidimensionnel ..., la programmation linéaire des objectifs ..., et la programmation linéaire des objectifs ..., Pour les fins de la présente étude, nous considérerons plus en détail les six derniers modèles afin de retenir le plus approprié pour résoudre notre problème, à savoir le choix de-logiciels pour une petite entreprise de construction.

2.4.1 MATRICE D'EVALUATION

Une matrice d'évaluation, spécifique au choix de logiciels, a été développée par Dologite^{3 s}. L'approche consiste, dans un premier temps, à déterminer les critères de sélection (voir tableau 2:3) qui serviront à liévaluation des logiciels. Par la suite, une évaluation des critères est effectuée de façon subjective selon une échelle prédéterminée. Ce modèle tient compte d'une pondération reflétant l'importance, appelée poids, que l'on attribue à chaque critère. La sommation des produits, résultant de la multiplication du poids par la cote d'évaluation correspondante, indique le résultat final pour un logiciel donné. Le plus haut résultat détermine le meilleur logiciel, soit le logiciel B dans le cas du tableau 2.3.

Tableau 2.3 Matrice d'évaluation ? *

	itères de lection	POIDS		ION DES		GE TOTAL	_
56	lection	ñ	A	B	, v	B	
	•		1	,	•		_
L.	Banc d'essai						
	opération	5	3	. 4	. 15	20	
	utilisation	4	4	3 ,		12	
	sauvegarde	<u>,</u> 2	3	3	6	6	
2.	Evaluation par	•				ш	er.
	utilisateur	5	3	4	15	20	ų.
3.	Logiĉiel/						
	documentation'	4	1	2	4	8	
	flexibilité	4	- 3	3	12	12	
	coûts -	1	3	2	3	2	
	opérations	`3	3	3 .	. 9	, 9	
	installation .	5	4	3	20 😘	15	
	entretien	5 -	. 4	3	20	15	
	sécurité-	3	· 2	5	`·· 6-	15	
	garanties	2	2	2	`4	. 4	
	réputation	4	3	4	12	16	
	flexibilité du	•	•	*		9	
	contrat	3	4	3	12	9 (
١.	Equipement	. 3(2	. 2	6	6	
5.	Coût du système	2	• 4	2	8 .	4	
	·				•		_
	TOTAL			,	168	.173	
	CHOIX						۲,

Cette méthode permet d'accorder à chaque critère une cote d'évaluation ainsi qu'un facteur reflétant son importance. La principale difficulté, toutefois, consiste à convertir des critères quantitatifs en cote d'évaluation. De plus, ce modèle ne permet pas d'analyse paramétrique, tel qu'établi à la section 2.4, ni de mbiner des choix simultanément pour un coût global donné.

2.4.2 ANALYSE HIERARCHIQUE

L'analyse hiérarchique permet de sélectionner une alternative parmi plusieurs. Pour ce faire, elle compare ces alternatives en combinant des critères de sélection et des objectifs à atteindre.

L'exemple employé pour décrire ce modèle provient d'un article traitant du choix se carrière d'un professionnelse. Un individu doit choisir une carrière parmi trois propositions. Les critères utilisés pour fixer son choix sont: l'argent, la sécurité, la famille et le travail. La figure 2.3 ci-dessous illustre les interrelations entre les alternatives et les critères.

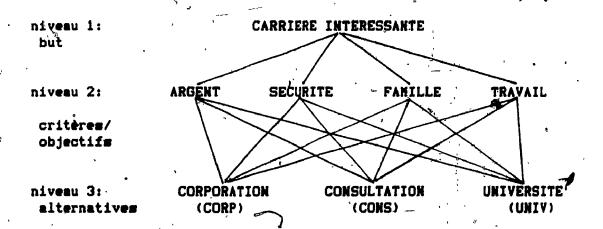


Figure 2:3 Liens hiérarchiques pour le choix de carrière

L'approche générale de l'analyse hiérarchique consiste premièrement à établir les niveaux décisionnels et dans un second temps à effectuer des comparaisons par paires entre les éléments d'un niveau donné et les éléments correspondants du niveau supérieur. Ces comparaisons se font à l'aide d'une échelle calibrée de 1 à 9 et indiquent le degré de préférence pour chaque élément.

La figure 2.3 illustre les niveaux décisionnels utilisés pour le présent exemple. Le premier niveau correspond au but recherché, soit une carrière intéressante. Le second identifie les critères de sélection, ou les objectifs que l'on veut atteindre. Enfin, le dernier niveau est réservé aux alternatives à considérer, c'est-à-dire dans le présent exemple, le choix d'une des trois propositions.

Le tableau 2.4 illustre le processus de comparaisons L
par paires, pour le critère/objectif travail.

Tableau 2.4 Comparaisons par paires des alternatives pour le critère/objectif travail⁸

	CORP	CONS	UNIV
CORP	1	9	6
CONS	1/9	1 .	1/4
UNIV /_	1/6	4	1

On constate dans ce tableau, que l'alternative corporation est grandement préférée à l'alternative consultation et un peu moins à l'alternative université. On remarque aussi l'image-miroir des valeurs situées de part et d'autre de la diagonale principale (qui est égale à l'unité).

D'autres comparaisons par paires interviennent aussi au niveau intermédiaire afin de déterminer l'ordre des préférences au sein des critères/objectifs (tableau 2.5).

Tableau 2.5 Ordre de préférence des critères/objectifs

,	argent	sé curité	famille	travail
argent	1	7	1	7
· sécurité	1/7	, 1	1/5	2
famille	1	5 `	1	7
travail	1/7	1/2	1/7	'1
Σ	2.28	13.5	2.34	17

Une transformation est ensuite effectuée afin d'ajuster ces cotes à l'unité. Un nouveau tableau est alors construit en divisant chacune des cotes par la somme des cotes de la colonne dans laquelle elle se situe. Le tableau 2.6 contient les facteurs préférentiels calculés pour chacune des cotes du tableau 2.5.

Tableau 2.6 Facteur préférentiels :

	argent	sécurité	famille	travail	Ľ	Σ/4
argent	0.44	0.52	0.43	0.41	1.8	0.45
sécurité	0.06	0.07	0.08	0.12	0.33	0.08
famille	0.44	~0.37	0.43	0.41	1.65	0.41
travail	0.06	0.04	0.06	0.06	0. 22	0.06
Σ	1.00	1.00	1.00	1.00	^ .	1.00

On remarque aussi, au tableau 2.6, que la dernière colonne affiche la moyenne de ces valeurs pour chaque critère/objectif considéré.

Le même processus est appliqué afin d'établir un classement des alternatives pour chaque critère/objectif considéré. On obtient ainsi, à partir des valeurs du tableau 2.4, pour le critère/objectif "travail", le classement suivant:

Tableau 2:7 Classement pour-le critère/objectif travail

Alternatives	Classement
corporation	0.75
consultation	0.06
université	0.19
ε •	1.00

Finalement, pour une alternative donnée, in pointage est obtenu en multipliant le classement d'un critère/objectif donné (tableau 2.7) par le facteur préférentiel de ce critère/objectif (tableau 2.6 dernière colonne). La sommation de ces produits pour chacun des critères/objectifs détermine le pointage final pour l'alternative considérée. Dans l'exemple présent, on obtient donc pour l'emploi "CORPORATION":

Tableau 2.8 Pointage final pour l'alternative CORPORATION

•	Classement d'importance	Facteur préférentiel	Produit
argent	. 0.07	0.45	0.031
sécurité	0.70	ð. oa	0.056
famille	0.64	0.41	Ó. 262 🗝
travail	0.75	0.06	-0.045
Σ		71	0. 394

Pareilles valeurs sont calculées pour les autres alternatives et le classement final (tableau 2.9) démontre que l'emploi corporation est préféré dans ce cas.

Tableau 2.9 Classement final des alternatives

۰	Classement' final	Choix
corporation	ó. 39	*
consultation	0.36	
université	0.25	
Σ	1.00	

Cette méthode, comme le mentionnent les auteurs, est désarmante, simple et puissante afin de fournir une approximation numérique fidèle à la réalité et faciliter le choix entre des alternatives qui comportent de multiples critères de comparaisons. Par contre, elle souffre essentiellement des mêmes limitations que la méthode précédente (section 2.4.1): ce modèle ne peut exécuter d'analyse paramétrique et la quantification, sur une échelle appropriée, des critères quantitatifs pour chaque alternative est difficile à établir. Pour ces raisons, ce modèle n'est donc pas retenu pour notre étude.

2.4.3 ANALYSE COUT/AVANTAGE

Cette méthode mathématique est également utilisée en R&D où elle a donné naissance à une multitude de variantes: 5,26,43,

L'une d'elles, suggérée par Isshiki dans le domaine de l'informatique's, requiert de l'acheteur qu'il attribue à chaque critère de séléction un budget (voir tableau 2.10). Ce montant représente le coût qu'il est prêt à débourser, tant pour acquérir l'élément considéré que pour sa mise en opération. Par la suite, le gestionnaire bâtit une liste de comparaisons (voir tableau 2.12) qui établissent les différences entre le budget et les coûts réels reçus des fournisseurs ou des experts (voir tableau 2.11). Lorsqu'un coût réel est supérieur au budget, aucune déduction n'est effectuée du coût total de la proposition. Inversement, lorsque le coût réel d'un élément est inférieur au budget, une déduction est faite sur le coût total de la proposition.

La sélection finale s'effectue en soustrayant les déductions de la soumission originale. La proposition obtenant le coût final le plus bas est alors retenue.

L'exemple suivant illustre ce processus.

Tableau 2.10 Budget alloué pour l'acquisition de l'équipement informatique: 5

Eléments requis	Budget
imprimente	2,500.00\$
disque dur ø	8,000.00\$
langage BASIC	REQUIS
logiciel comptabilité	4,000.00\$
Support du vendeur	2,000.00\$
(apprentissage, entretien)	•

Tableau 2.11 Soumissions reques¹⁵

Eléments requis	Soumissions Vendeur A	reçues Vendeur B
Coût total du système	28, 900. 00\$	25, 200. 00\$
imprimente	standard	2,000:00
disque dur	7,000.00\$	10,000.004
langage BASIC	standard	standard
logiciel comptabilité	2, 500. 00\$	3,800.00
Support du vendeur	2,500.00\$	1,000.00
(apprentissage, entretien)		•

Tableau 2.12 Sommaire des comparaisons:

	Elément requis	Soumissions Vendeur A	reçues Vendeur B
(1)	Coût total du système	28, 900. 00\$	25, 200, 00
•	imprimante	2, 500. 00\$	500.00
	disque dur .	1,000.00\$	9.00
	.langage BASIC	0.00	0.00
	logiciel comptabilité	1,500.00	200.00
-	Support du vendeur (apprentissage, entretien)	. 0.00	1,000.004
(2)	Déduction totale	5,000.00\$	1,700.004
(3)	Coût finel (1)-(2)	23, 900. 00\$	23, 500. 004
	Choix		•

A première vue, cette méthode comparative semble plus efficace que les précédentes car elle permet de considérer un budget. Elle requiert, par contre, non seulement une précision du devis technique, mais aussi une évaluation rigoureuse des coûts impliqués. Une malyse détaillée doit être faite au préalable pour arriver à ce degré de précision. La plupart des analyses coût/avantage doivent catégoriser chaque coût et chaque avantage sous forme tangible ou non, directe ou indirecte, récurrente ou non, etc. Finalement, la quantification de nombreux critères qualitatifs est très difficile, sinon impossible à effectuer.

Ce modèle est donc rejeté à cause des coûts impliqués pour l'élaboration de tels devis techniques et surtout, à cause de la difficulté à chiffrer, en coûts réalistes, autant de critères qualitatifs.

2.4.4 MODELE MULTIDIMENSIONNEL

Ce modèle, appelé en anglais "multidimentional location model"; offre la possibilité d'analyser un problème comportant à la fois des critères quantitatifs et qualitatifs. Il permet d'effectuer une analyse de sensibilité sous forme graphique.

Essentiellement, ce modèle transforme et compare les critères en utilisant les mêmes unités. La formulation, ainsi que le développement d'un tel modèle, seront présentés plus en détail au chapitre 5. Les résultats ainsi obtenus seront comparés avec ceux du modèle mathématique proposé.

ce modèle permet de comparer des logiciels semblables entre eux, c'est-à-dire des logiciels de la même activité. Il ne permet pas de combiner le choix d'un logiciel pour une activité donnée avec les choix d'autres logiciels, pour des activités différentes. Or, l'une des caractéristiques du problème de la présente étude, c'est de permettre au gestionnaire de la petite entreprise de construction de sélectionner simultanément un groupe de logiciels en vue d'informatiser plusieurs activités à la fois tout en demeurant à l'intérieur d'un budget d'acquisition donné.

2.4.5 PROGRAMMATION LINEAIRE

La programmation linéaire constitue un outil de base pour la résolution de problèmes d'optimisation ayant de multiples variables et contraintés. Cet outil mathématique est couramment utilisé dans de nombreux secteurs, particulièrement par cles industriels pour des problèmes de productions.

E'utilisation de la programmation linéaire pour évaluer et choisir des logiciels est par contre très peu répandue. On retrouve cependant quelques applications de la programmation linéaire pour faire le choix de projets en R&D*1.**. Dans le domaine de l'éducation, Wholben*3 a développé le système MICROPIK qui permet de trouver une solution adéquate lorsqué l'on est en présence de multiples critères et d'alternatives. Malheureusement, aucun logiciel public ou listage de procédures informatiques n'existe sur le sujet et par conséquent nous ne pouvons explorer ce système qui, a priori, semble pouvoir s'appliquer à notre problème.

Essentiellement, la programmation linéaire considère, dans une fonction économique, l'objectif à atteindre tel que formulé par le décideur. L'objectif devient ainsi une fonction mathématique linéaire composée des variables décisionnelles. Les contraintes, qui

utilisent les mêmes variables décisionnelles sous forme d'expressions linéaires, représentent les obligations stipulées par le contexte étudié.

L'exemple ci-dessous illustre le développement d'un programme linéaire. Une usine obtient un contrat pour la fabrication de deux produits. Le produit A rapporte un profit de 20s par unité et le produit B, 15s par unité. Le contrat prévoit les minima de production suivants: 20 unités de chaque produit ainsi que 50 unités combinées par semaine. La production requiert 3 heures par unité du produit A et 2 heures par unité du produit B. Le maximum d'heures disponibles par semaine pour la production à l'usine est de 120. Le directeur de l'usine veut déterminer le niveau de production optimale pour chaque produit qui luit assurera un profit maximum.

Les contraintes qui sont imposées lors du processus de fabrication sont formulées de la manière suivante:

- contrainte d'utilisation de l'équipement de l'usine

3X₁ + 2X₂ ≤ 120 (nombre d'heures disponibles)

- contraintes de production minimale

X₁ + X₂ ≥ 50 (production totale)

X₂ ≥ 20 (production de B)

- contraintes de production non négative

 $X_1 \ge 0$ (production de A)

 $X_a \ge 0$ (production de B).

En résumé, le modèle mathématique (programme linéaire) représentant le problème donné pren la forme suivante:

 $Max^{\prime}Z = 20X_1 + 15X_2$

sujet à

 $3X_{1} + 2X_{2} \le 120$ $X_{1} + X_{2} \ge 50$ $X_{1} \ge 20$ $X_{2} \ge 20$ $X_{3} \ge 0$

Pour résoudre ce problème, la méthode du simplex est utilisée. Il g'agit d'un algorithme standard qui opère sur le modèle mathématique, représenté sous forme matricielle, par un simple processus d'élimination de Gauss. Le simplex identifie la solution optimale, lorsqu'elle existe, au point d'intersection de deux segments de droite, représentant deux contraintes qui limitent l'espace des solutions possibles.

La solution obtenue par la méthode du simplex indique, dans

(EL

le cas présent, qu'un profit maximum de 850\$ sera atteint avec un niveau de production de 20 unités du produit $A(X_1)$ et de 30 unités du produit $B(X_2)$.

La formulation du problème précédent est relativement simple du fait que ''on n'a qu'un seul objectif. A la section 2.3, nous avons établi que le choix de logiciels se fait à l'aide de critères quantitatifs et Le meilleur logiciel, pour chacune des qualitatifs. activités, sera celui qui aura satisfait le plus grand nombre de critères. La formulation de la fonction économique, pour ce problème, s'avère donc difficile étant donné que nous voulons satisfaire plusieurs critères à la fois. Il est possible d'établir une fonction économique en minimisant les coûts impliqués pour l'achat des logiciels. Avec cette formulation toutefois, on ne tiendrait pas compte des critères qualitatifs (voir section 2.3.3).

Une autre possibilité serait de formuler la fonction économique en utilisant les critères qualitatifs. Cette fois il faudrait maximiser les cotes reçues par les différents logiciels. Cette formulation serait plus complexe que la précédente étant donné que nous aurions inque critères qualitatifs. Cette fois, il serait difficile de choisir le critère à introduire dans la fonction économique. De ce fait, l'on ne tiendrait pas compte, dans la fonction économique, des quatre autres critères qualitatifs ou du

critère quantitatif. Pour utiliser ce modèle numérique, on devrait ainsi formuler six problèmes différents (un pour chaque critère) en utilisant alors les autres critères comme contraintes. Ceci impliquerait aussi que ces critères àcient d'égale importance, par rapport au critère utilisé dans la fonction économique. Nous pourrions nous attendre ainsi à obtenir six réponses différentes qu'il faudrait analyser et combiner pour choisir le meilleur résultat possible.

De plus, la programmation linéaire ne garantit pas l'obtention d'une solution entière c'est-à-dire qu'il serait possible d'obtenir, comme meilleur choix, une fraction d'un logiciel combinée à une fraction d'un autre logiciel. Pour toutes ces raisons, nous rejetons l'usage dece modèle numérique pour résoudre notre problème.

2.4.6 PROGRAMMATION LINEAIRE DES OBJECTIFS

La programmation linéaire des objectifs, traduction de "linear goal programming", constitue une modification ainsi qu'une extension de la programmation linéaire⁵⁷. C'est une technique capable de résoudre les problèmes de prise de décision qui comportent plusieurs objectifs avec plusieurs variables décisionnelles⁵⁷. 6-7.

Cette méthode permet de considérer chaque contrainte comme un objectif à atteindre et d'obtenir une solution qui satisfasse à tous ces objectifs à la fois. Contrairement à la programmation linéaire, cette technique n'inclut pas de variables décisionnelles dans la fonction économique, mais plutôt des écarts positifs ou négatifs, associés aux contraintes (ces dernières constituant alors les objectifs à atteindre). Ces nouvelles variables d'écart mesurent les déviations de chaque objectif par rapport à un but donné, qui est représenté par le côté droit de l'équation.

L'exemple qui suit servira à illustrer la mécanique de cette approche numérique.

Reprenons les données du problème précédent et ajoutons ce qui suit. Pour l'exècution du contrat, il y a possibilité de produire 18 heures par semaine en temps supplémentaire. Le profit, sur chaque produit, est alors

diminué de 5\$ par unité. Le directeur de l'usine désire maintenant minimiser la production en temps régulier et supplémentaire et augmenter le profit à 950\$ par semaine. Considérons les variables décisionnelles X, et X, représentant respectivement le nombre d'unités des produits A et B fabriqués en temps régulier et X, et X, représentant respectivement le nombre d'unités des produits A et B fabriqués en temps supplémentaire.

Le modèle numérique prend alors la forme suivante:

- objectif de minimisation du temps régulier

 $3X_1 + 2X_2 \le 120$

- objectif de minimisation du temps supplémentaire

3X₂ + 2X₄ ≤ 18

- objectif de maximisation du profit

 $20X_1 + 15X_2 + 15X_3 + 10X_4 \ge 950$

- les contraintes contractuelles de production minimale

 $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 50$ (production totale)

X₁ + X₂ ≥ 20 (production de A)

X_a + X_b ≥ 20 (production de B)

- les contraintes de production non négatives

X₄ ≥ O (production de_i A) .

X_e ≥ O (production de B)

.X₂ ≥ O (production de A)

X₄ ≥ O' (production de B).

La formulation finale de ce problème sous forme de programmation linéaire des objectifs s'exprime alors comme suit:

$$MIN 2 = X_6 + X_6 + X_9$$

sujet à

$$3X_{1} + 2X_{2} + X_{3} - X_{4} = 120$$

$$3X_{3} + 2X_{4} + X_{7} - X_{8} = 18$$

$$20X_{1} + 15X_{2} + 15X_{3} + 10X_{4} + X_{9} - X_{10} = 950$$

$$X_{1} + X_{2} + X_{3} + X_{4} \geq 50$$

$$X_{2} + X_{3} + X_{4} \geq 20$$

 X_{1}/A $X_{10} \ge 0$

Les variables X_s à X_{1° lèvent l'inégalité des équations représentant les objectifs et peuvent se comparer aux variables artificielles et aux variables de surplus utilisées par la programmation linéaire standard.

Comme nous l'avons mentionné ci-haut, la fonction économique mesure les écarts qui existent entre la solution retenue et le but à atteindre, pour chaque objectif, indépendamment des unités utilisées par les variables décisionnelles. Ainsi dans la fonction économique de ce problème, on doit minimiser les écarts X₆, X₆ et X₇, où les deux premiers écarts mesurent la déviation supérieure par rapport à l'objectif (temps régulier et supplémentaire) et le dernier écart mesure la déviation inférieure c'est-à-dire la déviation en deçà du profit de 950\$.

Ainsi formulé, le problème peut être résolu par la méthode du simplex qui donne les résultats suivants:

- 16 unités du produit A fabriqué en temps régulier (X_1) ;
- 36 unités du produit B fabriqué en temps régulièr (X:);
- 4 unités du produit A fabriqué en temps supplémentaire (X₂);
- 3 unités du produit B fabriqué en temps supplémentaire (X4);
- un profit réalisé de 950\$;
- un nombre d'heures en temps régulier et en temps supplémentaire, respectivement de 120 et 18 heures.

La formulation du problème, pour cette étude, se trouverait donc simplifiée par cette approche. De plus, les propriétés que doit posséder le modèle numérique (voir section 2.4) seraient satisfaites par la programmation linéaire des objectifs, ce qui justifie que nous ayons retenu cette méthode pour une étude plus approfondie, au chapitre 3.

CHAPITRE 3

MODELE NUMERIQUE POUR LA SELECTION DE LOGICIELS

Au chapitre précédent, nous avons établi que la sélection de logiciels s'effectue au moyen de critères quantitatif et qualitatifs. Le modèle numérique retenu, la programmation linéaire des objectifs, permet de considérer ces, critères comme objectifs à atteindre afin de choisir simultanément un groupe de trois logiciels pour un coût global d'acquisition donné, soit un et un seul logiciel dans chaqune des trois activités, la planification, l'estimation et le traitement de texte. Comme nous le verrons à la fin de la séction 3.1, cette particularité n'affecte en rien la formulation de la programmation linéaire des objectifs.

3.1 PROGRAMMATION LINEATRE EN NOMBRE ENTIER

La résolution d'un problème de programmation linéaire en nombre entier restreint les variables décisionnelles à n'adopter que des valeurs numériques entières. Il existe plusieurs méthodes pour résoudre ce type de problème. Mentionnons entre autres la méthode des plans coupés⁵⁵, la méthode des groupes théoriques⁶⁵ et la méthode du "branch-and-bound" (B&B) qui sera retenue pour la présente étude.

La procédure adoptée par la méthode du B&B subdivise l'espace des solutions possibles en imposant aux variables décisionnelles des valeurs entières. Une première valeur de la fonction économique Z. est d'abord obtenue avec le programme linéaire, standard, c'est-à-dire sans aucune restriction. La méthode du B&B génère par la suite d'autres solutions ayant comme valeurs Zº qui respectent la restriction des nombres entièrs. On compare finalement les solutions Zº avec Z. de manière à identifier la solution optimale. L'exemple ci-dessous illustre la procédure adoptée par la méthode du B&Bs.

Soit:

 $Z^* = Max Z_* = 5X_* + 8X_*$

sujet à

 $X_i + X_k \le 6$ $5X_i + 9X_k \le 45$ $X_i , X_k \ge 0$ et en nombre entier

où

- Z' valeur de la fonction économique avec la programmation linéaire en nombre entier
- Z. valeur de la fonction économique pour cette itération.

Dans un premier temps, la méthode de résolution lève la restriction des nombres entiers. La valeur de la fonction économique ainsi obtenue, par la programmation linéaire standard, est optimale pour Z₀ = 41.25 (figure 3.1, branchement O ou B₀). Ainsi la valeur Z⁰ de la fonction économique obtenue, lors d'une maximisation avec restriction, sera nécessairement inférieure à la solution optimale obtenue par la programmation linéaire sans restriction. On a donc

 $Z^{\bullet} \le Z_{\bullet} = 41.25$.

Comme les variables décisionnelles doivent être entières, ceci implique que $Z^{\bullet} \leq 41$.

Au branchement B₀, les variables décisionnelles X₁ et X₂ ont respectivement comme valeur 2.25 et 3.75. Or le problème spécifié que ces variables doivent être entières, Ainsi ch attribuera à la variable X₂, au prochain niveau de branchement, les valeurs $X_{2} \ge 4$ ou $X_{2} \le 3$ (figure 3.1,

branchements 1 et 2). A noter que si l'on > choisissait la variable X_i pour débuter, on aurait alors $X_i \le \overline{2}$ ou $X_i \ge 3$.

A la figure 3.1, on constate que:

- au branchement 1, la variable X₁ = 1.8, ce qui ne satisfait pas la restriction de nombre entier;
- au branchement 2, avec X₁ = X₂ = 3, on obtient une première solution entière avec Z* = 39;
- au branchement 3, avec X, = 2 et X, = 4, aucune solution n'est possible étant donné que la valeur Z, = 42;
- au branchement 4, avèc X₁ = 1, X₂ prend la valeur 4.44, ce qui ne satisfait pas la restriction de nombre entier;
- au branchement 5, avec $X_1 = 1$ et $X_2 = 4$, on obtient une seconde solution entière avec $Z^* = 37$
- au branchement 6, avec $X_1 = 0$ et $X_2 = 5$, on obtient $Z^* = 40$, ce qui représente la meilleure solution entière.

La solution retenue par la méthode du B&B est donc $X_1 = 0$ et $X_2 = 5$, avec une valeur de la fonction économique $Z^* = 40$.

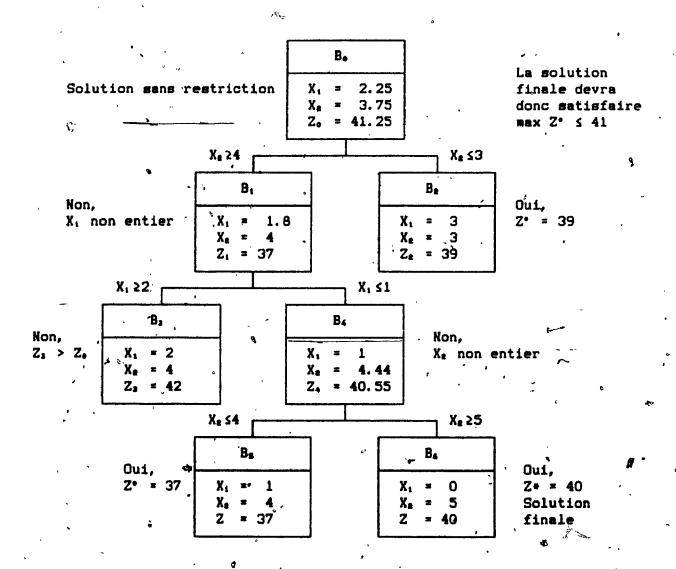


Figure 3.1 Solution utilisée par la méthode du "B&B"

Comme noùs l'avons mentionné au début chapitre, le modèle numérique doit choisir un et un seul logiciel pour chacune des trois activités à informatiser. Ceci implique d'atiliser la programmation linéaire des objectifs en puisque nombre binaire les variables décisionnelles assignées au choix de logiciels ne peuvent adopter que deux valeurs: O signifiant un rejet du logiciel, 1 signifiant que le logiciel est revenu. Afin de résoudre ayant cette restriction particulière, les un problème techniques de la programmation linéaire des objectifs peuvent incorporer l'usage de la méthode du "B&B"". nous appartiendra donc, lors de la formulation du modèle en programmation linéaire objectifs, des d'ajouter contraintes appropriées pour faire en sorte variables décisionnelles ne puissent adopter que deux valeurs possibles, soit 0 ou 1 (voir section 3.2.3.3).

