

**Guido Venturini**

---

**From:** Jean-Pierre Samson <JPSamson@cegerco.com>  
**Sent:** January 23, 2013 3:29 PM  
**To:** Venturini Guido  
**Cc:** Ghislain Fortin  
**Subject:** RE : ORGCHART MUSKRAT FALLS 18\_12 rev GV.xls  
**Attachments:** ORGCHARTMUSKRAT rev CEGERCO.xls; 505573-CH0007-51AF-I-2111\_03Cegerco(1).xlsx; CNRC - PRODUCTIVITE DANS CONSTRUCTION.pdf

Bonjour,

Je vous transmets les documents que nous avons révisés ainsi qu'un document fort utile pour évaluer la productivité en période hivernale (pages 22 à 28). Les heures des conditions générales sur le BOC ont été validées à partir de l'organisation chart. Les heures des activités ont été évaluées à partir notre travail avec Vittorio ainsi que les données de projets exécutés dans des conditions semblables. Les heures des sous-traitants en acier armature et structure sont incluses dans le BOC.

Bonne journée

Jean-Pierre Samson

---

**De :** Venturini Guido [g.venturini@astaldi.com]

**Date d'envoi :** jeudi 17 janvier 2013 16:52

**À :** Jean-Pierre Samson

**Objet :** ORGCHART MUSKRAT FALLS 18\_12 rev GV.xls