3.2 FORMULATION DU PROBLEME

La formulation du problème selon la programmation linéaire des objectifs en nombre binaire s'effectue de la manière suivante⁵⁷:

- définition des variables décisionnelles
- définition des objectifs et contraintes v
- développement de la fonction économique.

Cette procédure assurera que la formulation du proplème sera élaborée de façon à pouvoir utiliser les techniques de résolution de la programmation linéaire.

Avant d'entamer cette procédure, il est nécessaire d'apporter quelques précisions théoriques concernant la programmation linéaire des objectifs ainsi que sur la formulation de priorités lors du choix de logiciels.

3.2.1 FORMULATION GENERALE

MIN Z =
$$\sum_{i=1}^{K} (e_i^2 + e_i^4)$$
 (3.1)

Tel que

$$f_{i}(x) + e_{i}^{2} - e_{i}^{2} = b_{i}$$
 (3.2)

et

où

e;

Z valeur de la fonction économique

x variables décisionnelles

f (x) fonction linéaire des variables décisionnelles représentant les objectifs à atteindre

b. but visé par l'objectif t (correspond au côté droit des contraintes dans la formulation standard)

e; variable d'écart négatif qui reflète la sous-réalisation d'un objectif : (voir tableau 3.1)

variable d'écart positif qui reflète l'excédent, dans la réalisation d'un objectif i (voir tableau 3.1).

Ainsi les variables d'écarts, dans, les équations 3.2, forcent l'égalité entre l'objectif f (x) et le but visé par cet objectif b. . Exprimée sous cette forme, la fonction économique cherche à faire tendre vers zéro les écarts qui sont associés à chacun des objectifs. Le tableau 3.1 indique quels types d'écarts doivent être considérés dans la fonction économique, en fonction des différents types d'objectifs.

Tableau 3.1 Formulation des objectifs et écarts correspondants à minimisers 6

type d'objectif	formulation de l'objectif en programmation linéaire des objectifs	variable d'écart à minimiser dans la fonction économique
$f_{i}(x) \leq b_{i}$ $f_{i}(x) \geq b_{i}$ $f_{i}(x) = b_{i}$	$f_{\epsilon}(x) + e_{\epsilon}^{-} - e_{\epsilon}^{+} = b_{\epsilon}$ $f_{\epsilon}(x) + e_{\epsilon}^{-} - e_{\epsilon}^{+} = b_{\epsilon}$ $f_{\epsilon}(x) + e_{\epsilon}^{-} - e_{\epsilon}^{+} = b_{\epsilon}$	e - e -

Ainsi pour satisfaire un objectif:

- f_i(x) ≤ b_i, nous devons minimiser l'écart positif e;
- f_i(x)_i ≥ b_i, nous devons minimiser l'écart négatif e_i
- f_i(x) = b_i, nous devons minimiser les écarts positif et négatif e_i et e_i.

Mathématiquement, les variables d'écarts e et e sont complémentaires c'est-à-dire que si l'une prend une valeur non égale à zéro, l'autre devra obligatoirement être égale à zéro de sorte que

Selon ce processus, la meilleure solution est atteinte lorsque la sommation des écarts e et e, dans la fonction économique, est égale à zéro ce qui signifie que chaque objectif a atteint exactement le but visé. Il importe de préciser ici que cette formulation garantit uniquement que l'inégalité soit satisfaite (1 e colonne, tableau 3.1): elle n'attache aucune importance au "degré" de satisfaction c'est à dire la valeur des variables non

considérées par la fonction économique. De plus, avec cette formulation, on pourrait facilement obtenir une solution avec une fonction économique non égale à zéro, ce qui signifierait qu'un objectif donné n'aurait pas été atteint? •.

3. 2. 1. 1 PRIORITE

Lors d'une prise de décision, un gestionnaire doit souvent établir des priorités parmi les objectifs qui sont en compétition, c'est-à-dire que certains objectifs sont jugés plus importants que d'autres selon une échelle de valeur donnée? Le modèle numérique retenu permet de considérer ces priorités?, dans la formulation de la fonction économique, de la façon suivante:

$$\min Z = \sum_{i=1}^{k} P_i \left(e_i^2 + e_i^2 \right)$$

οù

P, priorité accordée à l'objectif, i; nombre déterminé par la théorie de préférence, variant de O ≤ P, ≤ ΣC, (voir tableau 3.2)

3.2.1.2 THEORIE DE PREFERENCE

La théorie de préférence 3.73.74 permet de quantifier la priorité à accorder à chaque objectif, de façon systématique et consistante, en comparant tous les objectifs entre eux, pris deux à la fois. Pour faciliter

cette comparaison entre les objectifs, une grille de préférence est bâtie sous la forme de:

Tableau 3.2 Grille de préférence

comparaisons	. 1	2	3	Σ C,
objectifs				L Gy
A	C,	C,		C ₁ +C ₂
B	C.		C.	Ce+Cs"
С		C.	C.	C. +C.
C, résultat	pré:	féren	tiel	

C, résultat préférentiel EC, priorité attribuée à chaque objectif

Lorsque deux objectifs sont comparés entre eux, il existe alors trois résultats possibles, soit:

- le premier objectif est préféré au second et prend alors la valeur 1, le second la valeur 0;
- le second objectif est préféré au premier, alors le second prend la valeur 1 et le premier la valeur 0;
- les deux objectifs sont sur un pied d'égalité, alors les deux prennent la valeur 1.

Selon cette technique, l'objectif A est d'abord comparé à l'objectif B, dans la première colonne du tableau 3.2 (comparaison 1). Suivent ensuite les comparaisons des objectifs A avec C (comparaison 2) et B avec C (comparaison 3). La priorité est alors obtenue en sommant les résultats pour chaque objectif.

A l'annexe 6, on trouvera une grille de préférence qui traduit les comparaisons qu'a effectuées l'auteur pour chacun des critères retenus dans la présente étude. Ainsi nous avons établi, pour chacun des critères, une priorité qui signifie par exemple, que le critère "utilisation" est jugé plus important que le critère "vendeur" (comparaison CUT/CVE, annexe 6).

3.2.2 VARIABLES DECISIONNELLES

Pour satisfaire aux besoins de l'entreprise, un certain nombre de logiciels ont été retenus lors de la sélection primaire (voir annexe i). Le tableau 3.3 cidessous donne la liste des variables décisionnelles qui sont associées à chaque logiciel retenu, les activités correspondantes à informatiser ainsi que les coûts initiaux.

Tableau 3.3 Variables décisionnelles associées aux logiciels retenus

Variables décisionnelles	Activités à informatiser	Nom du logiciel	Coût - initial
X ₁	ATT	WORD PERFECT	360\$
X _a	ATT ,	WORD STAR	552\$
X ₂ .	· ATT	EDITEXTE	410\$
, X	APL	PROJECT 1	1104\$
X _s	APL	HAVARD .	552\$
X.	APL	SUPER PROJECT PLUS	897\$
X ₇	APL	TIME LINE III	330\$
X _a	AES	QUICK EST	4140\$
· X ₂	AES *	TECKSONIC	4830\$
X _{1 •}	AES	WALKER PRACTICALC	3810\$
			- <u> </u>
ATT act:	iables décisionn ivité de traitem lvité de planifi	ent de texte	
	lvité d'estimati		

3.2.3 DEFINITION DES OBJECTIFS ET CONTRAINTES

En programmation linéaire des objectifs, on identifie deux types de contraintes. Le premier type représente les objectifs à atteindre. Mathématiquement, ces objectifs prennent la forme d'équations linéaires, composées de variables décisionnelles, ayant un côté droit de l'équation qui représente le but visé par chaque objectif (voir section 3.2.1, éq. 3.2). Le second type, appelé

contrainte rigide, impose une condition que l'on doit

satisfaire pour obtenir une solution. Ces contraintes comportent aussi des variables décisionnelles, mais aucune variable d'écart. Dans cette étude, elles seront utilisées pour garantir l'obtention d'un seul logiciel par activité (voir section 3.2.3.3).

Définir le côté droit de l'équation, pour chaque contrainte, représente une des difficultés majeures dans la formulation d'un problème en programmation linéaire des objectifs. Tout comme en programmation linéaire standard, on considère ce processus comme un art, plutôt qu'une science, car la capacité du modèle mathématique à représenter fidèlement la réalité en dépend directement.

A la section 2.3, nous avons établi que les critères de sélection appartiennent à trois classes et que le choix final des logiciels se fait à l'aide de ces critères. Dans la présente formulation, le critère quantitatif et les critères qualitatifs retenus aux sections 2.3.2 et 2.3.3 deviennent donc autant d'objectifs à atteindre, car le gestionnaire désire acquérir les meilleurs logiciels pour chaque activité tout en ne dépassant pas un certain budget global d'acquisition.

3.2.3.1 CRITERE QUANTITATIF

Dans l'optique d'une petite entreprise, le côté droit de l'équation représente l'enveloppe budgétaire dont elle dispose pour couvrir les coûts initiaux (voir section 2.3.2). Pour la présente étude, nous introduisons une variable "déboursé en capital" (DEC) qui représente cette enveloppe budgétaire.

3.2.3.2 CRITERES QUALITATIFS

Il est beaucoup plus difficile d'établir les côtés droits de l'équation pour les critères de cette catégorie. L'utilisation de la statistique est chose courante en R&D pour évaluer les performances des projets avec des critères qualitatifs^{2,1,4,5}. Ainsi un projet peut être évalué par un groupe de personnes ressources à l'aide de cotes appropriées. La compilation des résultats peut alors se faire en utilisant les techniques de la statistique puisqu'une population suffisamment grande existe. Dans le cas d'une petite entreprise de construction, en général un seul individu est appelé à faire un choix parmi les logiciels disponibles, ce qui rend impossible l'usage de l'analyse statistique pour évaluer le côté droit de l'équation.

Afin d'établir ce côté droit, il importe de revenir

formulation du problème. Fondamentalement, voulons sélectionner le meilleur logiciel, pour chacune des informatiser, qui signifie choisir ce simultanément trois logiciels, soit un pour le traitement de texte, un pour la planification et un pour l'estimation. Le côté droit de l'équation doit donc représenter un seuil degré de acceptable, mesurant le satisfaction l'évaluateur, pour chacun des critères qualitatifs. présent cas, il s'agit d'établir une limite inférieure, c'est-à-dire que nous voulons retenir un ensemble de logiciels dont la sommation des cotes d'évaluation soit égalé ou supérieure à ce seuil.

suggère que la moyenne arithmétique des cotes d'évaluation soit utilisée pour déterminer le côté droit de l'équation30,63,77. Cette moyenne est ensuite ajustée en fonction de l'écart-type et multipliée par une constante équivalente au nombre de systèmes considérés, ce qui voudrait dire dans le cas présent, de multiplier la trois puisque l'on a trois activités à movenne par informatiser. Cette procédure est justifiée lorsque l'on considère le même nombre de logiciels pour chacune des activités. Par contre, si une activité possède plus de logiciels que les autres, comme l'activité de planification dans notre problème qui compte quatre logiciels, cette approche fausse l'équilibre des choix entre les activités.

C'est pourquei nous avons établi le côté droit de l'équation, pour un critère qualitatif donné, en calculant d'abord la moyenne arithmétique des cotes d'évaluation pour les logiciels de chaque activité et en effectuant ensuite la sommation de ces moyennes. Par exemple, pour le critère "documentation", le côté droit est établi de la façon suivante en utilisant les cotes d'évaluation du tableau 3.4:

$$\frac{5+3+4}{3} + \frac{4+4+4+3}{4} + \frac{1+4+4}{3} = 10.8 (10.75).$$

3.2.3.3 CONTRAINTES RIGIDES

Les contraintes rigides, dans le présent cas, visent à imposer le choix d'un et un seul logiciel pour chacune des activités à informatiser. Mathématiquement, on exprime les contraintes rigides comme suit:

$$1X_{1} + 1X_{2} + 1X_{3} = 1$$

$$1X_{4} + 1X_{5} + 1X_{6} + 1X_{7} = 1$$

$$1X_{6} + 1X_{7} + 1X_{10} = 1$$

La première équation correspond à l'activité traitement de texte, la seconde à l'activité planification et la dernière à l'activité estimation. A l'aide de ces contraintes additionnelles, le modèle numérique est contraint à ne rétenir qu'une seule variable décisionnelle, c'est-à-dire un seul logiciel pour chacune des activités à informatiser.

3.2.4 DEVELOPPEMENT DE LA FONCTION ECONOMIQUE

Nous avons vu à la section 3.2.1 que la fonction économique est essentiellement composée des variables d'écart qui mesurent, pour chaque objectif, la déviation (positive ou négative) par rapport au côté droit de l'équation. Afin de développer adéquatement la fonction économique, il importe maintenant de déterminer qu'el type d'écart doit être associé à chaque objectif.

3.2.4.1 CRITERE QUANTITATIF

A la section 3.2.3.1, nous avons établi que le côté droit de l'équation pour ce critère représentait une certaine enveloppe budgétaire (DEC). Ainsi, la sommation des coûts initiaux des logiciels retenus, pour chaque activité, doit être égale ou inférieure à ce DEC, soit:

 $f_{\epsilon}(x) \leq b_{\epsilon}$

ce qui signifie, d'après le tableau 3.1, l'inclusion de l'écart positif e+ dans la fonction économique.

3.2.4.2 CRITERES QUALITATIFS

Comme nous l'avons vu à la section 3.2.3.2, le côté droit de l'équation représente un seuil de satisfaction à dépasser, soit une limite inférieure. On aura donc comme type d'équation, pour chaque objectif correspondant à un critère qualitatif,

 $f_{\epsilon}(x) \ge b_{\epsilon}$

D'après le tableau 3.1, il suffit d'inclure un écart négatif e- pour chaque objectif de ce genre, dans la fonction économique.

3.3 CAS DE BASE "

Le cas de base, qui servira à générer les résultats numériques, doit être élaboré de façon à ce que des études paramétriques puissent être effectuées. Pour ce faire, comme nous l'avons vu à la section 3.2.3.1, une variable est introduite pour identifier le côté droit de l'équation correspondant au critère quantitatif (DEC), représentant dans les faits le budget d'investissement global pour l'acquisition de logiciels par une entreprise.

Les logiciels considérés ont tous fait l'objet d'une évaluation systématique selon une grille élaborée à cette fin (voir section 2.3.5), sauf le logiciel d'estimation Walker pour lequel seulement des informations fragmentaires ont pu être rassemblées. On trouvera le résultat de ces évaluations aux annexes 7 à 16. Les logiciels de traitement de texte ainsi que le logiciel PROJECT 1 ont été évalués par l'auteur. La grille d'évaluation ci-haut mentionnée a été mise à l'essai par Monsieur Jean Paradis qui a évalué les logiciels de planification SUPER PROJECT PLUS et TIME LINE III ainsi que les logiciels d'estimation QUICK EST et TECSONIC. Il serait évidemment souhaitable que tous les logiciels, pour une activité donnée; sqient évalués par le même individu.

Le tableau 3.4 ci-dessous regroupe les coûts initiaux et les cotes d'évaluation pour chacun des logiciels retenus au terme de la sélection primaire (section 2.2.2).

Tableau 3.4 Compilation des cotes d'évaluation et des coûts initiaux pour chacun des logiciels

* **		,			,			٠.		
LOGICIELS	LT,	LT.	LT ₃	LP,	LP.	LP ₃	LP4	LE,	LEe	LE ₃
variable' décisionnelle	•	. X.	' X 3	Х,	Хs	X.	Х,	X,	х,	Х1 0
coût initial	360	552	410	1104	552	897	330	4140	4830	3810
documentation	5	3	4 .	4	4	4.	3	1	4	4 4
utilisation	٠ 5	4	٠3	.1	5	4	4	3	3	2
flexibilité	4 '	3	3	4	3	3	3 .	4	3,	1
apprentissage	4	3 .	3	,1	4	4.	2	2	4	3
vendeur	3 .	3 .	4	4	3	3	3	4.	4	3

Il importe de mentionner ici que le problème étudié est simple et constitue une excellente façon de vérifier les résultats que nous obtiendrons. Il est clair, d'après le tableau 3.4, que le meilleur choix de logiciels peut être retenu à la suite d'un calcul fort simple. Toutefois l'objectif poursuivi, par la présente étude, est de présenter une approche qui serait tout aussi valable quel que soit le nombre d'activités à informatiser, le nombre de logiciels retenus par activité et le nombre de critères quantitatifs ou qualitatifs considérés. Ce modèle numérique fournira le meilleur choix possible tout en considérant un

budget précis et permettra en plus de prendre en considération les priorités que l'évaluateur imposera aux critères retenus.

3.3.1 FORMULATION MATHEMATIQUE

La formulation mathématique des objectifs et des contraintes rigides se présente donc comme suit:

```
CCI: '
            360X_1 + 552X_2 + 410X_3 + 1104X_4 + 552X_5 + 897X_4 + 330X_7 + 4140X_6 + 4830X_9 + 3810X_{10} \le DEC
CDO:
                                         4X_4 + 4X_8 + 4X_4 + 3X_7 +
              5X_1 + 3X_2 + 4X_3 +
                                                                               1X. +
                                                                                          4X, +
                                                                                                   4X, 2 10.8
              5X_1 + 4X_2 + 3X_3 + 1X_4 + 5X_5 + 4X_4 + 4X_7 + 4X_1 + 3X_2 + 3X_3 + 4X_4 + 3X_5 + 3X_5 + 3X_7 +
CUT:
                                                                               3X.**.
                                                                                          3X. + ·
                                                                                                   2X<sub>1</sub>, 2 10.2
CFL:
                                                                               4X. +
                                                                                         3X• +
                                                                                                   1X<sub>1</sub> ≥ 9.3
CAP:
            4X_1 + 3X_2 + 3X_3 +
                                        1X4 + 4X5 + 4X4 + 2X7 *
                                                                               2X.+
                                                                                         4X, +
                                                                                                    3X<sub>1</sub>, ≥ 9.1
              3X_1 + 3X_2 + 4X_3 +
                                          4X_4 + 3X_5 + 3X_4 + 3X_7 +
                                                                              4X.+ 4X.+
CVE:
                                                                                                    3X_{10} \ge 10.3
CR:
              1X<sub>1</sub> +1X<sub>2</sub> +1X<sub>3</sub>
CR:
              1X_4 + 1X_9 + 1X_6 + 1X_7 = 2
CR:
              1X. +1X. +1X. .
```

bù

variables décisionnelles $X_1 \rightarrow X_1$ critère quantitatif "coût initial" CCL DEC déboursé en capital .CDO critère qualitatif "documentation" CÙT critère qualitatif "utilisation" CFL critère qualitatif "flexibilité" WCAP critère qualitatif "apprentissage" critère qualitatif "vendeur", CVE . contraintes rigides.

Les abréviations, de gauche servent seulement ¿à identifier chaque équation.

La transposition deʻ équations, selon ces objectifs, s'effectue, linéaire des programmation ajoutant l'écart négatif objectif, en · chaque soustrayant/ l'écart positif. Ceci élimine les signes d'inégalité (qui sont remplacés par des signes d'égalité) et fonction économique (voir formuler .la permet de formulation générale, section 3.2.1).

Finalement, le modèle numérique de base, représentant le problème de la sélection de logiciels pour une petite entreprise de construction, prend la forme suivante:

```
FE: \min Z = X_{17} + X_{18} + X_{13} + X_{14} + X_{18} + X_{16} sujet à
```

```
CCI:
                     360X1 +552X2 +410X3 +1104X4 +552X3 +897X4 +330X7 +4140X4 +4830X9
                     +3810X_{10} + X_{11} - X_{17} = DEC
 CDO:
                     5X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 4X_4 + 4X_5 + 4X_5 + 3X_7 + 1X_6 + 4X_7 + 4X_{10} + X_{12} - X_{16} = 10.8
 CUT:
                     5X_1 + 4X_2 + 3X_3 + 1X_4 + 5X_3 + 4X_6 + 4X_7 + 3X_3 + 3X_9 + 2X_{10} + X_{13} - X_{19} = 10.2
                     2X_1 + 3X_2 + 3X_3 + 4X_4 + 3X_5 + 3X_6 + 3X_7 + 4X_6 + 3X_9 + 1X_{10} + X_{14} - X_{20} = 9.3
 CFL:
 CAP:
                  4X_1+3X_2+3X_3+1X_4+4X_3+4X_4+2X_7+2X_4+4X_9+3X_{10}+X_{13}-X_{24}=9.1
                     3X_1 + 3X_2 + 4X_3 + 4X_4 + 3X_5 + 3X_6 + 3X_7 + 4X_6 + 4X_7 + 3X_{10} + X_{16} - X_{22} = 10.3
 CVE:
CR:
                     1X_{1} + 1X_{2} + 1X_{3}
 CR:
                     1X_4 + 1X_8 + 1X_4 + 1X_7 = 4
 CR:
                     1X. +1X. +1X. .
                    X_t = 0 ou 1
                                         i= 1, 2, ..., 10
                                           i = 11, 12, \dots, 22
```

FE fonction 'économique

οù

X₁ à X₁₀ variables décisionnelles entières (binaires) X₁₁ à X₁₆ variables d'écart négatif •X₁, à X₂₀ variables d'écart positif.

CHAPITRE 4

ANALYSE DES RESULTATS

4.1 LOGICIEL' LINDO

commerciaux pour résoudre les problèmes de programmation linéaire, mentionnons entre autres les logiciels LP88, OPTEC et LINDO. Par contre, peu de ces logiciels peuvent résoudre les problèmes de programmation linéaire des objectifs et encore moins, ceux du type en nombre entier. La littérature dans ce domaine est très restreinte et quelques auteurs seulement traitent des problèmes de programmation linéaire des objectifs en nombre entier. Au chapitre précédent, nous avons formulé le cas de base, de manière à ce que le modèle numérique proposé puisse utiliser les techniques de la programmation linéaire en nombre entier pour résoudre ce type de problème.

Le logiciel LINDO' (L'Inear Interactive Discrete Optimizer) fonctionne sur micro-ordinateur compatible IBM.

Contrairement aux deux autres logiciels mentionnés plus haut, LINDO peut résoudre les problèmes de programmation linéaire en nombre entier en utilisant la méthodé du "B&B"

décrite à la section 3.1.

LINDO présente à l'écran (ou à l'imprimante), sous un format standard, la meilleure solution obtenue après chaque branchement. A l'annexe 17, on retrouve un exemple de sortie standard produite par LINDO. On y retrouve la valeur de la fonction économique ainsi que les valeurs des variables décisionnelles pour cette solution. Les valeurs du coût réduit "reduced cost" et de la solution duale nyont aucune signification lorsque l'on utilise la programmation Deux exemples, linéaire des objectifs en nombre entier. tirés de la littérature, nous permettent d'établir fiabilité du logiciel LINDO pour résoudre des problèmes de programmation linéaire en nombre entier. Le premier est tiré du livre de Bradley et al. " et le second, du livre de Ces deux tests, inclus aux annexes 18 et 19, Schrage 77, permettent d'établir que LINDO fonctionne tel que prévu et qu'il est applicable au problème qui nous concerné.

4.2 ETUDE PARAMETRIQUE SANS PRIORITE

Les résultats, présentés aux annexes 20 à 59, seront compilés sous forme de tableaux. Le premier, tableau X(a), indiquera à la première colonne le déboursé en capital (DEC) retenu. Les chiffres sous ATT, APL et AES désignent les logiciels retenus, par la solution optimale, pour chacune des trois activités à informatiser soit:

- activité traitement de texte ATT
- activité planification APL
- activité estimation AES.

La valeur de la fonction économique (VFE) suivra et enfin, à la dernière colonne, nous indiquerons la sommation des coûts réels des logiciels retenus (SCR). Le second 'tableau de compilation, tableau X(b), donnera les valeurs que prennent les écarts positifs ou négatifs, dans la fonction économique, en fonction du déboursé en capital.

4.2.1 ANALYSE INITIALE

Au chapitre précédent, nous avons inclus le DEC comme une variable dans le cas de base. Une première analyse, avec le cas de base, consiste à faire varier ce déboursé en capital. Cette variation s'étend d'un coût minimal de 4000\$ jusqu'à un coût maximal d'acquisition des logiciels de 6500\$, par tranches de 500\$. En effet, la sommation des coûts minimaux de logiciels pour chaque

activité, donne

 $X_1(360) + X_7(330) + X_{10}(3810) = 4500$

tandis que pour les coûts maximaux, on a

 X_4 (552) + X_4 (1104) + X_4 (4830) = 6486.

Tableau 4.1 Résultats pour un DEC variant par tranches de 500\$ (annexes 20 à 25)

DEC.	Lo	OGICIE	ELS. VFE SCI								
DEC.	ATT	APL	ÁES	V.E	[\$]						
4000	1	7	10	502.7	4500						
4500°	1 .	7	10	2.7	4500						
5000	1	5	10	2.6	4722°						
5500	1 1	. 5 .	8	1.1	5052 `						
6000	1 .	7	9	0.3	5520						
65 00	1 1	7	.9 ^	0.3	5520						
		~	,								
•	logiciels retenus pour chaque										

logiciels retenus pour chaque activité (voir tableau 3.3)

DEC déboursé en capital ATT activité traitement de texte APL activité planification AES activité estimation VFE valeur de la fonction économique SCR sommation des coûts réels des logiciels retenus

DEC [\$]	VFE	X ₁ , e+	X1 2	X13	X _{1.4} e-	X, ,	X; ;
4000 4500 5000 5500 6000 6500	2.7 2.6 1.1 0.3	500	0.8	٠,	1.3	0.1	1.3 1.3 1.3 0.3 0.3

X₁₇ écart positif associé au critère e+ quantitatif

X_{1 2} à X_{1 4} écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

(b)

4.2.1.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Du tableau 4.1(a), on peut tirer les informations suivantes:

le choix des logiciels 1, 7 et 10, pour un déboursé en capital de 4000\$, est tout à fait logique étant donné que l'on contraint le modèle numérique (logiciels avec les coûts minimaux. choisir les on remarque que la variable d'écart cet effet. positif X17, associée au critère CCI au tableau une valeur 4.1(b), possède de 500* ce qui signifie des logiciels choisis l'ensemble que le coût de dépasse le budget disponible. Il est à noter que ce choix ne constitue pas une solution possible, étant donné la faible valeur attribuée au DEC;

- les logiciels 1, 5 et 10 sont choisis pour un déboursé en capital de 5000\$. Le choix des logiciels 1 et 5 est justifié si l'on examine attentivement les cotes d'évaluation au tableau 3.4. Par contre, le logiciel 10 constitue un compromis pour ce déboursé en capital;
- avec un déboursé additionnel de 500\$, la solution retenue devient 1, 5 et 8;
- lorsque le déboursé en capital passe à 6000\$, une autre série de logiciels devient préférable, soit 1, 7 et 9;
- finalement, même lorsque le déboursé en capital atteint 6500\$ (et n'a donc plus aucune influence), le modèle numérique maintient le choix précédent, soit 1, 7 et 9.

Le tableau 4.1(b) livre les informations suivantes:

avec les six valeurs de DEC retenues, on n'obtient jamais de solution où tous les objectifs sont atteints simultanément puisqu'au moins un écart reste toujours supérieur à zéro (comme l'attestent d'ailleurs les VFE);

- lorsque le déboursé en capital augmente, la valeur de la fonction économique diminue, ce qui signifie que l'on tend vers l'optimalité;
- lorsque le déboursé en capital atteint le seuil de 4500\$, on constate que l'écart positif X,, disparaît et qu'aucun changement ne se produit dans le choix des logiciels, comme l'on pouvait s'y attendre;
- et 6000\$, la valeur de la fonction économique tend à se stabiliser à 0.3, sa valeur minimale dans le cas présent;
 - le nombre de variables d'écart entrant dans la composition de la VFE diminue en général l'orsque le déboursé en capital augmente. Cela signifie que plus le budget d'acquisition est faible, plus on doit compromettre la qualité lors du choix des logiciels; par contre, on peut évidemment se permettre d'acquérir les meilleurs logiciels lorsque le budget disponible est plus élevé. Cette augmentation du DEC permet, à l'aide du modèle numérique, de choisir parmi un plus grand nombre de logiciels. Ainsi, la variable d'écart positif X17 associée au critère CCI et les variables d'écart négatifs X15 et X15, associées respectivement aux

critères CFL et CAP, disparaissent tour à tour avec l'augmentation du DEC. La variable d'écart négatif X, , associée au critère CDO, apparaît pour un déboursé en capital de 5500\$, puis disparaît lorsque le DEC atteint 6000\$;

la variable d'écart négatif X₁₄, associée au critère CVE, reste en permanence, quelle eque soit la VFE.

4.2.2 INTERVALLES RESTREINTS

Les résultats des tableaux 4.1 démontrent que la valeur de la fonction économique atteint un minimum (0.3) pour un déboursé en capital supérieur à 5500\$. Comme le but recherché est de déterminer la meilleure combinaison de logiciels, c'est-à-dire avec la plus petite VFE possible, une étude paramétrique est effectuée en prenant comme intervalle des tranches de 100\$, pour un DEC variant de 5500\$ à 6000\$. Les résultats ainsi obtenus sont compilés dans les tableaux 4.2(a) et 4.2(b).

Tableau 4.2 Résultats pour un DEC variant par tranches de 100* (annexes 26 à 31)

250	LC	GICIE	LS*		225					
DEC (\$)	ATT'	APL	AES	YFE	SCR (
5500 5600 5700 5800 5900 6000	1 1 1 1 1	5 7 7 5 5	8 9 9 9 9	1.1 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3	5052 5520 5520 5742 5742 5520					
DEC ATT APL AES VFE SCR	Logiciels retenus pour chaque activité (voir tableau 3,3) DEC déboursé en capital activité traitement de texte APL activité planification activité estimation VFE valeur fonction économique									

(a)

DEC .	VFE	X, , e+	X _{1.6}	X13	X14	X ₁ s	X14
5500 5600 5700 5800 5900 6000	1.1 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3		0.8	-,		in the second se	0.3 0.3 0.3 0.3 0.3

X₁₇ écart positif associé au critère e+ quantitatif

 $X_{i,\epsilon}$ à $X_{i,\epsilon}$ écarts négatifs associés aux critéres e qualitatifs

4.2.2.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Des tableaux précédents, on remarque que:

- les valeurs de la fonction économique, pour un déboursé en capital supérieur à 5500\$, n'ont pas changé et sont demeurées minimales à 0.3, ce qui implique des choix d'égale qualité;
- un changement dans le choix de logiciels intervient entre 5500\$ et 5600\$, soit 1, 7 et 9 (la même solution que pour un DEC dè 6000\$);
- un autre choix intervient entre 5700\$ et 5800\$, soit

 1, 5 et 9, avant de revenir à nouveau à 1, 7 et 9

 pour un DEC de 6000\$;
- finalement, la variable d'écart négatif X₁₅ est la seule valeur contribuant à la fonction économique,

Ces résultats permettent de calculer que le premier changement devrait se produire lorsque le déboursé en capital atteint 5520\$, ce montant représentant la sommation des coûts réels d'acquisition des logiciels 1, 7 et 9. Cette assertion est confirmée par la valeur de l'écant négatif $X_{1:i}$ (voir annexe 27) qui est de 80\$, ce qui donne

effectivement 5520\$ lorsque l'on soustrait ce montant de 5600\$. Le même raisonnement doit aussi s'appliquer pour le second changement de logiciels, c'est-à-dire de 1, 7, 9 à 1, 5 et 9, pour un déboursé en capital \$\mathbb{e}_{\sigma}\$,5742\$. On tentera de vérifier cette hypothèse à la section suivante.

4.2.3 SOMMATION DES COUTS DE LOGICIELS

Pour identifier avec précision le niveau de DEC responsable d'un changement, dans le choix des logiciels, nous avons effectué quelques essais additionnels et regroupé les résultats aux tableaux 4.3.

Tableau 4.3 Résultats pour les transitions 55199-55209 et 57419-57429 (annexes 32 à 35)

DEC	L	GICIE	VFE	SCR	
[\$]	ЙТТ	APL	AES	VFE	[#]
5519 5520 5741 5742	1 1 1	6 7 7 - 5	₽8 9 9 9	1.1 0.3 0.3 0.3	5397 5520 5520 5742
DEC ATT APL AES VFE SCR	chaque débour active active active	e actives en lité traité plaité es fonction de	capite mitemen anifica timation tion e con	voir tabl al at de tes ation	

DEC (VFE শ্ৰ	X,,	е- Х, а	X.,	X, 4	X, s	X, . '
5519 5520 5741 5742	1.1 0.3 0.3 0.3	·	0.8				0.3 0.3 0.3 0.3

X_{1.7} 'écart positif associé au critère
e+ quantitatif

 $X_{1:e}$ à $X_{1:e}$ écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

(b)

4.2.3.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Des résultats compilés au tableaux 4.3, on observe que:

- pour un DEC immédiatement inférieur à 5520\$, on obtient comme solution une nouvelle combinaison de logiciels, soit 1, 6, et 8 correspondant à une SCR. de 5397\$. Cette solution ne correspond pas à celle obtenue précédemment pour un déboursé en capital de 5500\$, soit 1, 5 et 8 (tableaux 4.1(a) et 4.2(a));
- logiciels 1, 7 et 9 tout comme au tableau 4.2(a)

 pour des déboursés en capital de 5600* et 5700*;

tel que prévu, la solution demeure inchangée (1, 7, et 9) pour un DEC de 5741\$. A 5742\$, le choix se porte sur les logiciels 1, 5 et 9 ce qui correspond à la même sélection que pour un déboursé en capital 5800\$ au tableau 4.2(a).

L'hypothèse avancée à la section précédente s'avère donc exacte. Des changements, dans le choix de logiciels, se sont effectués lorsque le déboursé en capital a atteint 5520\$ et 5742\$. Par contre, les solutions obtenues au tableau 4.2(a) pour un DEC de 6000\$ (1, 7 et 9 à nouveau) et au tableau 4.3(a) pour un DEC de 5519\$ (1, 6 et 8 pour la première fois) nous incitent à reconsidérer la formulation du modèle numérique selon la programmation linéaire des objectifs standard.

4.2.4 NOUVELLE FORMULATION DU MODELE NUMERIQUE

Les résultats obtenus dans les sections précédentes soulèvent quelques interrogations. La plus évidente provient des tableaux 4.1 et 4.2 qui indiquent que, pour une VFE égale à 0.3 avec un DEC se situant entre 5500\$ et 6500\$, il y a trois choix possibles de logiciels: la combinaison 1, 7 et 9 pour un DEC égal à 5520\$, la combinaison 1, 5 et 9 pour un DEC égal à 5742\$ et enfin la combinaison 1, 7 et 9 qui revient encore une fois entre 5900\$ et 6000\$. Ce dernier choix semble peu judicieux pour un tel investissement,

particulièrement si l'on considère que le logiciel 7 (voir tableau 3.4) recueille des cotes d'évaluation inférieures aux autres logiciels de la même activité (logiciels 5 et 6). Il appert, au tableau 3.4 que le logiciel 5 soit meilleur que le logiciel 7, si l'on ne considère que les cotes attribuées aux critères qualitatifs.

Pour comprendre ces résultats ainsi que ceux du tableau 4.3, l'on doit revenir à la résolution d'un problème de programmation linéaire des objectifs en nombre entier, La section 3.1 explique ce méthode du B&B. LINDO fonctionnement. Le logiciel utilise un décisionnel qui compare la valeur de la fonction économique avec celle obtenue à l'itération précédente. Si cette valeur est plus petite que la précédente, LINDO retient alors cette nouvelle valeur. A partir du moment où la valeur du DEC n'impose plus de restrictions sur le choix de logiciels, LINDO produire peut indifféremment des différentes, pourvu que la VFE minimale reste la même. possibilité d'obtenir des choix de logiciels différents, comme résultats finals, dépend alors entièrement de la façon dont débute le processus de branchement dans la méthode du choix de la première variable, pour initier ce B&B. processus de branchement, est effectué par le logiciel LINDO de manière à obtenir une solution finale le plus rapidement possible''.

Pour résoudre cette difficulté, il est nécessaire de reconsidérer la formulation de la fonction économique en programmation linéaire des objectifs. Pour le cas de base, la formulation de la fonction économique introduit une seule variable d'écart, par objectif, et la solution finale (optimale) est obtenue lorsque la VFE tend vers zéro. cas d'un critère qualitatif, par exemple f (x) 2 b,, cette procédure garantit que la somme des cotes d'évaluation ne soit pas inférieure au côté droit (b.). Pour ce faire, on a introduit la variable d'écart négatif (e;) dans une fonction &conomique & minimiser (voir section 3.3.1). Dans l'optique de choisir les meilleurs logiciels possibles, il serait fortement désirable de maximiser l'écart positif correspondant (e;) dans la fonction économique, cé que la procédure standard ignore totalement. Pour ce faire, on constate que dans la même fonction économique, on aurait à , minimiser certaines variables (X₁₂ à X₁₇) et en maximiser d'autres (X10 à X22). Pour contourner cette difficulté, nous multiplierons les variables à maximiser, soit X: à Xe's, par la valeur -1 ce qui produira une seule fonction économique uniforme à minimiser. Le modèle numérique est donc modifié en insérant, dans la fonction économique, les écarts positifs comme suit:

min $Z = X_{i,7} + X_{i,8} + X_{i,8} + X_{i,8} + X_{i,8} + X_{i,8} - X_{i,8$

A l'aide de ce modèle modifié, on cherche maintenant à obtenir non plus l'optimalité mathématique telle que décrite en 3.2.1 (VFE ~ 0), mais une VFE qui soit la plus petite possible. Cette condition garantira l'obtention d'une solution finale.

4.2.5 CAS DE BASE MODIFIE

Nous avons donc repris l'exercice de comparaison, fait aux sections 4.2.1 et 4.2.2, avec les déboursés en capital suivants.

Tableaux 4.4 Résultats avec le cas de base modifié (annexes 36 à 43)

DEC	, ro	GICIEL	5• (VFE	SCR					
- [e]	ATT	APL .	AES	VI E	(\$]					
500 550 560 570 580 590 600 650	0 1 0 1 0 1 0 1 0 1	5 7 7 5 5 5	10 8 9 9 9 9 9	-3.3 -4.3 -4.3 -4.3 -8.3 -8.3 -8.3	4722 5052 5520 5520 5742 5742 5742 5742					
DEC ATT APL AES VFE SCR	activ débou activ activ activ valeu somma	logiciels retenus pour chaque activité (voir tableau 3.3) déboursé en capital activité traitement de texte activité planification activité estimation valeur fonction économique sommation des coûts réels des logiciels retenus								

DEC [\$]	VFE	X ₁₇ e+	6- X1 s	X ₁₃ e-	X, , e-	X e-	X, 4	X, a e+	Χ., e+*	X. e	X	X e+
5000 5500 5600 5700 5800 5900 6000 6500	-3.3 -4.3 -4.3 -8.3 -8.3 -8.3	,	0.8	*	1.3		1.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3	1.2 1.2 2.2 2.2	1.8 2.8 1.8 1.8 2.8 2.8 2.8	0.7 0.7 0.7 0.7 0.7		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

X_{1.7} écart positif associé au critère e+ quantitatif

X_{1.8} à X_{1.6} écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

X: à X: écarts positifs associés aux critères e+ , e+ qualitatifs

(b)·

4.2.5.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Des tableaux 4.4 on remarque que:

pour un DEC variant de 5000\$ à 5900\$, les solutions finales sont identiques à celles obtenues auparavant à l'aide du cas de base. Nous n'avons plus, cependant, le retour indésirable, de la solution 1, 7 et 9 pour des DEC de 6000\$ et 6500\$. Le meilleur choix de logiciels, pour un DEC de 5800\$ et plus, demeure donc 1, 5 et 9 puisque ce choix recueille dans l'ensemble les meilleurs cotes d'évaluation pour les critères qualitatifs;

on obtient, pour des DEC de 5500\$, 5600\$ et 5700\$, une même VFE, soit -4.3, mais aussi deux combinaisons de logiciels différentes soit (1, 5, 8 et 1, 7, 9).

Pour une même VFE, c'est-à-dire une qualité égale des critères qualitatifs, on devrait pour l'ensemble s'attendre à obtenir comme solution finale le choix le moins coûteux (1, 5 et 8). Or le modèle propose un choix plus dispendieux (1, 7 et 9) pour des DEC de 5600\$ et 5700\$, sans pour autant en augmenter la qualité. Ce phénomène n'est pas surprenant puisque la fonction économique ne tient pas compte des coûts inférieurs au DEC, représentés par la variable d'écart négatif X: La variable d'écart positif associée au critère quantitatif "coût initial", garantit seulement que la solution retenue n'excédera pas le strait par ailleurs difficile d'introduire la d'écart \négatif correspondante X fonction économique puisque ses unités ne seraient pas compatibles avec celles des variables d'écart associées aux critères qualitatifs. C'est donc dire qu'une certaine dose dè jugement reste de rigueur, malgré tous les soins apportés l'élaboration du modèle numérique.

A la section 4.2.3 nous avons vérifié l'hypothèse énoncée à la fin de la section 4.2.2.1, à savoir qu'il devrait y avoir changement, dans le choix des logiciels, lorsque le déboursé en capital atteint la SCR des logiciels retenus. Les résultats obtenus à la section 4.2.3 ont confirmé que la transition des DEC, de 5741\$ à 5742\$, impliquait un changement dans le choix des logiciels. Par contre, pour la transition de 5519\$ à 5520\$, une combinaison imprévue de logiciels, soit 1, 6 et 8, est apparue pour un DEC de 5519\$, nous obligeant ainsi à (modifier le cas de base. Afin de vérifier la qualité du cas de base modifié, quelques essais ont été effectués autour de la transition de 5519\$ à 5520\$. Les tableaux 4.5 affiche les résultats obtenus.

Tableau 4.5 Vérification de la transition 5519\$-5520\$ (annexes 44 à 47)

DEC		LOC	SICIELS	5 •	VFE	SCR
[\$]		ATT .	APL -	AES.	/	[\$]
5560		1	5	8	-43	. 5052
5519		1	5 [^]	8	-4.3	5052
5520	7	1	7	9	-4.3	5520
5600		1	7	9	-4.3	5520

logiciels retenus pour chaque activité (voir tableau 3.3)

DEC déboursé en capital ATT activité traitement de texte APL activité planification AES activité estimation

VFE valeur fonction économique SCR sommation des coûts réels des logiciels retenus

رã)

DIC (e)	VFE	X, 7 e+	X, :	X _{1 3}	Х, ,	X; 5	ğ- Χ΄ •	χ, a e+	X,, , e+	X _e , e+	Xe i e+	X2 2 12+
5500 5519 5520 5600	-4.3 -4.3	•	0.8 0.8	4	ه مسمور			1.2	2.8 1.8	1.7 0.7	0.9 0.9 0.9	

X₁₇ écart positif associé au critère e+ quantitatif

 $X_{1:0}$ à $X_{1:0}$ écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

X₁₀ à X₂₀ écarts positifs associés aux critères .e+ `e+ qualitatifs

4.2.6.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Le tableau 4.5(a) démontre que la difficulté observée à la section 4.2.3, soit le choix des logiciels 1, 6 et 8, a disparu. Nous obtenons maintenant comme sélection les logiciels 1, 5 et 8 pour un DEC de 5519\$. Ce choix est identique à celui obtenu pour un DEC de 5500\$ avec une même VFE, soit -4.3. Ces résultats démontrent à nouveau que le modèle numérique modifié fonctionne de façon adéquate.

4.3 ETUDE PARAMETRIQUE AVEC PRIONTE

4.3.1 PRIORITES SELON L'AUTEUR (CAS DE BASE)

Jusqu'à maintenant, aucune priorité n'a été considérée dans la formulation du modèle numérique. La grille de préférence de l'annexe 6 donne les résultats de la comparaison des critères qu'a effectuée l'auteur. Ainsi chaque critère est comparé cinq fois avec les autres critères retenus. La compilation des résultats démontre que:

- le critère quantitatif "coût initial" est préféré deux fois;
- le critère qualitatif "documentation" est préféré une seule fois;
- le critère qualitatif "utilisation" est préféré cinq fois;
- le critère qualitatif "flexibilité" est préféré quatre fois;
- le critère qualitatif "apprentissage" est préféré deux fois;
- le critère qualitatif "vendeur" està préféré une seule fois.

La formulation de la programmation linéaire des objectifs permet d'attribuer à chaque critère une priorité (voir section 3.2.1.1). Mathématiquement, il est possible

d'introduire cette priorité dans la fonction économique lorsqu'elle est de type scalaire. Ainsi, chaque écart de la fonction économique est multiplié par le coefficient de priorité attribué au critère qui lui est associé. En utilisant le cas de base, la fonction économique avec priorités devient

min $Z = 2X_{i,7} + X_{i,2} + 5X_{i,3} + 4X_{i,4} + 2X_{i,5} + X_{i,4}$

Les résultats correspondant à l'introduction de priorités sont présentés aux tableaux 4.6.

Tableaux 4.6 Résultats avec le cas de base et priorités (annexes 48 à 51)

DEC	LO	GICIEL	5° ,	VFE	SCR	
[\$]	ATT	APL	AES	· ALE	(\$)	
5000 5500 6000 6500	1 1 1 1	. 7 5 5 6	8 8 9 9	4.3 1.1, 0.3 0.3	4830 5052 5742 6087	
DEC ATT APL AES VFE SCR	chaque débou activ activ activ valeu somma	e actives en ité traité plaité es rioncité es troncité es rion de la constant de	capita aitemen anifica timatio tion éq	oir tab il it de te ition	•	

DEC .	VFE	X ₁ ,	X, ,	X, ,	X, 4	X, s	X, 6
5000 5000 6000 6500	4.3 1.1 ~ 0.3 0.3	¥2	1.8	``		1.1	0.3 0.3 0.3 0.3

X₁, ^ écart positif associé au critère e+ quantitatif

X₁₂ à .X₁₄ écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

· (b)

4.3.1.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Si l'on compare les tableaux 4.1(a) et 4.6(a), on constate que:

- pour un DEC de 5000\$ le choix des logiciels est différent;
- lorsque le DEC passe à 5500\$, %le choix est identique, à savoir les logiciels 1, 5 et 8;
- pour les DEC de 6000\$ et 6500\$, les résultats diffèrent seulement au niveau des logiciels de l'activité planification (APL).

L'examen des tableaux 4.1(b) et 4.6(b) révèle, quant à lui, que l'introduction des priorités n'à eu d'effet que En effet, lorsqu'aucune priorité pour un DEC de 5000\$. n'était attribuée aux critères, seules les variables d'écart X, et X, composaient la VFE (voir tableau 4.1(b)). En maintenant une forte accordant priorité au flexibilité (variable d'écart X14), le modèle numérique propose les logiciels 1, 7 et 8 comme solution à 5000\$, un choix qui favorise de toute évidence les cotes d'évaluation rattachées à ce critère (tableau 3.4), au détriment des autres critères associés aux variables X, , X, et X, au , tableau 4.6(b).

Nous devons laisser de côté encore une fois le cas de base, étant donné que pour un DEC de 6500\$, on obtient comme solution les logiciels 1, 6 et 9 avec une VFE de 0.3. Or à qualité égale (VFE = 0.3), ce choix est plus coûteux que les logiciels 1, 5 et 9 retenus pour un DEC de 6000\$ (voir tableau 4.6(a)). Nous reprendrons donc l'exercice avec le cas de base tel que modifié à la section 4.2.4.

4.3.2 CAS DE BASE MODIFIE AVEC PRIORITE

Les priorités sont appliquées aussi bien aux écarts négatifs que positifs afin de mesurer l'impact total sur le système. On aura donc comme fonction économique

min $Z = 2X_{17} + X_{18} + 5X_{13} + 4X_{14} + 2X_{18} + X_{16} - X_{16} - 5X_{17} - 4X_{20} - 2X_{21} - X_{22}$

et les résultats obtenus sont compilés aux tableaux 4.7.

Tableaux 4.7 Résultats avec le cas de base modifié et priorités (annexes 52 à 55)

	EC .	LOC	SICIELS	5 •	VFE	SCR	
•	\$]*	ATT APL AES		VF.	»[\$]		
50, 500 600 650	00 00	1 1 1	7 5 5 5	8 8 - 9 9	-1i.5 -21.5 -24.5 -24.5	4830 5Q52 5742 5742	
DEC ATT APL AES VFE SCR	•	chaque débour activi activi activi valeur sommat	rsé en ité tra ité pla ité est '.fonct	vité (vapita aitemer anifica timation tion éc es coût	voir tabl al nt de tem ation	*	

(a)

DEC"	VFE	1	,		X, 4				,	X _{4 1}	Xee e+
5500 6000	-11.5 -21.5 -24.5 -24.5		1.8 0.8	N ₃			2. 2 2. 2	2.8 2.8		0.9 2.9	· '

X₁, écart positif associé au critère e+ quantitatif

 $X_{1:e}$ à $X_{1:e}$ écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

X_{1 a} à X_{2 a} écarts positifs-associés aux critères e+ e+ qualitatifs

4.3.2.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Tel que supposé, les solutions retenues suivent un processus de sélection plus consistant. En effet les logiciels 1, 6 et 9, pour un DEC de 6500\$ (voir tableau 4.6(a)), sont maintenant remplacés par une meilleure combinaison de logiciels (1, 5 et 9).

4.3.3 PRIORITE - VENDEUR

A l'examen de tous les tableaux (b) présentés jusqu'à maintenant au chapitre 4, il ressort que le critère qualitatif "vendeur" (variable d'écart X, et X, et X, est toujours impliqué dans la VFE. Il serait intéressant d'examiner l'impact qu'aurait ce critère sur la détermination des meilleurs choix de logiciels. Ce dernier exercice démontrera aussi la polyvalence de l'approche numérique proposée, sa capacité à mettre en relief les multiples facettes d'un problème complexe.

Cette dernière analyse accorde au critère qualitatif "vendeur" une priorité de 10, c'est-à-dire une priorité égale au double de la valeur que peut recevoir ce critère d'après la grille de préférence (voir annexe 6). Nous attribuons donc, aux variables d'écarts X_{1.6} et X_{2.6} un coefficent de 10. Les autres variables reçoivent une priorité égale à 1... La fonction économique du cas de base

modifié est donc la suivante:

min $Z = X_{17} + X_{18} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + 10X_{16} - X_{16} - X_{19} - X_{20} - X_{24} - 10X_{22}$

Les résultats sont compilés aux tableaux 4.8?

Tableaux 4.8 Résultats avec le cas de base modifié et priorité accordée au CVE (annexes 56 à 59)

DEC	LO	SICIELS	5 °	VFE	SCR			
(\$)	ATT	APL	AES	. VFC	(\$)			
5000 5500 6000 6500	333 3	7 5 5 4	8 9 9	-2.6 -6.6 -10.6 -14.6	4880 * 5102 5792 * 6344			
DEC ATT APL AES VFE SCR	logiciels retenus pour chaque activité (voir tableau 3.3) déboursé en capital activité traitement de texte activité planification activité estimation valeur fonction économique sommation des coûts réels des logiciels retenus							

DEC [\$]	VFE					X, .			X e+		
6000	-2.6 -6.6 -10.6 -14.6		2.8 1.8	0.3	2.1 0.1		1.2 1.2	0.8	0.7 0.7 0.7	1.9	0.7 0.7 0.7 1.7
	,	,		,			r				ŀ

X_{1,7} écart positif associé au critère e+ quantitatif '

X₁₂ à X₁₄ écarts négatifs associés aux critères e- e- qualitatifs

X_{1.0} à X_{2.2} écarts positifs associés aux critères e+ e+ qualitatifs

(b)

4.3.3.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

On remarque au tableau 4.8(a) que les logiciels retenus changent pour chaque valeur du DEC. Il apparaît que la pondération accordée à X1. fait en sorte que cette variable décart négatif ne se retrouve plus dans les composantes des fonctions économiques au tableau 4.8(b). On constate aussi que le modèle numérique choisit les logiciels 3, 4 et 9 pour un DEC maximal de 6500\$. Lorsque l'on considère les cotes d'évaluation accordées au CVE (voir dernière ligne, tableau 3.4), on observe que les logiciels retenus ont tous reçu les plus hautes valeurs, pour chaque activité.

4.4 CONCLUSION

Il apparaît, à la lumière des résultats obtenus, que le meilleur choix possible serait la combinaison des logiciels 1, 5 et 9 pour un DEC de 57425 et plus. Cette solution a été obtenue sans l'usage de priorités. Lorsque l'on fait intervenir les priorités, le modèle numérique génère des solutions tout à fait plausibles, solutions qu'il serait difficile d'obtenir avec une autre méthode. L'approche proposée se révèle donc être un outil puissant et versatile pour assister, et non remplacer, le gestionnaire dans le processus de sélection de logiciels.

CHAPITRE 5

MODELE MULTIDIMENSIONNEL

A la section 2.4.4, nous avons introduit le modèle multidimensionnel appliqué au choix de logiciels. Ce modèle retient l'attention par sa capacité à manipuler simultanément les critères critiques, quantitatifs et qualitatifs (voir section 2.3). Ainsi, ce modèle devrait produire des résultats comparables, du moins en partie, à ceux du chapitre précédent. Nous comparerons les résultats produits par le modèle multidimensionnel avec ceux obtenus par le modèle numérique modifié (sans priorité).

5.1 FORMULATION GENERALE

De façon mathématique, le modèle multidimensionnel s'exprime comme suit:

EL, = I (MFO,) + (1-I) MFS,
$$j = 1, ..., q$$
 (5.1)

où:

evaluation du logiciel j
métrique des critères quantitatifs pour
le logiciel t
métrique des critères qualitatifs pour
le logiciel t
importance accordée à MFO. (0 \(\) I \(\) 1)
q nombre total de logiciels considérés
\(\) 10 dans le cas présent)
n ombre de logiciels pour chaque activité.

logiciel sera évalué en fonction des critères quantitatif et qualitatifs qui ont été retenus lors de l'élaboration du cas de base (voir section 3.3.1). Dans l'équation 5.1, si l'on attache plus d'importance aux critères quantitatifs, l'on adopters une valeur de I voisine de 1.0; inversement, une valeur de I voisine de 0.0 témoignera d'une plus grande importance accordée aux critères qualitatifs.

5.1.1 . CRITERES QUANTITATIFS

La métrique des critères quantitatifs, pour chaque to logiciel d'une activité, est calculée comme suit:

$$MFO_{i} = \frac{1}{CCI_{i}} \qquad i = 1, \dots, n \\
i = 1, \dots, m$$

et

$$S_{1} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{CCI_{i}} \right)$$

 $\sum_{i=1}^{n} MFO_{i} = 1, ainsi que 0 ≤ MFO_{i} ≤ 1$

S. sommation de l'inverse des coûts pour l'activité l'
m nombre d'activités considérées (3 dans le cas
présent).

5.1.2 - CRITERES QUALITATIFS

La métrique des critères qualitatifs, pour chaque logiciel de chacune des activités, est formulée comme suit:

MFS: =
$$\sum_{k=1}^{\infty}$$
 (PCA: | ICQ|) $i=1,\ldots,n$ | $k=1,\ldots,r$

οù

PCA: pondération des cotes par activité (voir section 5.1.2.1)

ICO: importance du critère qualitatif*

nombre de critères qualitatifs (5 dans le cas

et

$$\sum_{i=1}^{n} MFS_i = 1.$$

Puisque nous comparerons avec le modèle proposé sans priorité, il suffit donc ici d'accorder une priorité égale à chaque critère qualitatif, soit ICQ = 0.2.

5.1.2.1 PONDERATION DES COTES PAR ACTIVITE

La pondération des cotes d'évaluation, reçues par chaque logiciel pour une activité donnée, normalise ces cotes en leur assignant une valeur comprise entre 0 et 1.

Ainsi, la cote d'évaluation du logiciel (i) pour le critère qualitatif (k) étudié, sur la sommation des valeurs numériques des cotes d'évaluation (reçues par chaque logiciel pour l'activité considérée), donne la PCA pour le logiciel i. Sous forme mathématique, l'on retrouve:

$$PCA_{i,k} = \frac{CE_{i,k}}{n}$$

$$CE_{i,k}$$

$$i = 1, ..., n$$

$$k = 1, ..., r$$

οù

CE., cote d'évaluation reçue par le logiciel t pour le critère k (voir tableau 3.4).

5.2 SOLUTION DU PROBLEME

5.2.1 METRIQUE FOR CRITERE QUANTITATIF

b'exemple qui suit illustre le calcul de la métrique du critère quantitatif pour l'activité traitement de texte (l=1):

$$S_{i} = (1/360) + (1/552) + (1/410) = 0.00703$$
 $MFO_{i} = \frac{1}{360 \cdot S_{i}} = 0.395$
 $MFO_{e} = \frac{1}{552 \cdot S_{i}} = 0.258$
 $MFO_{3} = \frac{1}{410 \cdot S_{i}} = 0.347$

Les valeurs obtenues pour les autres activités sont compilées aux tableaux 5.1 à 5.3.

5.2.2 METRIQUE, DES CRITERES QUALITATIFS

Par exemple pour l'activité traitement de texte, la métrique des critères qualitatifs se calcule comme suit, :

MFS₁ = 0.2
$$\left[\frac{5}{12} + \frac{5}{12} + \frac{4}{10} + \frac{4}{10} + \frac{3}{10} \right]$$
 = 0.387
MFS₂ = 0.2 $\left[\frac{3}{12} + \frac{4}{12} + \frac{3}{10} + \frac{3}{10} + \frac{3}{10} \right]$ = 0.296
MFS₃ = 0.2 $\left[\frac{4}{12} + \frac{3}{12} + \frac{3}{10} + \frac{3}{10} + \frac{4}{10} \right]$ = 0.317

Les valeurs obtenues sont aussi compilées dans les tableaux 5.1 à 5.3.

Tableau 5.1 Résultats des MFS et MFO pour l'activité traitement de texte

	LOGIC	Ε HFO,		
	1	2	3	MFS.
MFO.	0. 395	0. 258	0.347	1.0
MFS.	0.387	0. 296	0.317	1.0

Tableau 5.2 Résultats des MFS et MFO pour l'activité planification

·	L	LOGICIELS DE L'APL								
	1 .	2	3	4	HFO.					
nfo. Hfs.	0.132	0. 26 4 0. 290	0.162 0.276	0.442	í⁄. 0 1÷0					

Tableau 5.3 Résultats des MFS et MFO pour l'activité estimation

٥.	LOGIC	Σ MFO, et		
,	1 .	2 ,	3	MFS.
HFO₄ [}] ,	0. 340	0. 291	0. 369	1.0
NFS.	0.314	0.401	0. 285	1.0

5.2.3 EVALUATION DES LOGICIELS

La valeur EL, attribuée à chaque logiciel, est finalement obtenue en utilisant la formule 5.1 et les données des tableaux précédents. On obtient ainsi, pour chaque logiciel, une équation linéaire de la façon suivante:

ACTIVITE TRAITEMENT DE TEXTE

EL_1	= 0.395I	+	0.387(1-1)	=	0.0081 + 0.387		5.2)
EL.	= 0.258I	+	0.296(1-1)	=	0.296 - 0.0381	`	5.3)
EL,	= 0.347I	+	0.317(1-1)	=	0.030I + 0.317	(5.4)

ACTIVITE PLANIFICATION

EL.	= 0.132I	+ 0.209(1-I) = 0.209 - 0.077I	. (5.5)
EL,	= 0.264I	+ 0.290(1-I) = 0.290 - 0.026I	(5.6)
EL.	= .0.1621	+ 0.276(1-I) = 0.275 - 0.114I	(5.7)
EL,	= 0.442I	+ 0.226(1-I) = 0.216I + 0.226	(5.8)

ACTIVITE ESTIMATION

	\ Y''	,	
EL	= 0.340I	+ 0.314(1-I) = 0.026I + 0.314	(5,9)
EL,	= 0.291I	+ 0.314(1-I) = 0.026I + 0.314 + 0.401(1-I) = 0.401 - 0.110I + 0.285(1-I) = 0.084I + 0.285	(5.10)
ELra	= 0.3691	+ 0.285(1-1) = 0.0841 + 0.285	(5.11).

5.2.4 · ANALYSE DE SENSIBILITE

Une analyse de sensibilité est par la suite réalisée en considérant toutes les valeurs possibles pour la variable I (voir équation 5.1), soit de 0 à 1, pour chacune des équations 5.2 à 5.11. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, on a regroupé, aux figures 5.1 à 5.3,

l'ensemble des droites représentant les logiciels pour chacune des activités.

5.2.4.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'on observe des figures 5.1 à 5.3:

Figure 5.1

- la droite représentant le logiciel 1 domine les deux autres droites, réprésentant respectivement les logiciels 2 et 3, pour toutes les valeurs de I.

Figure 5. 2

- \- les logiciels 4 et 6 sont dominés par les logiciels
 5 et 7, pour toute valeur de I;
 - le logiciel 5 est préféré pour les valeurs 0 slI s 0.26;
 - le logiciel 7 est préféré pour tout I > 0.26.

Figure 5.3

- le logiciel 8 est dominé par les deux autres, pour toute valeur de I;
- le logiciel 9 est retenu pour les valeurs .

 O ≤ I ≤ O.59;
- le logiciel 10 est préféré lorsque I > 0.59.

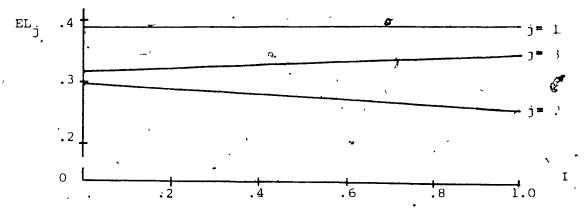


Figure 5.1 Analyse de sensibilité pour les logiciels de traitement de texte

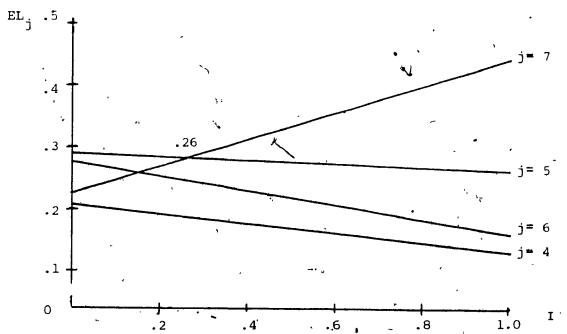


Figure 5.2 Analyse de sensibilité pour les logiciels de planification

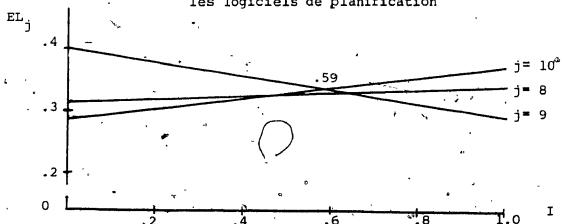


Figure 5.3 Analyse de sensibilité pour les logiciels d'estimation

-41-

Pour l'activité traitement de texte, le modèle multidimensionnel présente comme seul choix possible le logiciel 1, tant du point de vue du critère quantitatif que des critères qualitatifs.

En Le qui concerne l'activité planification, si le gestionnaire accorde plus d'importance aux critères qualitatifs (c'est-à-dire une valeur I plus faible), il optera alors pour le logiciel 5, qui est plus coûteux que le logiciel 7. Inversement, si le critère quantitatif est plus important, il choisira alors ce dernier.

Enfin, pour l'activité estimation, le gestionnaire qui accorde plus d'importance aux critères qualitatifs optera pour le logiciel 9. Par contre, s'il juge que le critère quantitatif est_plus important, il optera pour le logiciel 10.

5.3 COMPARAISON DES MODELES

Afin de comparer la performance des deux modèles numériques, nous devons rassembler les résultats contenus dans les figures 5.1 à 5.3. Le tableau 5.4 identifie les logiciels retenus en fonction 'de la variable I.

Tableau 5.4 Logiciels retenus en fonction de la variable I

VALEUR DE I	LOGICIELS RETENUS	SCR (\$)
.26 ≥ I	1, 5, 9	5742
.26 < I ≤ .59	1, 7, 9	5520
I > .59	1, 7, 10	4500

Ces résultats permettent de constater que si le gestionnaire n'a aucune contrainte quant au coût (valeurs de l'voisines de 0), il arrêtera son choix sur les logiciels 1, 5 et 9 pour informatiser son entreprisé de construction, à un coût total de 5742\$. Inversement, dans la situation où les contraintes budgétaires seraient très rigoureuses, le meilleur choix de logiciels sera 1, 7 et 10, pour un investissement minimum de 4500\$.

Le tableau 5.5 résume les sélections finales effectuées en utilisant les deux modèles numériques (voir tableaux 5.4 et 4.4).

Tableau 5.5 Logiciels retenus par les deux modèles numériques

MODELE PROPOSE (CAS DE BASE MODIFIE)	MODELE MULTIDI- MENSIONNEL	SCR [#]
1, 7, 10	1, 7, 10	4500
1, 5, 10	NON RETENU	4722
1, 5, 8	NON RETENU	5022
1, 7, 9	1, 7, 9	5520
1, 5; 9	1, 5, 9	5742

On observe au tableau 5.5 que les choix proposés par les deux modèles numériques ne sont identiques que pour des SCR de 4500\$, 5520\$ et 5742\$. Contrairement au modèle numérique proposé, on remarque que le modèle multidimensionnel n'identifie pas de nouvelles combinaisons pour des SCR se situant entre 4500\$ et 5520\$.

Pour quelques valeurs de la SCR, multidimensionnel produit des résultats identiques au modèle numérique proposé précédemment. Comme nous mentionné à la section 2.4.4, le modèle multidimensionnel ne permet de connaître le DEC qu'à la fin du processus de sélection seulement, rendant impossible la sélection de logiciels pour un budget d'investissement imposé a priori. L'usage du modèle multidimensionnel nous a permis également constater deux autres lacunes qui nous semblent? importantes. La première concerne l'interprétation à donner à la valeur de la variable I. Le modèle multidimensionnel ne précise pas la signification à accorder à cette valeur: la seule interprétation possible est celle qui a été mentionnée à la fin de la section 5.1. Enfin les résultats obtenus à la section 5.3.1 nous permettent de discerner une seconde lacune. En effet, le modèle multidimensionnel formule une équation linéaire en introduisant un facteur I, qui détermine l'importance des critères quantitatifs, et un facteur (1-I) pour les critères qualitatifs. Or ce dernier facteur affecte dans le cas présent, les cinq critères 'qualitatifs, ce qui signifie que chacun d'eux ne reçoit qu'un cinquième de la valeur du facteur; en comparaison, la valeur totale du facteur I est assignée au seul critère quantitatif. Il s'agit donc d'une méthode de selection qui penche fortement du côté quantitatif. En dépit de sa

simplicité d'usage, nous lui préférons donc la méthode élaborée aux chapitres précédents.

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS POUR RECHERCHE FUTURE

6.1 CONCLUSIONS

La majorité des entreprises de construction, au Canada et au Québec, sont de petite taille et ont démontré jusqu'à maintenant une certaine réticence à procéder à l'informatisation de leurs activités de gestion. Une des causes majeures, responsables de cette situation, tient à la difficulté d'évaluer les logiciels disponibles sur le marché afin de sélectionner ceux qui répondent le mieux aux besoins spécifiques de chaque entreprise. Ce travail s'est fixé comme objectif de développer une approche systématique pour faciliter la sélection de logiciels, dans l'optique des petites entreprises de construction.

Une revue de la littérature nous a d'abord permis d'établir lès grandes étapes à suivre dans le processus de l'informatisation d'une entreprise. Suivant ce processus, nous avons conclu que les activités de traitement de texte, de planification et d'estimation sont généralement les

premières à être informatisées. En considérant les meilleurs logiciels disponibles sur le marché pour microordinateur nous avons retenu, pour les fins de notre étude, trois logiciels pour le traitement de texte ainsi que pour l'estimation et quatre logiciels pour la planification.

La littérature identifie clairement trois grandes catégories de critères d'évaluation, soit les critères critiques, quantitatifs et qualitatifs, que l'on utilise généralement lors de la sélection de logiciels. La première catégorie est implicitement considérée dans la présente étude du fait que la sélection primaire a uniquement retenu les logiciels compatibles. Nous n'avons considéré, dans la seconde catégorie, qu'un seul critère quantitatif soit le "coût initial". Finalement dans la catégorie des critères qualitatifs, nous en avons retenu cinq, soit les critères "utilisation". "documentation". "flexibilité". "apprentissage" et "vendeur". Lors d'entrevues spécifiques, confirmé, auprès de quatre entreprises québécoises familières avec l'approche informatiqué, la pertinence des criteres retenus. L'évaluation des logiciels effectues 1'aide d'une fiche d'évaluation, specialement conque a cet effet, qui permet de transformer l'évaluation subjective accordée aux critères qualitatifs en cotes d'évaluation. Enfin, l'examen détaillé de six modèles numériques différents, utilisés en recherche opérationnelle, nous a permis d'identifier et de retenir la programmation

linéaire des objectifs, comme étant le modèle le plus apte à résoudre le problème de la sélection de l'ogiciels.

Ce modèle numérique permet de considérer le critère quantitatif et les critères qualitatifs précédents comme autant d'objectifs à atteindre. La programmation linéaire des objectifs utilise dans sa formulation mathématique des variables décisionnelles et des variables d'écart. Les premières représentent les logiciels à considérer alors que les secondes sont associées aux objectifs à atteindre et composent une fonction économique à minimiser. Il est aussi possible d'introduire » dans la fonction économique des facteurs de priorité, de manière à privilégier sélectivement certains objectifs.

Une des difficultés majeures rencontrées a été d'établir le côté droit de l'équation, pour les critères qualitatifs. Dans le cas de programmation linéaire des objectifs, ce côté droit représente le but à atteindre par chacun des objectifs. Capitalisant sur cette caractéristique, nous avons déterminé un seuil minimum de satisfaction à atteindre afin d'assurer que la sommation des cotes d'évaluation reçues, par chacun des logiciels retenus, ne soit pas inférieure à ce seuil. Pour le critère quantitatif, le côté droit fût établi en fonction d'un certain budget d'acquisition. Afin d'obtenir un logiciel par activité, nous avons imposé au modèle numérique des

contraintes rigides. Finalement, nous avons établi le cas de base qui Vrépond aux quatres propriétés énoncées à la section 2.4 soit:

- manipuler les critères quantitatifs et qualitatifs sans discrimination;
- permettre à l'évaluateur de pondérer son jugement;
- permettre une analyse paramétrique afin de vérifier la qualité du choix final;
- choisir un ét un seul logiciel pour chaque activité en même temps qu'un groupe de trois logiciels pour un montant global spécifique.

Dans un premier temps, nous avons obtenu, à l'aide de base, des rėsultats qui furent jugés / Toutefois, nous avons formulé certaines satisfaisants. réserves, ce qui nous a forgé à reconsidérer la formulation Nous avons donc modifié la fonction du modèle numérique. économique et les résultats obtenus avec cette modification démontrent que le modèle numérique ainsi modifié fournit des 🕏 solutions adéquates et fiables, même lorsque l'on fait intervenir un facteur de priorité que l'on attribue à certains critères. Malgré ces bons résultats obtenus, nous n'avons pu améliorer davantage le modèle numérique à cause d'un problème de compatibilité des unités dans la fonction économique. L'analyse de ces résultats permet-de constater que le modèle numérique modifié répond bien aux quatre propriétés énoncées précédemment.

Finalement l'application du modèle multidimensionnel à notre problème, nous a permis d'obtenir trois solutions identiques à celle produites précédemment. Toutefois, l'identification de quelques faiblesses, à savoir la difficulté d'interprétation à donner à la valeur de la variable I, l'importance inégale l'accordée aux critères quantitatif et qualitatifs ainsi que l'impossibilité de sélectionner un groupe de logiciels pour un budget d'acquisition pré-determiné, nous amene à préférer le modèle proposé au modèle multidimensionnel.

L'utilisation du présent modèle numérique permettra au gestionnaire d'une petite entreprise de construction, qui n'est pas un expert dans le domaine de l'informatique, d'effectuer le meilleur choix de logiciels possibles tout en respectant son budget d'investissement, pourvu que les évaluations de logiciels soient disponibles.

Pour arriver à des résultats satisfaisants il nous a fallu modifier le cas de base. Cette modification, c'est-àdire l'inclusion des écarts positifs dans la fonction économique, a bien fonctionné étant donné que nous n'y avons pas inclus l'écart négatif X::. Afin de rendre cette inclusion possible nous suggérons, dans un premier temps, de normaliser les diverses unités utilisées pour l'évaluation des logiciels. Cette transformation permettrait de mesurer tous les avantages positifs, pour une sélection de logiciels donnée. Dans un second temps, et de façon plus, générale, suggérons l'élaboration d'un logiciel capable d'utiliser les priorités de préemption de la programmation linéaire des objectifs en nombre entier c'est-à-dire ·l'établissement d'un ordre prioritaire parmi les critères de sélection. Il est à noter que cet ordre prioritaire n'a rien à voir avec les priorités accordées à chaque critère dans la présente étude. Cette approche permettrait de s'assurer que la solution retenue satisfasse cet ordre de priorité, ce que ne fait pas le présent modèle.

Finalement, nous suggérons qu'un organisme puisse évaluer de façon systèmatique les logiciels de gestion existant sur le marché afin de constituer une banque de données qui comblerait un besoin pour les entreprises de construction qui veulent s'informatiser. En effet on

retrouve sur le marché certaines évaluations non standardisées, ce qui a pour effet de complexifier le processus de sélection.

BILBIOGRAPHIE

- Suckarieh, G.,
 "Construction management control with microcomputers,"
 Journal of Construction Engineering and Management,
 ASCE, Vol. 110, No 1, Mar., 1984, pp. 72-78.
- Dauphin, G., et Larocque, A.,
 "L'informatique au-delà de la mode,"
 Revue Chantier, Vol. 2, no. 7, Sept., 1985, pp. 11-15.
- 3. Gilbert, P., Dubois, Y.M., et Gervais, P.V.,
 "Système intégré de gestion de projets de construction,"

 Rapport de recherche soumis à la Présidence de L'Université du Québec, Avril, 1984.
- 4. Kouskoulas, V., et Grazioli, M.Jr.,
 "An integrated management system for construction
 •projects,"

 Journal of the Construction, ASCE, Vol. 103, No. C01,
 Paper 12802, Mar., 1977, pp. 433-444.
- 5. Task Committee on Application of Small Computers in Construction of the Construction Division, "Application of small computers in construction," Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 111, No 3, Sept., 1985, pp. 173-189.
- 6. Raymond, L.,
 "Informatique et PME: Problèmes d'implantation,"
 COFIQ Magazine, Sept., 1986, pp. 12-13.
- 7. / Kole, M.A.,

 "A non-development MIS strategy for small organisations,"

 Systems Objectives Solutions, Vol. 3, No. 1, 1983, pp. 31-39.

- 8. Raymond, L.,
 "Une étude empirique des facteurs de succès d'un système d'information en contexte de PME,"
 Thèse de doctorat présentée à L'Ecole des Hautes Etudes Commerciales, 1984.
- 9. Steiner, J.A., "Purchasing computer system for the small t) construction company, " Construction CEF/OSU Education Foundation. 1983. Corvallis, Oregon.
- 10. Welsh, J.A., et White, J.F.,
 "A small business is not a little big business,"
 Havard Business Review, Vol. 59, No 4, July-Aug., 1981,
 pp. 18-32.
- 11. Edmunson, R.H., et Jeffery, D.R.,

 "The impact of requirements analysis upon user satisfaction with packaged software,"

 "Information & Management, Vol. 7, No. 2, April, 1984, pp. 83-90.
- 12. Institut de Recherche en Construction,
 "L'industrie de la construction: les enjeux/ Un
 aperçu,"
 ¿Conseil National de Recherche du Canada, 1986, Can.
- 13. Office de la Construction du Québec.

 "Analyse de l'industrie de la construction au Québec 1985,"

 Publications du Québec, 1986, Qué., Can.
- 14. Rapport du Ministère Délégué au PME,
 "Les PME au-Quebec/ Etat de la situation,"
 Ministère de l'Industrie et du Commerce, 4° trimestre,
 1980, Qué, Can.
- 15. Isshiki, K.R., "Small business computers: a guide to evaluate and Selection," Prentice Hall, Inc., 4982, Englewood Cliffs, N.J.

- 16. Enockson, P.G., "Pour choisir un ordinateur personnel et ses logiciels," traduit par Revellin, G., Hachette Informatique, 1984, Paris, France.
- 17. Hilliard, L.B.,
 "Buying a computer for your growing business: an inside guide,"

 Dow Jones-Irwin, 1984, New York, N.Y.
- 18. Raymond, L.,
 "Problématique des systèmes d'information en contexte de PME,"
 Université du Québec à Trois Rivières, Laboratoire en Economie et Gestion des Systèmes de Petites Dimensions, Présenté au Congrès 1982 de l'ASAC, Université d'Ottawa.
- 19. Herbsman, Z.,
 "Project management training using microcomputers,"

 Journal of Management in Engineering, ASCE, Vol. 2,
 No. 3, July, 1986, pp. 165-176.
- 20. Brandon, P.S.,
 "Models, mortality and the ghost in the machine,"
 Editorial overview in "Building cost modeling and computers,"
 Edited by P.S. Brandon, E.& F.N. SPON, 1987, London.
- 21. Cooper, G.R.,
 "A guide to the evaluation of industrial products for development,"
 Industrial Innovation Centre, 1982, Qué., Can.
- 22. Cortes-Comerer, N., "Word processing, tips on how to choose a system," Civil Engineering/ASCE, 1983, pp. 50-55.
- 23. Moulton, P., et Colfin, R.,
 "Personnal computers, answering user needs,"
 AMA management briefing, 1983, New York, N.Y.

- 24. Sellers, J.M.S.,

 "Review of the market and its development,"

 ip "computer technology in construction,"

 Thomas Telford, Ltd, 1984, London.
- 25. Bell, L.C., et McCullouch, B.G.,
 "Micro computer spreadsheet applications,"

 Journal of Construction Engineering and Management,
 ASCE, Vol. 109, No. 2, June, 1983, pp. 214-223.
- 26. Schell, G.P.,
 "Establishing, the value of information systems,"
 Interfaces, Vol. 16, No. 3, May-June, 1986, pp. 82-89.
- 27. Baldwin, A.M., et McCaffer, R.,
 "The implementation of computer-aided estimating systems in construction companies,"

 Proceeding of Institute in Civil Engineering, Part 1, paper 8680, Feb., 1984, pp. 237-248.
- 28. Dekker, G.J., et Van Den Bosch, F.J.,
 "Functional requirements for the development and use of
 a software-cost database,"
 Information Management, Vol. 6, No. 4, Aug., 1983,
 pp. 225-234.
- 29. Zeleny, M.,

 "Compromise programming,"

 in "Multiple criteria decision making,"

 Edited by Cochrane, J.L., et Zeleny, M.,

 University of South Carolina Press, 1973, Columbia,

 S.C.
- 30. Wholeben, E.B.,
 "Multiple alternative for educationnal evaluation and decision-making,"
 Research on Evaluation Program, Northwest Regional Educationnal Laboratory, No. 72, 1982, Portland, Oregon,
- 31. Easton, A.,
 "One of a kind decisions involving weighted multiple objectives and disparate alternatives,"
 in "Multiple criteria decision making,"
 Edited by Cochrane, J.L., et Zeleny, M.,
 University of South Carolina Press, 1973, Columbia, S.C.

- 32. Dologite, D.G.,
 "Evaluating packaged software-avoiding the landmines,"
 Data Management, Jan.; 1982, pp. 21-25 et 49.
- 33. Sanders, L.G., Ghandforoush, P., et Austin M.L.,
 "A model for the evaluation of computer software packages,"

 Computers & Industrial Engineering, Vol. 7, No. 4, 1983, pp. 309-315.
- 34. Canning, R.G., et Leeper, N.C., "So you are thinking about a small business computer," Prentice Hall, Inc., 1982, Englewood Cliffs, N.J.
- 35. True, L.,
 "Contactor's computer system evaluator,"
 Construction Industry Press, 1984, Sylver Spring, MD.
- 36. Raymond, L.,
 "The measurement of MIS user satisfaction in a small systems context,"
 Proceeding of the 19th Annual Hawaii International
 Conference on System Sciences, Jan., 1986, Honolulu, Hawaii.
- 37. Miresco, E:T.,

 "Project/I-80: manuel de référence,"

 Micro Research Systems Corporation, Inc., 1986, Qué,.

 Can.
- 38. Paynter, E.F.,
 "Computer aided construction take-off and estimating system: construction systems user manual,"
 E.F. Paynter & Associates, Inc., 1984, Indianapolis, Ind.
- 39. Ackoff, R.C.,
 "Scientific method/ optimizing applied research decisions,"

 John Wiley & Sons, Inc., 1962, New York, N.Y.
- 40. Keeny, R.L., et Raiffa, H.,
 "Decisions with Multiple Objectives: Preferences and
 Value Tradeoffs,"
 John Wiley & Sons, Inc., 1976, New York, N.Y.

- 41. Sussmann, B., Buffet, P., GREMY, J.P., et MARC, M.,
 "Peut-on choisir en tenant compte de critères
 multiples?: Une méthode (ELECTRE) et trois
 applications,"
 Métra, Vol. 6, 1967, pp. 283-316.
- 42. *Jacoby, L.S., et Kowalik, J.S.,

 "Mathematical modeling with computers,"

 Prentice Hall, Inc., 1980, Englewood Cliffs, N.J.
- 43. Augood, D.R.,
 "A review of R&D evaluation methods," . -IEEE Transaction on Engineering tanagement, Vol. EM-20,
 No. 4., 1973, pp. 114-120.
- 44. Souder, W.E.,
 "A system for using R&D project evaluation methods,"
 Research Management, Vol. 21, No. 5, Sept., 1978,
 pp. 29-37.
- 45. Dean, B.V., et Nishry, M.J.,

 "Scoring and profitability models for evaluating and selecting engineering projects,"

 Opération Research, Vol. 13, No. 4, July-Aug., 1965, pp. 550-569.
- 46. Khorramshahgol, R., et Gousty, Y.,
 "Delphic goal programming(DGP): A multi-objective
 cost/benefit approach to R&D portfolio analysis,
 IEEE Transaction on Engineering Management, Vol. EM-33,
 No. 3, Aug., 1986, pp. 172-175.
- 47. Baker, N., et Freeland, J.,
 "Recent advances in R&D benefit measurement and project selection methods,"
 Management Science, Vol. 21, No. 10, June, 1975, pp. 4164-1175.
- 48. Cooper, R.G.,

 "An empirically derived new product project selection model,"

 IEEE Transaction on Engineering Management, Vol. EM-28, No. 3, Aug., 1981, pp. 54-61.

- 49. Bradbury, F.R., Gallagher, W.M., et Suckling, C.W., "Qualitative aspects of the evaluation and control of Research and developpement projects,"
 R&D Management, Vol. 3, No.2, April, 1973, pp. 49-57.
- 50. Dean, B.V.,

 "Evaluating, selecting and controlling R&D projects"

 %AMA, Research Study 89, 1968, New York, N.Y.
- 51. Easton, A.,
 "A forward step in performance evaluation"

 Journal of Marketing, Vol. 30, No. 3, July, 1966,
 pp. 26-32.
- 52. Canada, J.R., Frazelle, E.H., Koger, R.K., et MacCormac, E.,

 "How to make a career choice: The use of the analytic hierarchy process,"

 Industrial Management, Vol. 27, No. 5, Sept.-Oct., 1985, pp. 16-22.
- 53. Brown, P.A., et Gibson, D.F.,

 "A quantified model for facility site selectionapplication to a multiplant location problem,"

 AIIE Transactions, Vol. 4, No. 1, Mar., 1972, pp. 1-10.
- 54. Aguilar, R.J.,
 "Systems analysis and design in engineering, architecture, construction and planning,"
 Prentice Hall, Inc., 1973, Englewood Cliffs, N.J.
- 55. Bradley, S.P., HAX, A.C., et Magnanti, T.L.,
 "Applied mathematical programming,"
 Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1977, Reading,
 Mass.
- 56. Ignizio, J.P.,
 "Linear programming in single- & multiple- objective systems,"
 Prentice Hall, Inc., 1982, Englewoods Cliffs N.J.
- 57. Lee, S.M.,
 "Goal programming for decision analysis,"
 Auerbach Publishers, Inc., 1972, Philadelphia.

- 58. Schniederjans, M.J., "Linear goal programming," Pétrocelli Books, 1984, Princeton, N.J.
- 59. Charnes, A., et Cooper, W.W.,
 "Management models and industrial applications of linear programming,"

 John Wiley & Sons, Inc., Vol. 1, 1961, New York, N.Y.
- 60. Ijiri, Y., "
 "Management goals and accounting for control,"
 Rand McNally & Cie, 1965, Chicago.
- 61. Asher, D.T., "A linear programming model for the allocation of R&D efforts," IRE Transactions on Engineering Management, Vol. 9, Dec., 1962, pp 154-157.
- 62. Gear, A.E., Lockett, A.G., et Pearson, A.W.,
 "Analysis of some portfolio selection models for R&D,"
 IEEE Transaction on Engineering Management, Vol. EM-18,
 No. 2, May, 1971, pp. 66-77.
- Micropic A multiple-alternatives, criterion-referenced decisioning model for evaluating CAI software and microcomputer against selected curriculum instructional objectives,"

 Research on Evaluation Program, Northwest Regional Educational Laboratory, No. 73, 1982, Portland, Oregon.
- 64. Collins, D.C.,

 "Applications of multiple criteria evaluation to decision aiding,"

 in "Multiple criteria decision making,"

 Edited by Cochrane, J.L., et Zeleny, M.,

 University of South Carolina Press, 1973, Columbia, S.C.
- 65. Osteryoung, J.S.,
 "Multiple goals in the capital budgeting decision,"
 in "Multiple criteria decision making,"
 Edited by Cochrane, J.L., et Zeleny, M.,
 University of South Carolina Press, 1973, Columbia,
 S.C.

- "Solution selection techniques for decision making in complex systems,"
 in "Multiple criteria decision making,"
 Edited by Cochrane, J.L., et Zeleny, M.,
 University of South Carolina Press, 1973, Columbia, S.C.
 - 67. Dyer, J.S.,
 "Interactive goal programming,"

 Management Science, Vol. 19, No. 1, Sept., 1972,
 pp. 62-70.
- 68. Courtney, J.F.JR., Klastorin, T.D., et Ruefli, T.W.,
 "A goal programing approach to urbain-suburban location
 preferences,"

 Management Science, Vol. 18, No. 6, Feb., 1972,
 pp. B258-B268.
- 69. Roy, B.,
 "Décisions avec critères multiples problèmes et méthodes,"
 Metra, Vol. 9, No. 1, 1972, pp. 121-151.
- 70. Steuer, E.R.,
 "Multiple criteria optimization: theory, computation, and application,"

 John Wiley & Sons, Inc., 1986, New York, N.Y.
- 71. ST-Pierre, A.,
 "Méthodes analytiques appliques aux problèmes de gestion,"
 Edition BO-PRE, 1986, St. Jean sur le Richelieu, Qué, Can.
- 72. Lee, S.M., et Clayton, E.R.,
 "A goal programming model for academic-resource allocation,"
 Management Science, Vol. 18, No. 8, April, 1972,
 pp. B395-B408.
- 73. Easton, A.,
 "Complex managerial decisions involving multiple objectives,"
 John Wiley & Sons, Inc., 1973, New York, N.Y.

- 74. Coombs, C.H.,
 "A theory of data,"

 John Wiley & Sons, Inc., 1964, New York, N.Y.
- _75. Eckenrode, R.T.,
 "Weighting multiple criteria,"

 Management Science, Vol. 12, No. 3, Nov., 1965,
 pp. 180-192.
- 76. Terry, H.,
 "Comparative evaluation of performance using multiple criteria,"
 Management Science, Vol. 9, No. 3, 1963, pp. 431-442.
- 77. Wholben, E.B.,

 "Validating multivariate decision modeling for educational planning,"

 Eric Document, No. ED 254921, Presented to the 1984 Annual Conference of the International Society for Educationnal Planning at New Orleans, Louisiana.
- 78. Schrage, L.E.,
 "Linear programming models with LINDO"
 Sqientific Press, 1984, Palo Alto, C.A.
- 79. Ignizio, J.P.,
 "A review of goal programming: A tool for multiobjective analysis,"

 Journal Operationnal Research Society, Vol. 29, No. 11, pp. 1109-1119.
- 80. Raymond, L., et Magnenat-Thalmann, N.,
 "Information systems in small business: are they used
 in managerial "decisions?,"
 American Journal of Small Business, Vol. 10, No. 4,
 April-June, 1982, pp. 20, 26.
- 81. Baillargeon, G.,
 "Programmation linéaire,"
 Edition SMG, 1976, Trois Rivières, Qué., Can.

133

ANNEXES 1 A 59

ANNEXE 1

LISTE DES LOGICIELS PRESELECTIONNES

LISTE DES LOGICIELS PRESELECTIONNES

LOGICIELS	PRIX	FABRICANT DE LOGICIEL	VERSION	ANNEE
	v	V		1
TRAITEMENT DE TEXTE				, -, -
WORD PERFECT	360\$	Satellite Software International Inc	V:4.10	1985
WORD STAR	552\$	Micro International Corporation	V:2.26	1981
EDITEXTE	410\$	Tanda Software Inc.	V:4.10	1985
PLANIFICATION		•		
PROJECT 1	1104\$	Miresco Inc.	V:3.00	1986 `
HAVARD	552 \$,	Software Publishing Corporation	V:1.10	1985
SUPER PROJECT PLUS	897 \$ \	Computer Associates '	V:2. 00	1986
TIME LINE III	330\$	Breakthrough Software	V :2.00	1984
ESTIMATION				
QUICK EST	41409 .	Constructive Computing	V: 2. 00	1986
TECKSONIC	4830 s•	Techsonic Corporation International	V:2.40	1985
WALKER PRATICALC	3810\$	Walker's Praticalc Computer Software		1984

Le prix total est de 11,000\$ US, incluant une table digitale d'une valeur approximative de 7,500\$ US.

NOTE GENERALE:

Tous les prix ci-haut sont en dollars canadiens:

ANNEXE 2 A 5

RESUME DES ENTREVUES AUPRES DE 4 ENTREPRISES QUEBECOISES

François Lamy

COMPAGNIE:

'Construction Deka L'tée.

CRITERES QUANTITATIFS

coût initial

.coûts des opérations futures

coûts reliés à l'apprentissage COMMENTAIRES

doit être pris en considération

difficiles à évaluer

difficiles à quantifier

CRITERES QUALITATIFS

documentation

utilisation

flexibilité :

vendeur

à considérer

important *

communication avec d'autres logiciels surtout

très important

COMMENTAIRES GENERAUX:

Le critère vendeur, et en particulier le service après vente est extrêmement important, surtout si l'on fait de l'estimation. Un bon service après vente évitera possiblement des retards potentiels lors de la fermeture d'une soumission.

L'on doit informatiser le département "secrétariat" d'une entreprise, ce qui permet de sauver du temps surtout pour les opérations routinières.

Compte tenu de l'évolution des entreprises, on doit s'assurer que 'le logiciel envisagé répond bien à nos besoins.

Edmond Miresco

COMPAGNIE:

Miresco Inc.

CRITERES QUANTITATIFS

COMMENTAIRES

coût initial

doit inclure dans ce coût le service après vente

coûts des opérations futures

impossible à quantifier

coûts reliés à

dépendent des individus

l'apprentissage

CRITERES QUALITATIFS

documentation

. utilisation '

flexibilité

vendeur

important pour s'y retrouver

doit être "user friendly"

difficile à obtenir à 100%

important

COMMENTAIRES GENERAUX:

- Du point de vue développement, il faut constamment améliorer le produit, surtout en ce qui concerne la rapidité d'exécution.

- La production d'une documentation de base de qualité permet à l'utilisateur futur de bien utiliser le logiciel.

Le développement d'un logiciel doit être bilingue, surtout ici au Québec.

Jean Paradis

COMPAGNIE:

Gestion Frandi Inc.

CRITERES QUANTITATIFS

t

COMMENTAIRES

coût initial

ne se justifie pas

coûts des opérations

dépenses plus ou moins si l'on considére que cet outil

futures

remplace certaines opérations

de l'entreprise

coûts reliés à l'apprentissage

monétairement impossible à évaluer

GRITERES QUALITATIFS

documentation

a important

utilisation

doit éviter la routine

flexibilité

important

vendeur

surtout le service après vente :

COMMENTAIRES GENERAUX:

Le logiciel doit pouvoir s'adapter aux opérations de l'entreprise.

L'utilisation du logiciel doit permetatre de passer facilement d'une opération à une autre sans que l'on ait à passèr par un menu long et pénible.

compatibilité : avec' d'autres logiciels importante, surtout avec le traitement de texte utilisé par l'entreprise.

L'on devrait ajouter un autre critère ici au Québec, c'est-à-dire un logiciel en français.

Albert Poirier

COMPAGNIE:

Les constructions Cavel Inc.

CRITERES QUANTITATIFS

COMMENTAIRES.

coût initial

secondaire

coûts des opérations

très secondaires

futures

couts relies à

impossible à évaluer

l'apprentissage

CRITERES QUALITATIFS

documentation

à considérer

utilisation

à considérer

flexibilité

· très important

vendeur

important

COMMENTAIRES GENERAUX:

- Il est primordial de vérifier que le logiciel répond bien à nos besoins de base.
- L'estimation pour un entrepreneur général ne peut se faire sans qu'il y ait une inter-relation avec d'autres logiciels. Les coûts d'acquisition sont impossibles à justifier et encore moins les coûts des opérations futures. Par contre cet investissement peut se rembourser lors d'une seule réclamation, par exemple.
- La comptabilité est la première activité à être informatisée dans l'entreprise, viennent ensuite l'estimation et la planification.

ANNEXE 6

GRILLE DE PREFERENCE

GRILLE DE PREFERENCE

comba	raisons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
cri	tères			7	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •				Ė		•					63	ΣC,
	CĆI	1	0	0	0	1.	·										2
-6 E	CDÔ	0					0	0	0 ·	1			,				1
	CUT		1				1				1	1	1				5
	CFL			1				1			0		•	1 ,	1		4
	CAP				1				1			0		0	-8	0	2
	CVE					0		,		0			0		0	1	1

οù

```
résultats possibles de comparaison (voir section 3.2.1.2)
1 et 0
ΣC,
        priotité accordée à chacun des critères
        critère quantitatif "coût initial"
CCI
        critère qualitatif "documentation"
CDO
        critère qualitatif "utilisation"
CUT
CFL
        critère qualitatif "fléxibilité"
CAP
        critère qualitatif "apprentissage"
CVE
        critère qualitatif "vendeur"
```

ANNEXES 7 A 16 EVALUATIONS DES LOGICIELS RETENUS

NOM'DU LOGICIEL:	Word Perfect	
CRITERES QUALITAT	IFS ,	
documentation	pauvre	_ X excellente
utilisation	difficile	X facile
flexibilité	aucune	grande .
apprentissage -	- ardue	facile
vendeur ,	médiocreX	° excellent
Les positions d suivante:	e l'échelle sont défi	nies de la faço
critère	adjectif A _ 2 3	adjectif/B
Les valeurs 1 à 5	représentant	· .
1 très A 2 éssez A	4 assez B , 5 très B	•
3 autant % que	B	,

NOM DU LOGICIEL:	Word Star	,	,
CRITERES QUALITAT	rifs		
documentation	pauvre	<u>x</u>	excellente
utilisation	difficile	<u> </u>	facile
flexibilité	aucune <u>-</u>	· <u>X</u> • _ ·	grande
apprentissage	ardue	<u>x</u>	facile
vendeur	médiocre	<u>x</u>	excellent
		· ,	,
	íe l'échelle sont	définies	de la façor
adivante:	•	•	· ,
critère	adjectif(A	-	adjectif B 5
*.	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	2 3 4	
Les valeurs 1 à 5	o représentant		,
1 très A	4 assez	. B	
2 assez A	5 très	В	
3 autent A que	B	•	4 40

NOM DU LOGICIEL:	Editexte	<u>'</u>
,		
CRITERES QUALITAT	IFS	
documentation	,pauvre [%]	X excellente
utilisation	difficile X	facile
flexibilité	aucune	grande
apprentissage	ardueX	facile
vendeur	médiocre	X excellent
•	,	
Les positions d suivante:	e l'échelle sont d	définies de la façor
critère	adjectif A	adjectif B
Les valeurs 1 à 5	représentant .	<i>(</i>
1 très A	4 assez B	
2 assez A	5 très B	<u>*</u>
3 autant A que	В	•

			•	
NOM DU LOGICIEL:	Project 1	<u></u>		
	.			(
CRITERES QUALITAT	rifs	•		-
	, ·			,
documentation (pauvre	-	<u>x</u> -	excellente
\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	difficile	<u>x</u>		facile
flexibilité	aucune		<u> </u>	grande
apprentissage	ardue	<u>x</u>		facile
vendeur	médiocre	<u> </u>	<u> </u>	_ excellent
Les positions d suivante:	e l'échell	e sont	définies	de la façon
critère	adjectif A	· 1 2	3 4 t	adjectif B
	•		•	

Les valeurs 1 à 5 représentant

1 très A 4 assez B

2 assez A 5 très B

3 autant A que B

NOM DU LOGICIEL:	Havard	-
	•	
CRITERES QUALITAT	IFS	•
documentation	pauvre <u>X</u>	excellente
utilisation ' >	difficile	X facile
flexibilité	aucune <u> </u>	grande
apprentissage	ardue X	_ facile
vendeùr	médiocre <u>X</u>	excellent
q	•	•
Les positions d suivante:	e l'échelle sont définies	de la façon
critère	adjectif A $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{3}$ $\frac{4}{4}$	adjectif B
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		, , ,
Les valeurs 1 à 5	représentant	- • ,
1 très A	4 assez B	,
2 assez A	5 très B	>
3 autant A que	В	

NOM DU LOGICIEL:	Super Project Plus	
CRITERES QUALITAT	TES	
ONTIDADO CONDITA	, -	
documentation	pauvre <u>X</u> _ excellent	te
utilisation	difficile X facile	
,flexibilité	aucune X grande	
apprentissage	ardue X facile	
vendeur,	médiocre X excellent	•
Les positions d suivante:	e l'échelle sont définies de la faç	on
- '	<u>-</u>	
critère .	adjectif A $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$ $\frac{1}{5}$ adjectif	B
•		٠
		•
Les valeurs 1 à 5	représentant	
1 très 🏕	4 assez B	
o ' *	F 4 - 1 - 5	

NOM DU LOGICIÉL: Time Line III

CRITERES QUALITATIFS

documentation pauvre ________ __ excellente

utilisation difficile ________ ___ ___ facile

flexibilité aucune ________ ___ ___ grande

apprentissage ardue ________ ___ ___ facile

vendeur médiocre _______ ___ ___ excellent.

Les positions de l'échelle sont définies de la façon suivante:

critère adjectif A _ _ _ adjectif B

Les valeurs 1 à 5 représentant

1 très A 4 assez B

2 assez A 5 très B

3 autant A que B

NOM DU LOGICIEL: Quick E.S.T.

GRITERES QUALITATIFS

documentation %	pauvre	<u>x</u>			. —	<u>**</u>	excellente
utilisation	difficile			X .	<u> </u>		facile .
flexibilité	aucune			·	<u>X*</u>		grande
apprentissage	ardue		<u>x</u>				facile,
vendeur	médiogre		_k	0	<u>X</u> ·	`	excellent

Les positions de l'échelle sont définies de la façon suivante:

critère adjectif A $\frac{1}{2}$ $\frac{h}{3}$ adjectif B

Les valeurs 1 à 5 représentant

1 très A 4 assez B

2 assez A 5 três B

3 autant A que B

NOM DU LOGICIEL:	Tecksonic			·	3 Ø
		٥ ٪، ، ، ،			
CRITERES QUALITA	rifs	(,	• •	
documentátion	pauvre	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	<u>x</u>	excell	ènte
utilisation	'difficile	<u> </u>		facile	
flexibilité	auçune	, <u>x</u>	<u> </u>	grande	
apprentissage	ardue		<u>x</u>	facile	A
vendeur	médiocre		<u>x</u>	exceile	nt'
• • • •		•		5	
Les positions suivable:	de l'échelle	sont· déf	inies	de 'la `	Íacon
. ~		•	•		·
critère	adjectif A	<u> </u>	4	_ adject	if B
		· •	•	,	
Les valeurs 1 à	5 _a représent <u>a</u> n	t · · ·			
1 très A	4	assez B	**	•	

2 assez À .

3 autant A que B'

NOM DU LOGICIEL:	Walker	٠	46	•
,	·		•	
CRITERES QUALITA	TIFS			. ',
dodumentation	pauvre	q ,	<u>x</u> exc	ellente
utilisation	difficile	<u>x</u>	faci	.le
⁶ flexibilité	aucune X		.'` _ ' gran	ide
apprentissage	ardue _	<u> </u>	_ faci	le.
vendeur	médiocre	<u> </u>	exce	llent
Les positions suivante:	de l'échelle	sont défi	nies de l	a faço
critère	adjectif A	· 2 3	adj	ectif E
Les valeurs 1 à	; 5 représentant		,	
1 très A	• •	assez B	•	
2 assez A	5	très B	. \	· •
3 autant 4 qu	e B.	•	•	•

ANNEXE 17

SORTIE STANDARD DU LOGICIEL LINDO

ANNEXE 17

OBJECTIVE FUNCTION VACUE

```
Solution, retenue
                2.70000100
VFE →1)
                                     REDUCED LOST
   . VHRTABLE
                     VALUE
                      1.000000
         ູ ≾1
                                       -11.000000
                                                     .A ignorer.en
                       .000000
                                        -3.00000
           ۲2
                                                     programmation
           X3"
                       .000000
                                       -10.000000
                                                     linéaire des
                       .000000
                                        -9.000000
           X4
variables
                                                     objectifs
                                        10.000000
           ХS
                       .000000
"décision-
           χė
                                       -10.000000
                       .000000
                                        -8.00000
nelles
           X 7
                      1.000000
                       .000000
                                       -10.000000
           XB
           XЭ
                       .000000
                                       -11.000000
                                        -7.000000
          XIO
                      1.000000
                                         1. 000000
                       .000000
          X17
          X12
                       .000000
                                         1.000000
                                         1.000000
                       .000000
          X13
variables X14
                                          .000000
                      1.300000
d'écart
          X15
                       .100000
                                          .000000
                                          .000000
                      1.300000
          X16
                       .000000
                                          .000000
          X11
                                          .000000
          X18
                      1.200000
                       .800000
                                          .000000
          X19
                       .,000000
                                         1.000000
         %X20
          X21
                       .000000
                                         1.600000
                                         r. 000000
          X55
                       .000000
                SLACK OR SURFLUS
          ROW
                                      DUAL PRICES
                                          200000
           2)
                       .000000
                                          .000000
           3)
                       .000000
                                          .000000
           4)
                       .000000
    đ
           5)
                       .000000
                                        -1.000000
                                        -1:000000
           6)
                       .000000
                       . 000000
                                        -1.000000
           7)
                                          .000000
                       .000000
          48)
                                          .000000
          3)
                       .000000
                                          .000000
                       .000000
          10)
                                                     Formulation du modèle
    NO.
        ITERATIONS=
                                                     numérique
    BRANCHES=
                 O DETERM=
                            1.000E 0
                MIN
            X17
    SUBJECT TO
                360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
           2)
         + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                          4500
                5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9.
         + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                  10.8
                5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
          4)
          2 X10 + X13 - X19 =
                                  10.2
                4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
           5)
         + X10' + X14 - X20 =
                                 9.3
                4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                   9.1
         + 3 X10 + X15, - ,X21 =
                7)
          3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                   10.3
                x1_0 + x2 + x3 =
           8)
           9)
                X4 + X5 + X6 + X7
          10)
                X8 + X9 + X10 =
    END
    INTEGER-VARIABLES=
                             10
```

ANNEXES 18 ET 19

EXEMPLES DE BROBLEMES EN PROGRAMMATION LINEAIRE EN NOMBRE ENTIER

OBJECTIVE PUNCTION VALUE.

4.00000000

VARIABLE X1 X2 X3 X4 X5 X6	VALUE .000000 1.000000 .000000 .000000	REDUCED COST 8.00000 2.00000 4.00000 7.00000 5.00000
g	a	
ROW 2) 3) 4)	SLACK OR SURPLUS .000000 11.000000 .000000	DUAL PRICES .000000 .000000

NO. ITERATIONS= - BRANCHES# , 2 DETERM# 1.000E 0

- 8 X1 - 2 X2 ,- 4 X3 - 7 X4 - 5 X5 + 10 X6 SUBJECT TO 20 ± 3 X1 - 3 X2 + X3 + 2 X4 + 3 X5 <= -2 3) 42 5 -X1 - 3 X2 - 2 X3 - X4 + X5 <= - 4 X6 ≕.

INTEGER-VARIABLES=

$$z^* = \max z = -8x_1 - 2x_2 - 4x_3 - 7x_4 - 5x_5 + 10.$$

subject to:

END

$$-3x_1 - 3x_2 + x_3 + 2x_4 + 3x_5 \le -2,$$

$$-5x_1 - 3x_2 - 2x_3 - x_4 + x_5 \le -4,$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \cdot (j = 1, 2, ..., 5).$$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

108.000000 1)

'VALUE REDUCED COST VARIABLE X1 1.000000 -75.000000 ΧZ .000000 -6.000000 .000000 -3.000000 КX -33.000000, 1.000000

> ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES 2) 59.000000 .000000 .000000 755.000000 3)

MO. ITERATIONS= BRANCHES# 5 DETERM# 1.000E 0

- 75 X1 + 6 X2 + 3 X3 + 33 X4 SUBJECT TO

774 X1 + 76 X2 + 22 X3 + 42 X4 <= 875 2)

875 3)

INTEGER-VARIABLES

MAX 75 X1 + 6 X2 + 3 X3 + 33 X4SUBJECT TO

- 2) $774 \text{ X1} + 76 \text{ X2} + 22 \text{ X3} + 42 \text{ X4} \leq 875$
- 3) $67 \text{ X1} + 27 \text{ X2} + 794 \text{ X3} + 53 \text{ X4} \le 875$ X1. X2. X3, X4 restricted to 0. 1.

ANNEXES 20 A 59

RESULTATS DES ESSAIS
SORTIES DU LOGICIEL LINDO

& OBJECTIVE FUNCTION VALUE

INTEGER-VARIABLES=

```
502.700000
                  YALUE
                                  REDUCED, COST
VHRTABLE
                   1.000000
                                     347,000000
       ХĮ
       ΧZ
                    2000000
                                     543.000000
       хз
                    .000000
                                     400.000000
       X4
                    .000000
                                    1095,000000
                    .000000
                                     542.000000
                    .000000
                                     887.00000
       ХŁ
                   1.000000 ,
                                     382.000000
       X 7
                    .000000
       X8
                                   .4130.000000
                    .000000
                                    4819.000000
       XЭ
      X10
                   1.000000
                                    3803.000000
      X17
                 500.000000
                                        .000000
                    .000000
                                       1.000000
      X12
      X13
                    .000000
                                       1.000000
      X14
                   1.300000
                                        .000000
      X15,
                    .100000
                                        .000000
                   1.300000
                                       ...000000
      X16
                    .000000
      X11
                                       1:000000
                   1.200000
                                        .000000
      X18
                    .800000
      X19
                                       .000000
      X20 ·
                    .000000
                                       1.000000
                    .000000
      X21
                                       1.000000
                                       1.000000
      X22
                     .000000
                                    DUAL PRICES
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                    .000000
                                       1.000000
       2)
                                        .000000
       3)
                    .000000
                                        .000000
                     1000000
       4)
                                      -1.000000 4
                     .000000
       5)
                     .000000
                                      -1.000000
       6.)
       7)
                     .000000
                                      -1.000000
                     .000000
                                        .000000
       8)
                     .000000
       9)
                                       ..000000
                                        .000000
      10)
                     .000000
NO. ITERATIONS=
                        0
              O DETERM= -1.000E
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                        4000
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9 ·
       3)
     + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
      2.X10 + X13 - X19 = 5
4 X1 + 3 X2 + 3
                                10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 # 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     + X10 + X14 - X20 =
                              3.3
       6) , 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                9.1
      + 3 X10 + X15 - X21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
      - 7)
       3 X10 + X16 - X22 =
                               10.3
             X1 + X2 + X3 =
       8)
       9)
             X4 + X50 + X6 + X7 = 
             X8 + X9 + X10 =
      10)
END
```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
1)
               2.70000100 .
   VARIABLE
                     VALUE
                                      REDUCED COST
          X1
                      1.000000
                                        -11.000000
                                         -9.000000
          X2
                       .000000
                       .000000
                                        -10.000000
          X4
                       .000000
                                         -9.000000
          X5
                     . .000000-
                                        -10.000000
                       .000000
                                        -10.000000
          ХE
          X7
                      1.000000
                                         -8.000000~
                       .000000
                                        -10.000000
          Хß
         ХЭ
                       :000000
                                        -11.000000
        X10
                      1.000000
                                        -7.00000Q
        X17
                       .000000
                                          1.000000
                                          1.000000
        X12
                       .000000
        X13
                       .000000
                                          1.000000
                                           .000000
        ₩14
                      1.300000
                       .100000
                                           .000000
        X15
        X16
                      1.300000
                                           .000000
        X11
                       .000000
                                           .000000
        X18
                      1.200000
                                           .000000
        X19
                       .800000
                                          .000000
                       .000000
                                          1 -.000000
       , X20
                       .000000
        X21
                                          1.000000
        X25
                       .000000
                                          1.000000
        . }
        ROW
               SLACK OR SURPLUS
                                       DUAL PRICES
                       .000000
                                           .000000
         2)
                       .000060
         3)
                                           .000000
                       .000000
                                           .000000
                       .000000.,
         5)
                                        №1.000000
                       .000000
                                         -1,000000
         7)
                       .000000
                                         -1.000006
         8)
                       .000000
                                           .000000
         9)
                       .000000
                                           .000000
        10)
                       .000000
                                           .000000
NO. ITERATIONS -
 BRANCHES=
                0 DETERM= 1.000E
          X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
 MIN
 SUBJECT TO
         2)
               360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + \times 11 =
                                                            4500
               5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9.
         4 X10 + X12 - X18 -=
                                 . 1018
         4) ^{\circ} 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 +<sub>\infty</sub>3 X9
         2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                  10.2
         5)
               4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4/X8 + 3 X9
     . + X10 + X14 - X20 =
                                 9.3
               4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X/8 + 4 X9
         3 \times 10 + \times 15 - \times 21 = 9.1
               3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
                                  10.3
       + 3 X10 + X16 - X22 =
              X1 + X2 + X3 =
                                  1 ..
              X4 + X5 + X6 + X7 =
               X8 + X9 + X10 =
 END
 INTEGER-VARIABLES=
```

10

DEJECTIVE FUNCTION VANUE

```
1)
             2.0000000
. VARIABLE
                  VALUE
                                   REDUCED LOST
       X 1
                   1.000000
                                      -7.000000
                    .000000
                                      -6.000000
       X5
                     .000000
                                      ~/.000000
        X.3
       X4
                    .000000
                                      -8.000000
       ばと
                    1.000000
                                      ·-6.000000
                    .000000
       X6
                                      -6.000000
       X /
                                      -6.000000
                                      -8.000000
       X8
                    .000000
       ΧЭ
                                      -7.000000 **
      X10
                   1,000000
                                      ~4.000000
                     .000000
                                       1.000000
      X17
      X12
                     .000000
                                       1.000000
      X13
                     .000000
                                        1.000000
      X14
                    1.300000
                                        .000000
      X15
                    .000000
                                       1.000000
                                        .000000
      X16
                    1.300000
                 278.000000
                                        .000000
      X11
                   2.200000
      X18
                                        .000000
      X19
                    1.800000
                                        .000000
      X20.
                     .000000
                                        1.000000
                   1.900000
                                        .000000
      X21-
                                        1.000000
      X55
                     .000000
                                   -DUAL PRICES
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                        .000000
                    .000000
       2)
                    .000000
                                        .000000
        3)
                     .000000
        4)
                                         .000000
       5)
                     .000000
                                       -1.000000
                                        .000000
        6)
                     .000000
        7)
                     .000000
                                       1.000000
        8)
                     .000000
                                         .000000
        ·3)
                     .000000
                                         .000000
      10)
                     .000000
                                         .000000
NO. ITERATIONS=
             15 DETERM= -1.000E
BRANCHES=
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                         5000
        3) - 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
      + 4 X10 + X12 - X18 =
                                10.8
        4) 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
      + 2 X10 + X13 - X19 =
                                10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X20 =
                              9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
      + 3 X10 + X15 -, X21 = 9.1
7) 3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
                                9.1
     '+ 3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
       .8)
             X1 + X2 + X3 =
             X4' + X5 + X6 + X7 =
        9)
      10) -
             X8 + X9 + X10 =
END
INTEGER-VARIABLES=
```

Ø.

ANNEXE 23

OBJECTIVE LUNCTION VALUE

```
1.19000000
 1)
 VORTABLE
                                   REDUCED COST
                   VALUE
        X1
                    1.000000
                                       -8.000000
                   · .000000
                                       -6.000000
        XZ
                     .000000
                                        8.000000
        £X.
        X4
                     .000000
                                      -8.00000
                    1.000000
        ХЪ
                                       --/.000000
        X6
                     .000000
                                       -7.000000
                     .000000
                                       -6.00000Q
        X 7
        Χð
                    1.000000
                                       -5.000000
        X9
                     .000000
                                       -8. 000000
                     .000000
                                       -7.000000
       XIO
       X1/
                     .000000
                                        1.000000.
       X12
                     .800000 .
                                         .000000
                     .000000
       X13
                                        1.000000
       X14
                     .000000
                                        1.00000ò
                     .000000
       X15
                                       1.000000
       X16
                     .300000
                                         .000000
      X11
                  448.000000
                                         .000000
      X18
                     .000000
                                        1.000000
      X19
                    2.800000
                                         . 000000
      X20
                    1.700000
                                         .000000
                                         .000000
       X21
                     00000e°.
                                        1.000000
      XŠS.
                    •. 000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
                     .0000000
        2)
                                        .000000
       3)
                     .000000
                                       -1.000000
                                         .000000
                     .000000
        4)
                     :000000
                                         .000000
       5)
                     .00000
       ،6)
                                         .000000
        1)
                     .000000
                                       1.000000
        Ä١
                     .000000™
                                         - 000000
                     .000000
                                         .000000
       9)
                                         . 000000
     - 10)
                     .000000 /
NU. ITERATIONS=
              9 DETERM= -1.000E
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15' + X16
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 XE + 330 X7
       2)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                         5500
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4(X9
       3)
       4 X10 + X12 - X18 =
                                10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
     + 2 \times 10. + \times 13 - \times 19 =
                                10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     + X10 + X14 - X20 = .9.3
     6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9 + 3 X10 + X15 - X21 = 9.1
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       7)
     + 3 X10 + X16 - X22 =
                                 10.3
       8)
             X1 + X2' + X3 =
                                 1
       9)
             X4 + X5 + X6 + X7 =
      10)
             X8 + X9 + X10 =
END
INTEGER-VARIABLES=
                          10
```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
. 30000002000
 VAR LABLE
                      VHI UE
                                          REDUCED COST
                        1.000000.
                                              -3.000000
         λl
         X5
                         . 000000
                                               -3.000000
                         .000000
         ŁХ
                                              -4.000000
                         . 000000
         X4
                                               -4.000000
         ХS
                         . 000000
                                              -3.000000
         Χь
                         . 000000
                                               -3.000000
         X/
                                              -3.000000
                        1.000000
                                               -4.800000
         XB
                         - 000000
         XЭ
                        1.000000
                                               -4.000000
        X10
                         .000000
                                               -3.000000
        X17
                         -000000
                                                1.000000
        X12
                         - 000000
                                                00000G.1
                         .000000
        X13
                                               1.000000
        X14
                         .000000
                                                1.000000
                         .000000
        X15
                                                1.000000
                         . 300000
        X16
                                                 .000000
        X11
                     480.000000
                                                 .000000
                        1.200000
        X18
                                                 .000000
        X13 (
                        1.800000
                                                 .000000
        X50
                         - /00000
                                                 - 000000
        X21
                         .900000
                                                 .000000
        X22
                         . 000000
                                                1.000000
        ROW
                SLACK OR SURPLUS
                                           DUAL PRICES
         2)
                         000000
                                                 .000000
                         L 000000
         3)
                                                 .000000
                         L 000000
                                                 .000000
         5)
                         . 000000
                                                 .000000
         63
                         2000000
                                                 .000000
         7)
                         .000000
                                               -1.000000
         8)
                         . 000000
                                                 .000000
         9)
                         . 000000
                                                 .000000
        10)
                         € 000000
                                                 .000,000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
                 9 DETERM= 1.000E
MIN
          X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
       (2)
                360 CX1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 697 X6 + 330 X7
      + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - x17 + x11 = 6000,
3) 5 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 3 + 4 \times 4 + 4 \times 5 + 4 \times 6 + 3 \times 7 + x8 + 4 \times 9
       + 4 X10 + X12 - X18 =
                                      10.8
                5 X1 + 4 X2 + 3 X3°+ X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
         4)
       + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                      10.2
         5)
                4-X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X20 # 9.3
      6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9 + 3 X10 + X15 - \frac{1}{2}21 = \frac{1}{2} \frac{1}{2}3 9.1
        7) 3 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 4 \times 9

3 \times 10 + \times 16 - \times 22 = 10.3
                X1 + X2 + X3 #
                X4 + X5 + X6 + X7 =
         3)
        10)
                X8 + X9" + X10 #
INTEGER-VARIABLES=
```

DBILCTIVE LUNCTION VALUE

INTEGER-VARIABLES=

```
.73000000200
                                     REDUCED COST
   นัก แกษเป.
                    VIII UL
                     1.000000
                                         - 3.000000
        %1
                      .,000000
                                         -3. goooo
        XP.
         ХЗ
                      .000000
                                          4.000000
                                          4.000000
                      .000000
                                         -3.000000
                      .000000
                                         -3.00000
                      .000000
         XЬ
                                         -3:000000
                     1.000000
         X 2
                                         -4.000000
                       .000000
         113
                     1.000000
                                         -4.000000
        хЭ
                      .000000
                                         -3.000000
       X10
                                         -1.000000
                      .000000
       X 1.
                                          1.000000
                      .000000
                      .000000
                                          1.000000
                                          1.000000
                      .000000/
       X15,
                                          1100000
                      .000000
                      .300000
                                            000000
       À1€
                                           .000000
       X11
                  980.000000
                                           :000000
       X184
                     1.500000
                                           .000000
       X19
                     1.800000
                      . 700000
                                           .000000
       X50
                      .900000
                                           .000000
       X21
                      ~000000
                                          1.000000
        X23
              SLACK OR SURPLUS
                                      DUAL PRICES
       KOW
                                           .000000
                      .000000
        2)
                                           .000000
        3)
                      ..000000
                      .000000
                                           .000000
        4)
                      .000000
                                           .000000
        5)
                      .000000
                                           .000000
        6)
                                         -1.000000
                      ..000000
        7)
                      .000000
                                           .000000
        8)
                      .000000
                                           .000000
        3)
       10)
                      .000000'
                                          ..000000
"NO, IŢERATIONS,≈,
BRANCHES=
               6 DETERM= 1.000E
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN
SUBJECT TO
              360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
        2)\
        4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 6500

3) 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8. + 4 X9

4 X10 + X12 - X18 = 10.8
              5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 + X13 - X19 = 10.2
         4)
        2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
        ೫)
        3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                   10.3
              X_{1} + X_{2} + X_{3} =
         8)
               x^4 + x^5 + x^6 + x^7 = 1
              X8_+_X9/+_X10_=
```

ANNEXE 26

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
1.100000000
 VHRIABLE
                                    REDUCED LOST
                   VALUE
                    1.000000
        ХI
                                       - 8.000000
                     ,000000
        ХZ
                                       -6.000000
        ŁХ
                     .000000
                                      -8.000000
       . X4
                     .000000
                                       -8.00000
        ХЪ
                    1.0000001
                                       -74 000000
        ΧĠ
                    . . 000000
                                       -7.000000
        X7
                     .000000
                                       -6.000000
        ХB
                    1.000000
                                       -5.000000
        хэ
                     .000000
                                       -8.00000
       X10
                     .000000
                                       -7.000000
       X17
                     .000000
                                        1.000000
       X12
                     .800000
                                         .000000
       X13
                     .000,000
                                        1.000000
      X14
                                        1.000000
                     .000000
       X15
                     .000000
                                      . 1.000000
       X16'
                     .300000
                                         .000000
       X11
                  448.000000
                                         .000000
       X18
                                        1.000000
                     .000000
       X19
                    2.800000
                                         .000000
       X20
                    1.700000
                                          .000000
       X21
                     .900000
                                         .000000
       X22
                     .000000
                                        1.000000
       ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    · DUAL PRICES
       2)
                     .000000
                                         ..000000
        3)
                                       -1.000000
                     .'000000
        4) 5
                     .000000
                                         .000000
       5)
                     . 200000
                                         .000000
       6)
                     .000000
                                         .000000
        2)
                     .000000
                                       -1.000000
        8)
                     .000000
                                         .000000
        9)
                                         .000000
                     .000000
       10)
                     .000000
                                         .000000
NUM ITERATIONS=
BRANCHES=
              9 DETERM= -1.000E/ 0
MIN
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
       2)
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     +, 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 #
                                                           5500
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 8 X7 + X8 + 4 X9
       4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                 10.8
       4) \5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       X10 + X14 - X20 = .9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
                                 9.1
       7) 3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9 3 X10 + X16 - X22 = 10.3
       8)
             X1 + X2 + X3 =
       9)
             X4 + X5 + X6 + X7 =
      10) 4 X8 + X9 + X10 =
```

ANNEXE 27

DRIFFLINE FUNCTION NUTUE

```
.300000200
```

```
17
                                    REDUCED COST
                   VALUE
 VURTABLE
                                       -3.000000
                    1.000000
        X1
        X5
                     .000000
                                       -3.000000
        ХJ
                     .000000
                                       -4.000000
                                       -4.000000
        X4
                     ,000000
                                       -3.00000
        ХS
                     .000000
                     .000000
                                       -3.00000
        XΘ
        XZ
                    1.000000
                                       -3.000000
                     .000000
                                       -4.000000
        XB
        XУ
                    1.000000
                                       -4.000000
                     .000000
                                       -3.000000
       XLO
                     .000000
                                        1.000000
       X1/
                                        1.000000
       X12
                     .000000
                     .000000
                                        1.000000
       X13
                                        1.000000
       X14
                     .000000
                     .000000
      X15
                                        1.000000
                                         -000000
                     .300000
      X1|6
                                          :000000
      X11.
                   80.000000
      X18
                    1.200000
                                         .000000
                                         .000000
      X19
                    1.800000
                     .700000
                                         .000000
      X50
                     .900000
      X21
                                         .000000
                                        1.000000
      X22
                     .000000
             SLACK OR SURPLUS
                                     DUAL PRICES
      ROW
                                         .. 000000
                     .000000
       2)
                     .000000
                                         .000000
       3)
                    .000000
        4)
                                          .000000
                                        3. 000000
        5)
                     .000000
                                         .000000
                     1000000
                                       -1.000000 '
        7)
                     .000000
                     .000000
                                         .000000,
       8)
                     .000000
                                          .000000
       4)
      10)
                     .000000
                                          . 000000
NO. ITERATIONS=
              6 DETERM= 1.000E
BRANCHES=
         X17"+ X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN
SUBJECT TO, 🛬
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2) .
       -4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                          5600
             5 X1 43 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
        3)
      + 4 X10 + X12 - X18 =
                                 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 +,4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
      + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
             4 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 3 \times 9
        5)
       X10. + X14. - X20 =
                               9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
        6)
                               9.1
        4"X10 + X15 - X21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 +
        う)
      + 3 X10 + X16 - X22 =
                                 10.3
             X1 + X2 + X3 =
        8)
        9)
             X4 + X5 + X6 + X7 =
```

INTEGER-VARIABLES=

10) - XB + X2 + X10 =

```
. .300000200
 1)
 VARIABLE
                                    REDUCED CUST
                   VALUE
        X 1
                     1.000000
                                        -3. 000000
        Х2
                     .000000
                                        -3,000000
        ΧЗ
                      .000000
                                        -4.000000
        X4
                     .000000
                                        -4.000000
        X5
                      .000000
                                        -3.000000
        X6
                      .000000
                                        -3,000000
        X7
                     1.000000
                                        -3.000000
        X8 🚶
                      .000000
                                        -4.00000
        X9
                     1.000000
                                        -4.000000
                     ٥٥٥٥٥٥ د.
       XIO
                                        -3.000000
       X17
                     .000000
                                         1.000000
       X12
                      .000000
                                         1.000000
                     .000000
                                         1,000000
       X13
                                         £ 000000
       X14
                     .000000
                      .000000
                                         1.000000
       X15
       X16
                      . 300000#
                                          .000000
       X11
                  180.000000
                                          .000000
       X18
                     1.200000
                                          .000000
       X19
                     1.800000
                                          .000000
       X20
                      . 700000
                                          .000000
       X21
                     .900000
                                          .000000
       X22
                      . 000000
                                         1.000000
              STACK OR SURPLUS
       ROW
                                     DUAL PRICES
        2)
                      .000000
                                          .000000
                      .000000
        3)
                                          .0000907
                      .000000
        4)
                                          .000000
                      .000000
        5)
                                          .000000
        6)
                      .000000
                                          .000000
        7)
                      .000000
                                        -1.000000
        8)
                      .000000
                                          .000000
        9)
                     . 000000,
                                          .000000
       (Ó)
                      .000000
                                          .000000
NO. ITERATIONS=
               8 DETERM= 1,000E 0
BRANCHES=
MIN
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
              360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
      + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + 111 = 5700
           5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
      + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 = 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
      + 2 X10 + X13 - X19 '= '
                                10.5
       5) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9 X10 + X14 - X20 = 9.3
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                  9: 1
      + 3 \times 10^{\circ} + \times 15 - \times 21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8. + 4 X9
        7)
      + 3 \times 40 + \times 16 - \times 22 =
                                  10.3
             X1 + X2 + X3 =
        8)
        9)
              X4 + X5 + X6 + X7 =
      . 10)
             X8 + X9 + X10 =
INTEGER-VARIABLES=
```

.300000200

1)

```
VARIABLE
                   VALUE
                                   REDUCED COST
                                      -3.000000
         X1
                    1.000000
                     .000000
                                      -3.000000
         SX.
                     .000000
                                      -4.000000
         ΧЗ
                     .000000
                                      -4.000000
         X4
                                      -3.000000
         X5
                    1.000000
                      . 000000
                                      -3.000000
         Х6
         X7
                      .000000
                                      -3.000000
                                      -4.000000
        XB
                     .000000
                                      -4.000000
        X9
                    1.000000
                     .000000
                                      -3.000000
        X10
        X17
                     .000000
                                       1.000000
                     .000000
                                       1.000000
       X12
                     .000000
                                       1.000000
        X13
       X14
                     .000000
                                        1.000000
       X15
                     .000000
                                       1.000000
                                       .300000
       X16
                   58.000000
                                      -000000
       'X11
                    24: 2000000
                                         .000000
       X 1'8
       X19
                    2.800000
                                        .000000
       X20
                     .700000
                                        .000000
       X21
                    2.900000
                                         .000000
                     .000000
                                        1.000000
       X22
              SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
       ROW
                     .000000
                                        .000000
        2)
        3)
                     .000000
                                         .000000
        4)
                     .000000
                                         .000000
        5)
                     .000000
                                         .000000
        6)
                     .000000
                                        .000000
                     .000000
                                      -1.000000
                     .000000.
                                        .000000
                                         .000000
                     .000000
       10)
                     .000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES= '12 DETERM= 1.000E 0
         x17 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16
MIN
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
        2)
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                         5800
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
      + 4 X10 + X12 - X18 =
                               10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
      + 2 X10' + X13 - X19 =
                               10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X20 =
                              9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                               9.1
        3 X10 + X15 - X21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
                                10.3
      + 3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
        (8) (x_1) + x_2 + x_3 = 1

(9) (x_4) + x_5 + x_6 + x_7 = 1
       10)
             X8 + X9 + X10 =
 END
 INTEGER-VARIABLES=
```

INTEGER-VARIABLES=

10

```
.300000200
 VARİABLE
                   VALUE
                                    REDUCED COST
        X 1
                    1.000000
                                       -3.000000
                     .000000
                                       43.000000
        ХЗ
                     .00000ô
                                       -4.000000
        X4
                     -.000000
                                       -4.000000
        X5
                                       -3.000000
                     1.000000
        X6
                     .000000
                                       -3.000000
        X7
                     .000000
                                       -3.000000
        X8
                     .000000
                                       -4.000000
        Х9
                     1.000000
                                        -4, 000000
       X10
                     .000000
                                        -3.000000
       X17
                     .000000
                                        1.000000
       X12
                     .000000
                                        1.000000
       X13 -
                     .000000
                                        1.000000
      X14
                     .000000
                                        1:000000
       X15
                     .000000
                                         1.000000
                     .300000
      X16
                                         .000000
      X11
                  158.000000
                                         .000000
      X18
                    2.200000
                                         .000000
      X19
                    2.800000
                                         .000000
      X50
                     .700000
                                         .000000
      X21
                    2.900000
                                         .000000
      X22
                     .000000
                                        1.000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                     DUAL PRICES
        2)
                     .000000
                                         .000000
        3)
                     .000000
                                          .000000
                                          .000000
        4)
                     .000000
        5)
                     .000000
                                          .000000
        6)
                     .000000
                                          .000000 *
        7)
                     .000000
                                        -1.000000
        8)
                     .000000
                                         .000000
        9)
                     .000000
                                         .000000
      10)
                     .000000
                                          .000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
              6 DETERM= 1.000E 0
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + \times 11 = 5900
        3)
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
      + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X29 =
                               9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 +,2 X7 + 2 X8 + 4 X9
      + 3. \times 10 + \times 15 - \times 21 = 9.1
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        7)
      3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                10.3
             XI + X5. + X3 = . 1.
             X4 + X5 + X6 + X7 =
       '9)
      10)
             X8 + X9 + X10 =
END
```

Ĺŝ

OBJECTIVE #UNCTION VALUE.

```
.300000200
 D
                      VALUE
                                        REDUCED COST
 VARIABLE
        X1
                       1.000000
                                            -3.000000
                                            -3.000000
         X2
                        .000000
         ŁХ
                        .000000
                                            -4.000000
                        .000000
                                            -4.000000
         X4
                                           ~-3.000000
         ХIJ
                        .000000
                                            -3.000000
         ХЄ
                        .000000
                       1.000000
                                            43.00000
         X7
                        .000000
                                            -4.000000
         ΧВ
                       1.000000
                                            -4.000000
        XЭ
                                            -3.00000
       X10
                      000000
       X17
                        .000000
                                             1.000000
                                             1.000000
       X12
                        .000000
                        .000000
                                             1.000000
       X13
                        .000000
       X14
                                             1.000000
                                             1.000000
                        .000000
       X15
                        .300000 .
                                              .000000
       XIE
       X11
                    480.000000
                                              .000000
                       1.200000
                                              .000000
       X18
                       1.800000
                                              .000000
       X13
       X20
                        .700000
                                              .000000
                        .900000
                                              .000000
       X21
       x22
                        .000000
                                             1.000000
               SLACK OR SURPLUS
                                         DUAL PRICES
       ROW
                                              .000000
        2)
                        .000000
        3)
                        .000000
                                             · .`000000
                                              .000000
        .4)
                        .000000
                        .000000
                                              .000000
        5)
                        .000000
                                              .000000
        6)
        7)
                        .000000
                                            -1.000000
                        .000000
                                              .000000
        8)
        9)
                        .000000
                                              .000000
       10)
                        1000000
                                              .000000
NO. ITERATIONS=_
               9 DETERM= 1.000E 0
BRANCHES=
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN .
SUBJECT FO
               360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
        2)
    \frac{1}{4} + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + \times 11 = 6000
      3) 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
+ 4 X10 + X12 - X18 = 10.8
4) 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                     10.2
      5) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
+ X10 + X14 - X20 = '9.3
6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
      + 3 X10 + X15 - X24 = 9.1
               3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
         7)
      + 3 X10 + X16 - X22 =
                                     10.3
       . 8)
               X1 + X2 + X3 =
                                     1
             __X4. + X5 + X6 + X7 = --- 1
       Jar.
               X8 + X9 + X10 =
END
```

```
1.10000000
                                 REDUCED COST
VARIABLE
                 VALUE
                  1.000000
                                    -8.000000
       X 1
                   .000000
                                     -6.000000
       SX
                   .000000
       XЗ
                                     -8.000000
                   .000000
                                     -8.000000
       X4
       X5
                    .000000
                                    _-7. 000000
       X6
                   1.000000
                                     -7.000000
                                     -6.000000
       X7
                    .000000
                                     -5.000000
                   1.000000
       XB
                    . 000000
                                    -8.000000
       X9
                    .000000
                                     -7.000000
      X10
                                      1.000000
      X17
                    .000000
                    .800000
                                       .000000
      X15
      X13
                    .000000
                                      1-000000-
                                      1.000000
                    .000000
      X14
                                      1.000000
      X15
                    .000000
                    .300000
      X16
                                       .000000
      X11
                 122.000000
                                       .000000
                                      1.000000
      X18
                    .000000
                   1.800000
                                       .000000
      X19
      X20
                   1.700000
                                       .000000
                                       .000000
      15X
                    .900000
                                      1.000000
                    000000
      X55
                                   DUAL_ PRICES
            SLACK OR SURPLUS
      RON
     , 2)
                                       .000000
                    .000000
       3)
                    .000000
                                     -1.000000
                                       . 000000
                    .000000
       4)
                                       .000000
                    .000000
       5)
                    .000000
                                       .000000
       6)
      (7)
                    .000000
                                     -1.000000
                                       .000000
       8)
                    .000000
                                       .000000
                    .000000
       9)
      10)
                    .000000
                                       .000000
NO. ITERATIONS=
              6 DETERM# -1:000E 0
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN
SUBJECT TO
            360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                      5519
            5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 ...
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                               10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     9.3
            4 X1 + 3 X2 + 3-X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                              9.1
     + 3 X10 +4 X15 - X21 =
           13 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       7)
      + 3 X10 + X16 - X22 * . . 10.3
       8) -- XX + X2 + X3 =-
            x4 + x5 + x6 + x7 = 
       9).
            x8 + x9 + x10 =
      10)
END
INTEGER-VARIABLES=
```

INTEGER-VARIABLES=

10

```
.300000200
 VARIABLE
                                   REDUCED COST
                   VALUE
                    1.000000
                                      -3.000000
        X1
        ۲2 .
                     .000000
                                     - -3.000000
        XЗ
                     .000000
                                      -4.000000
        X4
                     .000000
                                       -4.000000
        X5
                     .000000
                                      -3.000000
                                      -3.000000
        X6
                     .000000
        X7
                    1.000000
                                      -3.000000
                                      -4.000000
        ХB
                     .000000
                                      -4.000000
        X9
                    1.000000
                                      -3.000000
       X10
                     .000000
                     .000000
                                        1.000000
       X17
                                        1.000000
       X12
                     .000000
                     .000000
                                       1.000000
       X13
      X14
                     .000000
                                       -1.00000Ŭ
      · X15
                     .000000
                                       1.000000
                     .300000
                                         .000000
      X16
                                         .000000
                     .000000
      X11
      X18
                    1.200000
                                         .000000
      X19
                    1.800000
                                         .000000
      X20
                     .700000
                                         .000000
      X21
                     .900000
                                         .000000
                     .000000
      X22
                                       1.000000
             SLACK OR SURPLUS
      ROW
                                    DUAL PRICES
       2)
                     .000000
                                         .000000
       3)
                     .000000
                                         .000000
                     .000000
       4)
                                         .000000
                     .000000
       5)
                                         .000000
       6).
                     .000000
                                         . 000000
       7)
                     .000000
                                        1000000
       8)
                     .000000
                                         .000000
       9)
                                         ,000000
                    .000000
      10)
                     .000000
                                         000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
              8 DETERM= 1.000E .0
       X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     +_4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 X10 + X12 - X18 =
                                10.8
      ."4)
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                10.2
             4 X1 .+ 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       5)
     + X10 + X14 - X20 =
                               9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9 .
     + 3 \times 10 + \times 15 - \times 21 = 9.1
      <sup>1</sup>7)
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
     -- X10 + X16 - X22 =-
                               ~-10:3 ~
       8)
             X1 + X2 + X3 =
       9)
             x4 + x5 + x6 + x7 =
             X8 + X9 + X10.
END
```

```
1)
             . 3000000200
                  VALUE -
 VARIABLE
                                   KEDUCED COST
                   1.000,000
                                      - 3.000000
       X J
       X2
                     .000000
                                       -3.000000
       ΧЗ
                     .000000
                                      74-000000
       X4
                     .000000
                                       -4.000000
                                       -3.000000
       ХЪ
                     .000000
                     .000000
                                       -3.00000
       Χь
       X/
                   1.000000
                                      -3.000000
                     .000000
                                       -4.000000
       X8
                    1.000000
                                      -4.000000
       X3.
      X10
                     .000000
                                      ~3.000000
                     .000000
                                       1.000000
      X17
                     .000000
                                       1.000000
      X12
                     .000000
                                        1.000000
      X13
      'X14
                     .000000
                                        1.000000
                     .000000
                                       1,000000
      X15
      X16
                     ,300000
                                         .000000
                  221.000000
      X11
                                        ...000000
                    1.200000
                                         .000000
      X18
                    1.800000
                                         ..000000
      X19
                     . 700000
                                         .000000
      X20
      X21
                     .900000
                                         .000000
      XZ2
                     .000000
                                        1,000000
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
     -ROW
                                         .000000
                     .000000
       2)
                     .000000
                                         .000000
       3)
                     .000000
                                         .000000
       4)
                     .000000
                                         .000000
       5)
                     .000000
       6)
                                         .000000
       7)
                     .000000
                                       -1.000000
                                         .000000
       8)
                     .000000
                                         .000000
       `9)
                     .000000
                                         ,000000
                     .000000
      10)
NO. ITERATIONS=
            (12 DETERM= 1.000E 0
BRANCHES=
               x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16}
         X17
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                          5741
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 X10 + X12 - X18 =
                                 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     , 5)
                               9.3
       X10 + X14 - X20 =
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                9.1
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       7)
       3 X10 + X16 --X22 =
                                 10.3
       8)
             X1 + X2 + X3 =
       3)_
             X4 + X5 + X6 + X7
             X8 + X9 + X10 =
      10)
END
```

DBIECITAE FANCITON AUTHE

```
1)
             .3000000200
                                    REDUCED COST
 VOR LABILE
                   VIIL UL
                                      357.000000
        XI
                    1.000000
                                      549.000000
                     .000000
        ΧZ
                     .000000
                                      406-000000
        XJ
                     .000000
                                     1100.000000
       * X 4
        X5
                    1.000000
                                      549,000000
                     .000000
        Xь
                                      834.000000
                                      327.000000
        X/
                     .000000
        XB
                     .000000
                                     4136.000000
                    1.000000
                                     4826.000000
       хЭ
                                     3807.00000
      X10
                     .000000
                     .000000
                                         .000000
      X1/
                                        1.000000
      X15
                     .000000
                     .000000
                                        1.000000
      X13
                                        1.000000
      X14
                     .000000
                     .000000
                                        1.000000
      XI5
                                         .000000
      X16
                     .300000
                     .000000
                                        1.000000
      X11
                                         .000000
      X18
                    2.200000
      X19
                    2.800000
                                         .000000
                     . 700000
                                         .. 000000
      X50
                    2.900000
                                         .000000
      X21
                     .000000
                                         1.000000
      X55
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                     DUAL PRICES
                     .000000
                                        ∖1.000000
      . 2) -
        3)
                     .000000
                                         .000000
                                        ·.′000000
                     .000000
        4)
                                         .000000
       5)
                     .000000
                                         .000000
       6)
                     .000000
                     .000000
                                       -1,000000
       7)
                                         .000000
       8)
                     .000000
                                         .000000
                     .000000
       Ý)
                     .000000
                                         .000000
      10)
NO. ITERATIONS=
            12 DETERM= -1.000E 0
BRANCHES=
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16
MIN
SUMJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       -5)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 5742
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
                               9.3
     + X10 + X14 - X20 =
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                 9.1
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 f 4 X8 + 4 X9
       3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                  10.3
       8)
             X1 + X2 + X3 =
                                  1
            -X4 + X5 + X6++ X7 =
       9)
```

END .

10)

INTEGER-VARIABLES=

X8 + X9 + X10 =

```
1)
           -3.29999900
VARIABLE
                  VALUE
                                  REDUCED COST
       X1
                   1.000000
                                    -21.000000
       X5
                    .000000
                                    -16.000000
       ХЗ
                    .000000
                                    -17.000000
       X4
                    .000000
                                    -14.000000
                                    -19.000000
       X5
                   1.000000
                    .000000
       X6
                                    -18.000000
       "X7
                    .000000
                                    -15.000000
                    .000000
       X8
                                    -14.000000
       XЭ
                    .000000
                                    -18.00,0000
                                     -13,000000
      X10
                   1.000000
      X17
                    .000000
                                       1.000000
      X12
                    .000000
                                        .000000
                    .000000
      X13
                                        .000000
                   1.300000
      X14
                                        .000000
      X15
                    .000000
                                        .000000
      X16
                   1.300000
                                        .000000
      X18
                   2.200000
                                        .000000
      X19
                   1.800000
                                        .000000
      X50
                    .000000
                                        .000000
                                        .000000
      X21
                   1.900000
                                        .000,000
                    .000000
      X25
                 278.000000
                                        .000000
      X11
            SLACK OR SURPLUS
      ROW
                                    DUAL PRICES
                                        .000000
                    .000000
       2)
                    .000000
       3)
                                      -1.000000
       4)
                    .000000
                                      -1.000000
       5)
                    .000000
                                      -1.000000
       6)
                    .000000
                                      -1.000000
       7)
                                      -1.000000
                    .000000
       8)
                                        .000000
                    .000000
       9)
                                        .000000
                    .000000
      10)
                    .000000
                                        .000000
NO. ITERATIONS=
              4 DETERM= -1.000E
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
MIN
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     . .2)
       4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                         5000
            5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 X10 + X12 - X18 =
                               10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 X10 +'X13 - X19 =
                                10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       X10 + X14 - X20 =
                              9.3
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                9.1
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
       7)
            3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
```

X8 + X9 + X1010) END INTEGER-VARIABLES=

+ 3 X10 + X16 - X22 =

8) X1 + X2 + X3 = 09) X4 + X5 + X6 + X7

10

10.3

```
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...
```

1)

END

INTEGER-VARIABLES=

-4.29999900

✓ OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
REDUCED COST
  VARIABLE
                    VALUE
                     1.000000
                                      -21.000000
         X1
         X5
                      .000000
                                       -16.000000
         X3,
                      .000000
                                      -17.000000
                    ¢ - . 000000
                                      -14.000000
         X4
                     1.000000
                                      -13.000000
         X5
                                      -18.000000
         X6
                      .000000
         X7
                      .000000
                                      -15,000000
                                      -14.000000
         X8
                     1.000000
                                      -18.000000
                      .000000
         X9
        X10
                      .000000
                                       -13.000000
                                         1.000000
        X17
                      .000000
        X12
                      .800000
                                          .000000
                                          .000000
        X13
                      .000000
                                          .000000
        X14
                      .000000
                      .000000
                                          .000000
        X15
                      .300000
                                          .000000
        X16.
                      .000000
                                          .000000
        X18
        X19
                     2.800000
                                          .000000
                                          .000000
        X50
                     1.700000
                                          .000000
                      .900000
        X21
        X22
                      .000000
                                          .000000
                   448.00000
                                          .000000
        X11
                                     DUAL PRICES
        ROW
              SLACK OR SURPLUS
                      .000000
                                         .000000
         2)
                      .000000
                                       -1.000000
         3)
         4)
                      .000000
                                       -1.000000 2
                                       -1.000000
         5)
                      .000000
                                       -1.000000
                      .000000
         7)
                      .000000
                                        -1.000000
                      .000000
                                          .000000 -
         8)
                                          .000000
        9)
                      .000000
                      .000000
                                          .000000
        10)
NO. ITERATIONS=
 BRANCHES=
               1 DETERM= -1.000E 0
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
. MIN
 SUBJECT TO
              360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
       + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                          5500
              5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
         3)
        4 X10 + X12 - X18 =
                                 10.8
              5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
         4)
       + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                  10.2
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       + X10
            + X14 - X20 =
                                9.3
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                  9.1
        3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
              3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6; + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
         7)
         3-X10-+ X16 -, X22 = --10-3--
         8)
              X1 + X2 + X3 =
                                  1
              X4 + X5 + X6 + X7
         9)
        10)
              X8 + X9 + X10 =
```

```
-4.29999900 4
 1)
                                    REDUCED COST
 VARIABLE
                   VAILUE
                    1.000000
                                      -21.000000
       X 1
                     .000000
       X5
                                      -16.000000
                     .000000
       X3 -
                                      -17.000000
       X4
                     .000000
                                      -14.000000
                                      -19.00000
-18.0000
       X5
                     .000000
        хε
                     .000000/
       X7
                    1.000000 1
                                      -15.000000
                     .000000
       XA
                                      -14.000000
       X9
                    1.000000
                                      -18.000000
      X10
                     .000000
                                      -13.00000
      X17
                     .000000
                                      1.000000
                     .000000
      X12
                                          .000000
      X13.
                     .000000
                                          .000000
      X14
                     .000000
                                          .000000
      X15
                     .000000
                                          .000000
      X16
                     .300000
                                          .000000
      X18
                                          .000000
                    1.200000
      X19
                    1.800000
                                          .000000
      ,x20
                                          -000000
                     .700000
      X21
                     .900000
                                          .000000
      X55
                     .000000
                                          .000000
      X11
                   80.000000
                                          .000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                     DUAL PRICES
                                         .000000
                     .000000
       2 P=
        3)
                     .000000
                                        -1.000000
                                        -1.000000
        4)
                     .000000
                     .000000
       5)
                                        -1.000000
                     .000000
                                        -1.00000
       6)
        7)
                     .000000
                                        -1.000000
                                          .000000
        8)
                     .000000
        9), °
                     · 000000
                                          .0000Q0
     . 10)
                     .000000
                                          .000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
              3 DETERM= 1.000E 0
        x_{17} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} - x_{18} - x_{19} - x_{20} - x_{21} - x_{22}
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     +4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3610 \times 10 - \times 17 + \times 11 = 5600
           5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       3≯
      + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                 10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 X7 + 4 X8 + 3 X9
+ X14 - X20 = 9.3
       5)
     4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                 9.1
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       3 X10 + X16 - X22 =
8) X<u>1 + X</u>2 + X3 =
                               10.3
                                 1
       劳- · X4 + X5 + X6 + X7 =
    , fox
            X8 + X9 + X10 %
END
```

INTEGER-VARIABLES=

10

```
1)
            -4.29999900
                                   7
 VARIABLE
                                  REDUCED COST
                  VALUE
        X 1
                   1.000000
                                     -21.000000
        X2
                    .000000
                                     -16.000000
        ΧЗ
                     .000000
                                     -17.000000
        X4
                     .000000
                                     -14.000000
        X5
                     .000000
                                     -19,000000
        X6
                    .000000
                                    .-18.000000
        X7
                    1.000000
                                     -15.000000
        XВ
                     .000000
                                     -14.000000
        ΧЭ
                    1.000000
                                     -18.000000
       X10
                     .000000
                                     -13.000000
                                       1.000000
       X 1 7
                     .000000
       X12
                     .000000
                                        .000000
       X13
                     .000000
                                        .000000
       X14
                     .000000
                                        .000000
       X15
                    .000000
                                        .000000
       X16
                     .300000
                                        .000000
       X18
                    1.200000
                                        .000000
       X19
                    1.800000
                                        .000000
       X50
                     .700000
                                        .000000
       X21
                     .900000
                                        .000000
      -x22
                     .000000
                                        .000000
       X11
                 180.000000
                                        .000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
       2)
                    .000000
                                        .000000
        3)
                    .000000
                                      -1.000000
        4)
                    .000000
                                      -1.000000
       5)
                     .000000
                                      -1.000000
        6)
                     .000000
                                      -1.000000
        7)
                    .000000
                                      -1.000000
        8)
                                        .000000
                     .000000
        9)
                    .000000
                                      . .000000
       10)
                     .000000
                                        .000000
NO. ITERATIONS=
              3 DETERM= 1.000E .0
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
SUBJECT TO
       2)
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
                                                         5700 /
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 +
      + 4 ×10 + X12 - X18 =
                               10.8
        4) . 5 X1 + 4 X2, + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
                               10.2
      + 2 X10 + X13 - X19 =
       5)
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X20 =
                              9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                               9.1
      + 3 X10 + X15 - X21 =
       7)
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
      + 3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
       8)
            'X1 + X2 + X3 =
                                1
       9)
             X4 + X5 + X6 + X7 =
             X8 + X9 + X10 =
END
```

1) ' . -8.29999900

VARIABLE	VALUE	· REDUCED COST
X1	1.000000	-21.00000
, XS	. 000000	-16.000000
έx	.000000	-17.000000
X,4	.000000	-14.00000
X5	1.000000	-19.00000
X6	.000000	-18.00000
X7	.000000	-15.000000
×a	- 000000	-14.00000
X9	1.000000	-18.00000
X10	.000000	-13.0000Q
X17	.000000	1.000000
X12	.000000	.00000
×13	.000000	000000
X14	.000000	·000000
X15	. 000000	. 000000
X16	. 300000	.000000
X18	2.200000	.000000
X13	2.800000	.000000
X20	. 700000	.00000
X21	2.300000	.000000
XSS	.000000	.00000
XII	58.00000	
×11	38.00000	.000000

	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
4	5)	- 0.00000	.00000
	3)	.000000	-1.000000
	4)	. 000000	-1.000000
	5)	- 000000	-1.000000
	6)	, , 000000	-1.000000
•	7)	. 11.000000	-1.000000
	8)	.000000	\$ 000000
	9)	.000000	.000000
	10)	.000000	.000000

NO. ITERATIONS= 0
BRANCHES= 0 DETERM= 1.000E 0

```
MIH X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
SUBJECT TO
       2) 360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
      4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
       3) * 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
      4 X10 4 X12 - X18 =
                               10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       2 \times 10 + \times 13 - \times 19 = 10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       5)
      X10 + X14 - X20 =
                             9.3
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
                               9.1
      7). 3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9 3 X10 + X16 - X22 = 10.3
            X1 + X2 + X3 =
       8)
            X4 + X5 + X6 + X7 =
            X8 + X9 + X10 =
```

END INTEGER-VARIABLES=

10

1) -8.29999900

```
VARIABLE
                                     REDUCED COST
                    VALUE
        X 1
                     1.000000
                                       -21.000000
        X5
                      .000000
                                       -16.000000
        ΧЗ
                      .000000
                                       -17.000000
        X4
                      .000000
                                       -14.000000
        X5
                     1.000000
                                       -19.000000
        ХE
                      .000000
                                       -18.000000
        X7
                      .000000
                                       -15.000000
        XΑ
                                       -14.00000
                      .000000
        х9
                     1.000000
                                       -18.000000
       X10
                      .000000
                                       -13.000000
       X17
                      .000000
                                          1.000000
       X12
                      .000000
                                           .000000
       X13
                      .000000
                                           .000000
       X14
                      .000,000
                                           .000000
       X15
                      .000000
                                           .000000
                      .300000
       X16
                                           .000000
       X18
                     2.200000
                                           .000000
       X19
                     2.800000
                                           .000000
       X50
                      .700000
                                           .000000
       X21
                     2.900000
                                           .000000
       X22
                      .000000
                                           .000000
       X11
                   158.000000
                                           .000000
       ROW
              SLACK OR SURPLUS
                                      DUAL/ PRICES
        2)
                      .000000
                                           .000000
        3)
                      .000000
                                         -1.000000
        4)
                      .000000
                                         -1.000000
        5)
                      .000000
                                         -1.000000
                      .000000
                                         -1.000000
        7)
                      .000000
                                         -1.000000
        8)
                      .000000
                                           .000000
                                           .000000
        9)
                      .000000
       10)
                      .000000
                                           .000000
NO. ITERATIONS=
              O DETERM= 1.000E 0
BRANCHES=
         X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
MIN
SUBJECT TO
        2) ' 360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 /
       4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 5900

3) 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
        4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                  10.8
              5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 *
       2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                  10.2
        5) < 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       X10 + X14 - X20 =
                                9.3
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                  9.1
       3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
              3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        7)
       3 \times 10^{\circ} + \times 16 - \times 22 =
                                  10.3
             X1 + X2 + X3 = - ^{\circ}1 
        8)
              X4 + X5 + X6 + X7 =
             X8 + X9 + X10 =
       10)
```

END

```
-8,29999900
 VARIABLE
                   VALUE
                                   REDUCED COST
                    1,.000000
        X1
                                      -21.000000
        X2
                     .000000
                                      -16.000000
        хз
                     .000000
                                     -17.000000
                                     14.000000
19.000000
                     .000000
        X4
        X5
                    1.000000
        X6
                     .000000
                                     -18.000000
        X7
                     .000000
                                      -15.000000
        XA
                     .. 000000
                                      -14.000000
                    1.000000
       X9
                                     -18.000000
       X10
                     .000000
                                     -13.000000
       X17
                     .000000
                                        1.000000
       X12
                     .000000
                                         .000000
                     .000000
      X13
                                         .000000
                                         .000000
      X14
                     .000000
      X15
                     .000000
                                         .000000
       X16
                     .300000
                                         .000000
                    2.200000
      X18-
                                         .000000
      X19
                    2.800000
                                         .000000
      X20
                     .700000
                                         .000000
      X21
                    2.900000
                                         .000000
                     .000000
      X22
                                         .000000
      X11
                 258,000000
                                         .000000
             SLACK OR SURPLUS
      ROW
                                    DUAL PRICES
       2)
                                        .000000
                     .000000
       3)
                     .000000
                                      -1.000000
        4)
                     .000000
                                      -1.000000
       ,5)
                     .000000
                                      -1.000000
       6)
                     .000000
                                      -1.000000
       7)
                     .000000
                                      -1.000000
       8)
                     .000000
                                         .000000
                                         .000000
       9)
                     .000000
      10)
                     .000000
                                         .000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
              0 DETERM= 1.000E 0
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22
SUBJECT TO
       2)
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + \times 11 =
                                                          6000
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 X10 + X12 - X18 =
                                10.8
       4)
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       2.X10 + X13 - X19 =
                               10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5r + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      X10 + X14 - X20 =
                            ¯ '9. 3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
       3 X10 + X15 - X21 =
                               9.1
       7)
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                10.3
       A)
             X1 + X2 + X3 =
```

END . INTEGER-VARIABLES=

9)

10

X4 + X5 + X6 + X7 = X8 + X9 + X10 =

```
1)
             -8.29999900.
 VARIABLE
                    VALUE
                                     REDUCED COST
        X1 ·
                     1.000000
                                        -21.0000000
                     . 000000
        Χc
                                        -16,000000
        ΧЗ
                                        -17.000000
        X4
                      . 0000000
                                        -14.0000000
        X5
                     1.000000
                                        -19.000000
                      . 0000000
                                        -18.000000
                      . 0000000
        X 7
                                        -15.000000
        ĶΒ
                      . 0000000
                                        -14,0000000
        ХЭ
                     1.000000
                                        -18.000000
                      . 0000000
       X 1 O
                                        -13.000000
       X17
                      . 000000
                                          1.0000000
       X12
                      . 0000000
                                           . 0000000
                                           . 0000000
       X 1 🕹
                      . 0000000
                      . 000000
       X 1 4
                                           . 0000000
       X15
                      . 000000
                                           . 0000000
       X16
                      .300000
                                           . 0000000
       X18
                     2.200000
                                           . 0000000
                                           , ბინდიი
                     2.800000
       X19
       X 20
                      . 700000
                                           . 0000000
       X \subset I
                    ' 2.900000
                                           . ლიდინი
                      . 0000000
       XEE
                                           . QQQQQQQ
       X 1 1
                   758.000000
                                           , QOQQQQ
              SLACK OR SURPLUS
       ROW
                                      DUAL PRICES
       رے •
                      .0000000
                                           . 0000000
        三)
                      .000000 4
                                         -1,0000000
                                         -1.000000
        4)
                      .000000
        5)
                      .0000000
                                         -1.000000
                      .000000
                                         -1.000000
        7)
                      .000000
                                         -1.0000000
        8)
                      . 000000
                                           . 0000000
        3)
                      .000000
                                           . 0000000
       10)
                      . 000000
                                           . 0000000
NO. ITERATIONS=
BRANCHES=
               O DETERM= 1.000E
MIN
         x17 + x12 + x13 + x14 + x15 + x16 - x18 - x19 - x20 - x21 - x22
SUBJECT TO
              360 XI + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
        ( ے
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                             6500
        3)
              5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
        4 X10 + \langle X12 - X18 = + 10.8
4) 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                 10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
        5)
      + X10 + X14 - X20 =
                                3.3
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 XB + 4 X9
        E)
      + 3 X10 + X15 - X21 =
                                   9. 1
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        7)
       3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                   10.3
              x_1 + x_2 + x_3 =
        8)
        9)
              X4 + X5 + X6 + X7 4/
```

END '
1NTEGER-VARIABLES= '

X8 + X9 + X10 =

RE-INSTALLING BEST SOLUTION ...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
1) -4.29999900
```

```
VARIABLE
                  VALUE
                                   REDUCED COST
                   1,-000000
      X 1
                                     -21.000000
                    .000000
      X2
                                     -16.000000
      XЗ
                    .000000
                                    ·-17.000000
      X4
                    .000000
                                     -14.000000
      X5
                   1.000000
                                     -13.00000
                    .000000
      ХE
                                     -18,000000
      X7
                    .000000
                                     -15.000000
      X8
                   1.000000
                                     -14.000000
      X'3
                    .000000
                                     -18.000000
                                     -13.00000
     X10
                    .000000
     X17
                    .000000
                                       1.000000
                    . 800000
     X12
                                        .. 000000
     X13
                    .000000
                                        .000000
     X14
                    .000000
                                        .000000
                    -000000
                                        .000000
     X15
                                        .000000
     X16
                    .300000
     X18
                    .000000
                                        .000000
     X19
                   2.800000
                                        .000000
     X50
                   1.700000
                                        .000000
                                        .000000
     X21
                    .900000
                    .000000
     X25
                                        .000000
     X11
                 448.000000
                                        .000000
```

```
DUAL PRICES
ROW
      SLACK OR SURPLUS
                                   .000000
 2)
              .000000
 3)
              .000000
                                 -1.000000
 4)
              . 000000
                                 -1.000000
 5)
              -000000
                                 -1.000000
 6)
              .000000
                                 -1.000000
 7)
              .000000
                                 -1.000000
 8)
              .000000
                                   .000000
              .000000
 9)
                                   .000000
10)
              .000000
                                  .000000
```

NO. ITERATIONS= 0
BRANCHES= 1 DETERM= -1.000E 0

MIN X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22 SUBJECT TO

- 2) 360 X1 + 552 X2 ± 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 X17 + X11 = 5500
- 3) 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
- $4 \times 10 + \times 12 \times 18 = 10.8$
- 4) 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
- $+2 \times 10 + \times 13 \times 19 = 10.2$
 - (5) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
- 6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
- $+ 3 \times 10 + \times 15 \times 21 = 9.1$
- 7) 3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
- $+ 3 \times 10 + \times 16 \times 22 = 10.3$
 - 8) X1 + X2 + X3 = 1
 - 9) X4 + X5 + X6 + X7 = 1
- \times 10) X8 + X9 + X10 = 1

END

ANNEXE 45

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

```
4.277777400
 VIEK LINBILL
                      ワロレリに
                                        REDUCED COST
         X 1
                       1.000000
                                           - 51 • 0000000
         x2 %
                       ..000000.
                                           -16.000000
         ŁX
                        .000000
                                            17.000000
                        .000000
         X4
                                            14.000000
                       1.000000
         xъ
                                           -19.000000
                        .000000
         XЬ
                                           -18.000000
         X Z
                        .000000
                                          ~15.000000
         ХB
                       1.000000
                                           -14.000000
                        .000000
                                           18.000000
         хЭ
        XIO
                        .000000
                                           -13.000000
                                             1,000000
        X1/
                       ..000000
                        .800000
        X12
                                              .000000
       ₹X13
                        .000000,
                                              .000000
        X14
                        .000000
                                              .000000
        X15
                        .000000
                                              .000000
                        . 300000
        X16
                                              -. 000000
        X18
                        .000000
                                              .000000
        X19
                       2.800000
                                              .000000
        X20
                       1./00000
                                              .000000
                        .,300000
                                              .000000
        X21
                        .000000
        X55
                                              .000000
        X11
                    467.000000
                                              .000000
        ROW
               SLACK OR SURPLUS
                                         DUAL PRICES
         2)
                        .000000
                                              .000000
                        .000000
         3)
                                            -1.000000
         4)
                        .000000
                                            -1.00000°U
         5)
                        .000000
                                            -1.000000
         6)
                        .000000
                                            -1.000,000
                                            -1.00,000
         -17
                        .000000
         8)
                        .000000
                                              . 000000
         4)
                        .000000
                                              .000000
        10)
                        .000000
                                               .000000
NO. 17ERATIONS=
              - 1 DETERM= -1-000E
_BRANCHES=
MIN'
          X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 - X18 - X19 - X20 - X21
SUBJECT TO
         2) 360 X1/+ 552 X2 + 410/X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 🖋
         4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 = X17 + X11 = -
                                                                 5519
         3)

•5 X1 + 3 X2 + 4 X3 ≠ 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8. + 4 X9

                                      1/0.8
         4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
               5 X1 . + 4 X2 + 3 X3/ + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
         4)
       + 2 X10 + X13 - X19;=
                                     10.2
               4 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 3 \times 9
       + X10 + X14 - X20 =
                                   /9.3-
         6) 4 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 3 + \times 4 + 4 \times 5 + 4 \times 6 + 2 \times 7 + 2 \times 8 + 4 \times 9
3 \times 10 + \times 15 - \times 21 = 9.1
         7)
               3 X1 + 3 X2 +/4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        3' \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                    10.3
               X1 + X2 + X3 =
               X4 + X5 + X6 + X7 =
X8 + X9 + X10 = -
       , 9)
END "
INTEGER-VARIABLES=
                              10
```

DRIFCLINE 4 DHCLEON VALUE

```
45 209999000
                 VALUE.
                                    KEDUCED COST
                    0000000
        ΧÍ٤
                                      333.000000
                    .000000
        X2 '
                                     536.000000
                  . . . 000000
        хз•
                                      393.000000
                     .000000
                                     1030.000000
                     . 000000
        ХS
                                     533,000000
        Xъ
                     .000000
                                     879.000000
                    1.000000 -
        X7.
                                     315.000000
        X8
                     . 000000
                                     4126.00000
        х9
                    1.000000
                                     4812.000000
       XIV.
                    . 000000
                                    3797.000000
                     .000000
       X1/
                                         .000000
                     .000000
       X12
                                         .000000
                     .000000
                                         .000000
       X13
       X14
                     .000000
                                         .000000
       X15.
                     .000000
                                         .000000
                     . 300000
       XIE
                                         .000000
       X18
                    1.200000
                                         .000000
       X13
                    1.80,000
                                         .000000
       X50-
                     . 2000Q0
                                       . .000000
                     . 900000
       X21
                                         .000000
                     .000000
       X55
                                         .000000
      -X11
                     .000000
                                        1.000000
             SLACK OR SURPLUS
       KOW
                                   'DUAL PRICES.
                     .000000
        2)
                                        1.000000
        3)
                     .000000
                                      -1.000000
                    .000000
                                       -1.000000
        5)
                     . 000000
                                      -1.000000
        6)
                     .000000
                                      -1.000000
        7)
                     -000000
                                      -1.000000
        8)
                     .000000
                                         .000000
        9)
                     . 000000
                                         .000000
       10)
                     . 000000
                                         .000000
NO. l'ERATIONS=
ERANCHES=
              1 DETENTM# -1.000E
        X17 + X12 + X13 + X14 + X154 X16 - X18 - X19 - X20 - X21 - X22 -
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                               10.8
     4) 5 X1 + 4 X2 + 3 - X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 + 2 X10 + X13 - X19 = 10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     + X10 - X14 - X20 =
                              9.3
             4×X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                9.1
     + 3 X10 + X15 - X21 =
             3 X1 + 3:X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 🔏 X8 + 4 X9
       7)
     + 3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
            X1 + X2 + X3 =
             X4 + X5 + X6 + X7 =
             X8 + X9 + X10 =
END
INTEGER-VARIABLES=
```

```
-4229999900
 MUK LUBITE
                    VHILUE.
                                      KEDUCED COST
                     1.000000
                                         -21.000000
                     ........
                                          16.000000
        ХZ
                      .000000
        X.3
                                         -17.000000
        X4
                       .000000
                                         -14.000000
        ХIJ
                       .000000
                                         -19.000000
        X6
                       .000000
                                         -- 19.000000
                                        .-15.000000
        ŹΖ
                     1.000000
        XB
                       .000000
                                         -14.000000
        X9
                      1.000000
                                         -18.000000
       X10
                       . 000000
                                         -13,000000
       X17
                       . 000000
                                           1.000000%
       X12
                       . 000000 -
                                            .000000
       X13
                       .000000
                                            .000000.
       X14
                       .000000
                                            .000000
       X15
                       .000000
                                            .000000
       X16
                       . 300000
                                            .000000
       X418
                     1.200000
                                            .000000
       X-1-9
                      1.800000
                                            .000000
                                            ,.000000
       X50
                       . 200000
                       .900000
                                            .0000000
       X21
       X55
                       .000000
                                            :000000
       X11
                    80.000000
                                            .000000 {
                                       DUAL PRICES
       ROW
             SLACK OR SURPLUS
                      .000000
        2)
                                            _.00000gg
                       .000000
        3)
                                          -1.00000<del>5</del>
                                          -1.000000
        4)
                       .000000.
        5)
                       .000000
                                         `--1.000000'
                       :000000
                                          -1.000000
        7)
                       .000000
                                          -1,000000
        8)
                       . 000000
                                            .000000
                       .000000
                                            .000000
        4)
       10)
                       . pooooo.
                                            .000000
NO. 11 RATIONS=
BRANCHĖS=
               3 DEJTERM= 1.000E 0
MIN
        *X17 + X12 + X13 + X14 +<del>;X1</del>5 + X16 - X18 - <u>X</u>19 - X20 - X21 - X22
SUBJECT 'JO
              360^{\circ}X1 + \cdot552 X2 + 410 X3 + \cdot1104 X4 + 552 X5 + 89/ X6 + 330 X7
        29.
       4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
             5'X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 X10 + X12 - X18 =
                                   10,8
        4)
              5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X6 + 3 X9
      + 2 X10 + X13 - X172=
                                   10.2
             .4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      + X10 + X14 - X20 = 9.3
6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
+ 3 X10 + X15 - X21 = 9.1
              3 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 4 \times 9
      + 3 X10 + X16 - X22 =
                                   10.3
           \times X1 + X2 + X3 = -1
        9)
              X4 + X5 + X6 + X7 =
              X8 + X9 + X10 = 1
END
```

DRIECTLYE, FONCTION NUCLE

```
4. 3000001-00
  VARIABLE
                   VALUE
                                     REDUCED COST
                     1.0000000
                                      - 16.000000
        хì
                                       512.000000
         ٤λ
                      . OQOQUQ
         ΧЗ
                      . QOQQQQ
                                       -14,000000
                      \mathbf{.0000000}
         X 4
                                       -10.000000
                      ្ត, ជូចចក់កំពុច
         χ'n
                                       -15.000000.
                     1.000000
         XΕ
                                       -15,000000
                                       -10,000000
        X7
                     1.000000
        XΒ
                                         -9. 0000000
                      .0000000
        XЭ
                                       -16,000000
        X 1 Q
                      . 000000
                                        -13.000000
       X17
                      .000000
                                          2.000000
       X 1 ≥
                     1.800000
                                           . 0000000
                      . 960000
       X13
                                          5,000000
                      . 0000000
      x X 194
                                          4.000000
       X15
                     1.100000
                                           .000000
                      .300000
       X16
                                           .000000
                   170,000000
                                           ,000000
       X11
       XIB
                      .000000
                                          1.000000
       X19
                                         * . 000000)
                     1.800000
      ∙x20
                     1.600000
                                          .0000000
                     . 000000
       X21
                                         42.000000
       X22>
                      , 0000000
                                          1.000000
             SLACK OR SURPLUS
                                      DUAL PRICES
       ROW
                     . 0000000
                                          1000000
        (2)
        3)
                      . 000000
                                        -1.0000000
                      . 909000
                                          :0000000
        5)
                      1000000
                                          .000000
                      ,000000
        6)
                                         ₩.`000000
        7)
                      .,000000
                                         1.000000
                     4,000000
                                          .000000
        9)
                      . 0000000
                                           . 0000000
       10)
                      .000000
                                           , 0000000
NO. ITERATIONS=
              5 DETERM# 1.000E 0
BRANCHES.
         2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16
MIN
aneleci'lo
              360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
        4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                             5000
        3) 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
4 X10 + X12 - X18 = . 10.8
        4) . "5 X1"+ 4-X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6"+'4 X7"+'3 X8 + "3 X9
        Ż X10 + X13 − X19 =
                                  10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
        X10-+ X14 - X20 = ...
                               9.4
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
        3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
                                  9. 1
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        7).
        3 X10 + X16 - X22 =
                                · 10.3.
           X4 + X5 + X6 + X7 =
X8 + X9 + X10 =
      10)
```

```
🐀 100000000
 VARIABLE
                    VALUE
                                      REDUCED COST
                     i, \phi \phi \phi \phi \phi \phi
        χì
                                          -8.000000
                       , φορφοφ
                                          ~6. 00000ô
        ΧŻ
        XЗ
                      , οφορός
                                          -8.0000000
                      ¥000000
                                          -8, 0000000
                     1.0000000
                                          -7.0000000
                                         -7.000000
                      .000000
        XE
        X7
                      . 0000000
                                        , ~6. 000000
        8X
                     1.0000000
                                          -5.000000
                      ξοσόσος
        XЭ
                                          -8.000000
       X LO
                      .0000000
                                          -7.0000000
       X17
                      1,000,000
                                           2.000000
       X 1 ≥
                      .800000
                                            .000000
       X13
                      .000000
                                           5.000000
       X14
                      .000000
                                           4.000000
       X15
                      .000000
                                           2.000000
                       .300000
                                            . 0000000
       X 1 1
                   448.000000
                                            . 0000000
                      .000000
       X18
                                           1.000000
                                            .000000
       X19
                     2.800000
       X20
                     1.600000
                                            .000000
       X≥1
                       .'9000000
                                            .009000
                       .0000000
       XSS
                                           1.000000
                                       DUAL PRICES
       ROW
              SLACK OR SURPLUS
        (نے
                      .000000
                                           ..000000
                      .000000
        3)
                                          -1.000000
                                            .000000
        4)
                      .000000
        5)
                      .000000
                                            .000000
        6)
                      . 0000000
                                            .000000
        7)
                      .000000
                                          -1.000000
        8)
                     ..000000
                                            .000000
        9)
                      .000000
                                            .000000
       10)
                       .000000
                                            .000000
NO. ITERATIONS=
                         2
               8 DETERM= ~1.000E 0
BRANCHES=
         2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16
MIN
SUBJECT TO
        2)
              360 X1 + 552 X2 + 410 X3, + 1,104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
      + 4140 XB + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
              5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
      + 4 X10 + X12 - X18 =
                                   10.8
              5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
       2 \times 10 + \times 13 - \times 19 = 10.2
5) 4 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 3 \times 9
     '+ X10 + X14 - X20 =
                                 9.4
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
      + 3 X10 + X15 - X21,=
                                   9.1
              3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
        7)
       3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                   10,3
              X1 + X2 + X3 =
        8)
        3)
              X4 + X5 + X6 + X7 =
       10)
              X8 + X9 + X10 =
```

1)

```
INTEGER-VARIABLES=
```

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

10

```
٥٥٠٥٥٥٥٥٥ .
VARIABLE
                  VALUE
                                   REDUCED COST
      X 1
                   1,0000000
                                       -3.000000
                    ,0000000
                                       -3.000000
      メビ
      ΧЗ
                    .0000000
                                       -4.000000
      X4
                    .0000000
                                       -4.0000000
      X5
                   1.000000
                                       ~3.000000
      16
                    .0000000
                                       -3,000000
      x 7
                    . 0000000
                                       -3.000000
      ХB
                    . QOÒQÕQ
                                       -4.0000000
      XЭ
                   1.000000
                                       -4.000000
     X10
                    2000000
                                       -3.000000
     X17
                    .000000
                                        2.000000
                    ,000000
     X12
                                        1.0000000
     X13
                    .000000
                                        5.000000
     X14
                    .000000
                                        4.000000
     X15
                    .000000
                                        2.000000
     116
                    .300000
                                        .000000
                                        .000000
     X 1 1
                258.000000
     X 1-8
                  2,200000
                                        .000000
     X19
                   2.800000
                                        .000000
     XãO
                    .600000
                                        .000000
     X21
                  2.900000
                                        .000000
     XEE
                    .000000
                                        1.000000
```

	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
.000000	.000000
.000000	.000000
. 000000	.000000
.000000	.000000
. 900000	.000000
.000000	-1.000000
.000000	.000000
.00000	.000000
.000000	.000000
	.000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000

NO. ITERATIONS= ' BRANCHES= 10 DETERM# 1.000E 0

```
MIN
         2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16
SUBJECT TO
```

2) 360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 $+ 4140 \times 8 + 4830 \times 9 + 3810 \times 10 - \times 17 + \times 11 = 6000$

3) · 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9

 $+ 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =$ 10.8

5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 4)

+ 2 X10 + X13 - X19 = 1 10.2

4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9 5)

+ X10 + X14 - X20 = - - 9.4

6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9

3 X10 + X15 - X21 ₩ 9. 1

3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9 7)

+ 3 X10 + X16 - X22 = 10.3

8) X1 + X2 + X3 =1

9) X4 + X5 + X6 + X7 =

10) X8 + X9 + X10 =

END

. კიდიდოლიი

1)

```
VARIABLE
                     VALUE
                                       REDUCED COST
                      1.000000
         X 1
                                           -3, QQQQQQ
                       . იიდიად
                                           -3, 000000
         ے پ
                       . სიიდნი
         ΧЗ
                                           -4. 900000
         х <u>4</u>
х <del>5</del>
                       • ბიფიბი
                                           ~4. QQQQQQQ
                       . 000000
                                           -3.000000
         X6
                      1.0000000
                                           -3,000000
         X 7
                       .000000
                                           -3. 0000000
         XB
                       , φυόυφο
                                           -4.0000000
        XЭ
                       1.000000
                                            -4. 0000000
       X10
                       . 000000
                                            -3. 0000000
                       .000000
       X17
                                            2.000000
       X12
                       . 0000000
                                            1.0000000
       X13
                       . 000000
                                            5.000000
       X14
                       .000000
                                            4. 0000000
       X15
                       .000000
                                            2.000000
       X16
                       .300000
                                              . 0000000
       X 1 1
                    413.000000
                                              .000000
       X18
                      2.200000
                                             . 0000000
       X19
                      1.800000
                                             .000000
       X20
                       .600000
                                             $ 000000
       X21
                      2.900000
                                             .000000
       X22
                       .000000
                                             1.0000000
               SLACK OR SURPLUS
       ROW
                                        DUAL PRICES
        ( نے
                       .000000
                                             ,000000
        3)
                      ~000000
                                             .000000
        4)
                       .000000
                                              .000000 ,
        5)
                       .000000
                                              .000000
                       .000000
        6)
                                             .000000
        7)
                       .000000
                                            -1,000000
        8)
                       .000000
                                             .0000000
        9)
                       .000000
                                              .000000
       10)
                       , 000000 -
                                              .0000000
NO. ITERATIONS=
               9 DETERM= 1.000E .0
BRANCHES=
MIN "
         2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16
SUBJECT TO
        2)
               360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 *
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 1
                                                                6500
              5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
       4 \times 10 + \times 12 - \times 18 =
                                    10.8
        4) 5 10 + 4 \times2 + 3 \times3 + \times4 + 5 \times5 + 4 \times6 + 4 \times7 + 3 \times8 + 3 \times9 2 \times10 + \times13 - \times19 = 10.2
        5),
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
       X10 + X14 - X20 =
              4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
        3 \times 10 + \times 15 - \times 21 =
                                    9. 1
        7)
              3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
                                   .10.3
        3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
        8)
              X1 + X2 + X3 =
        9)
              X4 + X5 + X6 + X7 =
```

£13,

END

10)

INTEGER-VARIABLES=

X8 + X9 + X10 =

DETECTION THRETTON ANTHE

```
1.3
               11.5000000
                      VALUE
                                       KEDUCED CUST
    WITH LIBBLE
           Χŀ
                       1.000000
                                           57.000000
           X2
                        .000000
                                          -44.000000
           X.3
                        .000000
                                           41.000000
           X4
                        .000000
                                           31.000000
           Хb
                        .000000
                                          -52.000000
          ex 6
                        .000000
                                          -47.000000
          . x 2
                                           42.000000
                       1.000,000
           XΒ
                                          -40.000000
                       1.000000
           Х'Э
                        .000000
                                          -43'.000000
          X L O
                        ~000000
                                          -27.000000
          X17
                        .000004
                                            2.000000
          X15
                       1.800000
                                             .000000
                        .000000
                                             .000000
          X13
                       •.000000
          X14
                                             .000000
         X15
                       1.100000
                                             .000000
                                             .000000
                       . .300000
         X16
         X18
                        .000000
                                             .000000
         XIT
                       1.800000
                                             .000000
         X20.
                       1.700000
                                             .000000
                        .000000
         X51
                                             .000000
         X25
                        .000000
                                             .000000
                    140.00000
         X11
                                             .000000
         ROW
                SLACK OR SURPLUS
                                        DUAL PRICES
         (ئے ،
                        .000000
                                            .000000
          (6)
                        .000000
                                          -1.000000
                                          -5.000000
          4)
                        .000000
                                          -4.000000
          5)
                        .000000
                        .000000
                                          -2.000000
          2)
                        .000000
                                          -1.000000
          A)
                        .000000
                                            .000000
                        .000000
          9)
                                             .000000
         10)
                        .000000
                                             .000000
  NO. ITERATIONS=
  BRANCHES=
                 4 DETERM= 1.000E
           2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16 - X18 - 5 X19 - 4 X20
        - 5 X51 - 4X56
  SUPJECT TO
          2)
                360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X/
        + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 12000
               5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
          3)
         4 X10 + X12 - X18 = 10.8
4) 5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        +2 \times 10 + \times 13 - \times 19 = 10.2
                4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
          5)
        + X10 + X14 = X20 = 9.3
                4 X1 3 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
        + 3 X10 + X15 - X21 =
                                   9.1
        . 7) \times 3 X1 + 3 X2 + 4/X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9 + 3 X10 + X16 + X22 = ^{\prime} 10.3
                                  • 1
          8)
               X1 + X2 + X3 =
               ^X4 + X5 + X6 + X7 =
        , <del>(</del>3)
         10)
               X8 + X9 + X10 =
" END "
```

END

INTEGER-VARIABLES=

```
21.5000000
 VAR LABLE
                   VALUE.
                                   REDUCED CUST
                    1.000,000
                                       57.000000
        ХI
        XZ
                    F.000000
                                       -44.000000
        XЗ
                     .000000
                                       41.000000
        X4
                      .000000
                                       -31.000000
        XЫ
                    1.000000
                                       52.000000
                     .000000
        ХE
                                       ~47.000000
        X /
                     .000000
                                      -42.000000
        ΧA
                    1.000000
                                       -40.000000
                     .000000
                                      ~43.000000
                     .000000
       XIQ
                                       -27.000000
       X17
                     .000000
                                         2.000000
       X12
                     .800000
                                          .000000
       X13
                     .000000
                                          .000000
       X14
                                          .000000
                     .000000
       X15
                     .000000
                                          .000000
                     .300000
                                          .000000
       X18
                      .000000
                                          .000000
       X19
                    2.800000
                                          .000000
       X50
                    1.700000
                                          .000000
       X21
                     .900000
                                          .000000
       X55
                      .000000
                                          .000000
       X11
                                          :000000
                  448.00000
                                     DUAL PRICES
       ROW
             SLACK OR SURPLUS
        2) -
                     .000000
                                        -1.000000 ,
        3)
                     :000000
                                        -5.000000
                     · 000000
        5)
                      .000000
                                        -4.000000
        6)
                     .000000
                                        -2.000000
        7)
                                        -1.000000
                     .000000
        8)
                      .000000
                                        . .000000
        9)
                     .000000
                                          .000000
       10)
                      .000000
                                          .000000
NO. ITERATIONS - P O
BRANCHES=
              1 DE/TERM= -1.000E
         2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16 - X18 - 5 X19 - 4 X20
     - 2 X21 - X22
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 338 X7
      + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                           5500
        3) · 5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X6 + 4 X9
      + 4^{\circ} X10 + X12 - X18 = 0 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
        4)
      + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                               10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
      + 3 X10 + X15 - X21 =
                                9.1
             3 \times 1 + 3 \times 2 + 4 \times 3 + 4 \times 4 + 3 \times 5 + 3 \times 6 + 3 \times 7 + 4 \times 8 + 4 \times 9
      + 3 \times 10 + \times 16 - \times 22 =
                                 10.3
        8) - X1 + X2 + X3 = 1
9) - X4 + X5 + X6 + X7 =
             X8 + X9 + X10 =
```

10

DELL'ESE L'ONCLEON AUTOR

```
24.5000000
                                    REDUCED COST
 ATHREA MIN
                   ソロにりに
                    1.000000
                                      -57.000000
        Χĵ
                                      -- 44.000000
                     .000000
        Χ2
                                      -41.000000
                     .000000
        ŁX
        X4
                     . 000000
                                      -31.000000
        ХU
                    1.000000
                                      - 52.000000
                    --. 000000
                                      -47.000000
        ·Xt
        X/
                     .000000
                                      - 42.000000
                                      -40.000000
        Хß
                     .000000
                                      -43.000000
        ХÝ
                    1.000000
       XLO
                     .000000
                                      -27,000000
                    .. 000000
                                        2.000000
       X15
                                         .000000
                     . 000000
                                         .000000
                     .000000
       X13
                     .000000
                                          .000000
       X14
                                          .000000
       X15
                     .000000
       XIB
                     . 300000
                                          .000000
       X18
                    2.200000
                                          .000000
                                         .000000
                    2.800000
       X13
       X20
                     .700000
                                        $.000000
       X21
                    2.900000
                                         .000000
                     .000000
       X55
                                         .000000
       X11
                  258.000000
                                         .000000
       ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                   . DUAL PRICES
                                         .000000
        5)
                     .000000
        3)
                     .000000
                                       -1.000000
                                       -5.000000
        4)
                     .000000
                                       - 4.000000
        5)
                     .000000
                    4-000000
                                       -2.000000
        7)
                                       -1.000000
                                         .000000%
        B)
                     .000000
                                         .000000
       9)
                     .000000
                                         .000000
       10)
                     .000000
NO. ITERATIONS=
             O DETERM= 1.000E 00
BRANCHES=
        2 X17 + X12 + 5 X13 + 4 X14 + 2 X15 + X16 - X18 - 5 X19 - 4 X20
     - 5 X51 - X55
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                          6000
       3)
            5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 8 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 \times 10 + \times 12 - \times 18 = 10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 = 10.2
     5) 4 X1 + 3, X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6°+ 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
+ X10 + X14 - X20 = 9.3
     6) 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
+ 3 X10 + X15 - X21 = 9.1
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
     + 3 X10 + X16 - X22 =
                                 10.3
             X1 + X2 + X3 =
       8)
                                 1
             X4 + X5 + X6 + X7 ==
       9)
      10)
             X8 + X9 + X10 =
```

```
- 24.5000000
                  JUMBAY
                                   REDUCED COST
       Хĵ
                    1.000000
                                     -57.000000
       X5
                     .000000.
                                      44.000000
                     .000000
                                     -41.000000
        X 4
                     .000000
                                     -31.00000
                    1.000000
                                     -58.000000
                     .000000
                                     -47.000000
                     .000000
                                     -42.000000
        XB
                     .000000
                                     -40.000000
        x9
                    1.000000
                                     ~43.00000¢
      X10
                     .000000
                                     -27.00000b
      817
                     .000000
                                       5.000000
      X12
                                        .000000
                     .000000
      X 1'3
                    .000000
                                         .000000
                                         .000000
      X14
                     .000000
                                         .000000 4
      X15
                     .000000
      X16
                     .300000
                                         .000000
      X18
                    2.200000
                                         .000000
                                         .000000
      X19
                    2.800000
      X20
                     . /00000
                                         .000000
      X21
                    2.900000
                                        .000000
      X22
                                        .000000
                     . 500000
      X11
                  758.000000 h
                                        .000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
                                        .000000
       2)
                     .000000
       3) 0
                    .000000
                                      -1.000000
                                      -5.000000
       4)
                     .000000
       5)
                     .000000
                                      -4.000000
                                      -2, 000000
       6)
                     .000000
       7)
                                      -1,000000
                     .000000
       8)
                     .000000
                                        .000000
       9)
                     .000000
                                         .000000
      10)
                     .000000
                                         .000000
NO. TIERATIONS=
BRANCHES=
              O DETERM= 1.000E 0
       12 \times 17 + \times 12 + 5 \times 13 + 4 \times 14 + 2 \times 15 + \times 16 - \times 16 - 5 \times 19 - 4 \times 20
     - 5 XS1 - XSS
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 +,339 X7
                                                         6500.
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
       3)
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 X10 + X12 - X18 ==
                                10.8
             5 X1 + 4 X2 + 3, X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 X10 + X13 - X19 =
                                ,10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 -+ 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     + X10 + X14 - X20 = . 9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
                                9.1.
     + 3 X10 + X15 - X21 =
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
     + 3 X10 + X16 - X22 =
                                 10.3
             X1' + X2 + X3 =
       8)
            X4 + X5 + X6 + X7
       3)
             X8 + X9 + X10 =
END
```

```
2.59999800
                                   REDUCED COST
 VARTABLE
                   VALUE
                     .000000
                                      -48.000000
        X 1
                     .000000
                                      -43.000000
        K2
                                     -53.000000
        ХJ
                    1.000000
                                     -50.000000
        X4
                     .000000
                     .000000
                                     -46.000000
       XЪ
                                     -45.000000
       XЬ
                     .000000
       X 2
                    1.000000
                                    ·-42.000000
                    1.000000
        ΧB
                                     -50.000000
       XУ
                     .000000
                                     -54.000000
      XIO
                     .000000
                                     -40.000000
      X-1 7
                     .000000
                                       1.000000
      X12
                   2.800000
                                        .000000
      X13
                     . 500000
                                        .000000
      X14
                     .000000
                                        .000000
      X15
                   2.100000.
                                        .000000
      X16
                    ..000000
                                        .000000
      X18
                     .000000
                                        .000000
                     .000000
      X19
                                        .000000
                     . (00000
                                        .000000
      X20
      X21
                     .000000
                                         ....
      X25
                     .700000
                                        .000000
      X11
                 120.000000
                                        .000000
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
       2)
                     .000000
                                        .000000
                   .000000
       3)
                                      ÷1.000000
                     .000000
                                      -1.000000 -
       4)
       5)
                                      -1.000000
                     .000000
       6)
                    .000000
                                      -1.000000
       1)
                    .000000
                                      10.000000
       8)
                     .000000
                                        .000000
       3)
                                        .000000
                     .000000
      10)
                                        .000000
                    .000000
NO. 11ERATIONS=
              5 DETERM= 1.000E
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + 10 X16 - X18 - X19 - X20 - X21
    -- 10 X22
SUBJECT TO
             360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140.X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + \cdotX11 =
                                                         5000
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 X10 + X12 - X18 #
                               10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
      2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                                10.2
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
      5)
                              9.3
     + X10 + X14 - X20 =
             4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
       6)
      3 \times 10 + \times 15 - \times 21 = 9.1
       7)
             3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
     + 3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
       8)
            X1 + X2 + X3 =
             X4 + X5 + X6 + X7 =
       9)
            X8 + X9 + X10 = \frac{1}{2}
INTEGER-VARIABLES=
```

```
J)
             .6.59999800
 VARIABLE
                   VALUE
                                   REDUČED COST
       . X1
                     1000000
                                      -48.000000
       %2
                     .000000
                                      -43,000000
        XЗ
                    1.000000
                                     -53.000000
        X 4
                     .000000
                                     -50.000000
        X5
                    1.000000
                                     - 46.000000
        ХЬ
                     .000000
                                     -45.000000
        x /
                     .000000
                                     2-42.000000
        XB
                    1.000000
                                      -50.000000
                     .000000
        XЭ
                                      54.000000
       X10
                     .000000
                                     -40.000000
                     .000000
                                      1.000000
       X12
                    1.800000
       X13
                     .000000
                                        .000000
       X14
                     .000000
                                        .000000
      X15
                     .100000
                                        .000000
       X16
                     .000000/
                                        .000000
      X18
                     .000000
                                        .000000
      X19
                     .800000
                                        .000000
      X50
                     .700000
                                         .000000
                    ..000000
      X21
                                        .000000
                                        .000000
      X55
                     .700000
       X11
                  338.000000
                                         .00<u>00</u>00
      ROW
             SLACK OR SURPLUS
                                    DUAL PRICES
       2)
                    1000000
                                        .000000
                     .000000
        Έ,
                                      -1.000000
        4)
                     .000000
                                      -1.000000
        5)
                     .000000
                                       ~1.000000
                                      `-1.000000
        6)
                     .000000
        7)
                     .000000
                                      -10.000000
        8)
                     .000000
                                        .000000
       分)
                     .000000
                                        .000000
       10)
                     .000000
                                         .000000
NO. ITERATIONS=
              2 DETERM= -1.000E
BRANCHES=
        X17 -x, X12 + X13 + X14 + X15 + 10 X16 - X18 - X19 - X20 - X21
    - 10 X22
SUBJECT TO
       2)
             360 X1 + 558 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                         5500
             5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
    + 4 X10 + X12 - X18 =
             5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 6 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 = 10.2
       5) · 4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9
     + X10 + X14 - X20 =
                              9.3
             4 X1 + 3 X2 + 3 $3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
     + 3 X10 + X15 - X21 =
                                9. i
            3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       7)
      + 3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
       8)
            \times1 + \times2 + \times3 =
       9)
             X4 + X5 + X6 + X7 =
             X8 + X9 + X10 =
END
```

OBJECTIVE LONCITON NAMEDE

```
-10.6000000
                                 "REDUCED COST
 UNKLABLE .
                 UNLUE
                   4.000000
                                   -48.000000
       X1
                    .000000
                                    -43.00Q000
       ХS
                                   7-53,000000
                   1.000000
       XЗ
                                    -50.000000
                    .000000
                                   ·-46.000000
                   1.000000
       k6
                    .000000
                                    -45.000000
                                    -42.900000
       X71
                    .000000
                                    -50.000000
                    .000000
       ХB
                                    -54.000000
       xЭ
                   1.000000
      X10
                                    -40.000000
                    .000000
                    .000006
                                      1.000000
      X17
      Ķ12
                                       .000000
                    .000000
                                       .000000
      X13
                    .000000
                    .300000
                                       .000000
      X14
                    .000000
                                       .000000
      X15
                                       .000000
                    .000000
      X16
                                       .000000
                   1.200000
      XI8
                    .800000
                                       .000000
      X19
                                       .000000
      X20
                    .. 000000
      XSS
XS
                                       . 150000
                   0000000.1
                                       .000000
                    .. 700000
                                       .000000
      X,1 1-
                 208.000000
                                   DUAL PRICES
            SLACK OR SURPLUS
      KOW
                                       .000000
                   ,.000000
                    .000000 ..
                                     -1.000000
       3)
                    .000000
                                     -1.000000
       4)
                    .000000
                                     -1.000000
       5)
                                    '-1.000000
       6).
                    .000000
                                    -10.000000
                    .000000 -
       7)
                                      .000000
                    .000000
       8)
                                     .000000
                    .000000
       4)
                                        .000000
                    .000000
      10)
NU. ITERATIONS# '
             2-DETERM= 1.000E
BRANCHES=
        X17 + X12 + X13 + X14 + X15 + 10 X16 - X18 - X19 - X20
MIN
     - 10 X22 ;
SUBJECT TO
            360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7
       2)
     + 4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 =
                                                        6000
            5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X7 + X8 + 4 X9
     + 4 X10 + X12 - X18 =
                               10.8
            5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9
       4)
     + 2 \times 10 + \times 13 - \times 19 =
                               10.2
            4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 +-4 X8 + 3 X9
                              9.3
     4 X1 + 3 X2 + 3 X3 + X4 + 4 X5 + 4 X6 + 2 X7 + 2 X8 + 4 X9
       3 X10 + X15 - X21 =
                               9.1
            3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6/+ 3 X7 + 4 X8 + 4 X9
       7)
       3 X10 + X16 - X22 =
                                10.3
            X1' + X2 + X3 =
       8)
```

X4 + X5 + X6 + X7 = X8 + X9 + X10 =

OBLECTIVE LANCITON AUTHE

--14.6000000

```
REDUCED COST
            VALUE
              .000000
                               -48.000000
 X 1
               .000000
                               -43.000000
 XE
             1.000000
                               -53.000000
 хз
 X4
            . 1.000000
                               -50.000000
               .000000
                               -46.000000
 X5
               .000000
                               -45.000000
 X6
               .000000
                               -42,000000
 x 7
               .000000
                               ~50.000000
 X8
                               -54.000000
 X9
             1.000000
                               -40.000000
               .000000
XIO
               .000000
                                 1.000000
X1/
                                  . . 000000
X12
               .000000
                                   .000000
X13
              3.200000
               .000000
                                   .000000
X14
                                   .000000
              1.100000
X15
                                   .000000
X16
               .000000
                                   .000000
              1.200000
X18
                                   .000000
XIF
               .000000
               .700000
                                   .000000
X50
                                   .000000
               2000000
X21
              1.700000
                                   .000000
*X55
                                   .000000
X11
           156.000000
       SLACK OR SURPLUS
                              DUAL PRICES
ROW
                                   .000000.
               .000000
. 2)
```

```
-1.000000
               .000000
 3)
                                 -1.000000
               .000000
 4)
                                 -1.000000
               .000000
 5)
              ...000000
                                 -1.000000
 6)
                                -10.000000
×7)
               .000000
                                   .000000
               .000000
 8)
                                   .000000
 9)
               .000000
                                   -000000
10)
               -000000
```

NO. ITERATIONS= 0 DETERM= -1.000E 0 ERANCHES=

 $x_{17} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{10} + x_{16} - x_{18} - x_{19} - x_{20} - x_{21}$ - 10 X22

SUBJECT TO 360 X1 + 552 X2 + 410 X3 + 1104 X4 + 552 X5 + 897 X6 + 330 X7 2) +'4140 X8 + 4830 X9 + 3810 X10 - X17 + X11 = 6500

5 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 4 X5 + 4 X6 + 3 X/ + X8 + 4 X9.

 $4' \times 10 + \times 12 - \times 18 = 10.8$

5 X1 + 4 X2 + 3 X3 + X4 + 5 X5 + 4 X6 + 4 X7 + 3 X8 + 3 X9 4) 2 X10 + X13 - X19' = 10.2

4 X1 +-3 X2 + 3 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 3 X9 $x_{10} + x_{14} - x_{20} = x_{3.3}$ 6) $x_{10} + x_{10} + x_{20} + x_{20} + x_{30} + x_{40} + x_{50}

3 X10 + X15 - X21 = 9.1 7) 3 X1 + 3 X2 + 4 X3 + 4 X4 + 3 X5 + 3 X6 + 3 X7 + 4 X8 + 4 X9 3 X10 + X16 - X22 = 10.3

X1 + X2 + X3 =8)

X4 + X5 + X6 + X7 = 9)

10) x8 + x9 + x10 =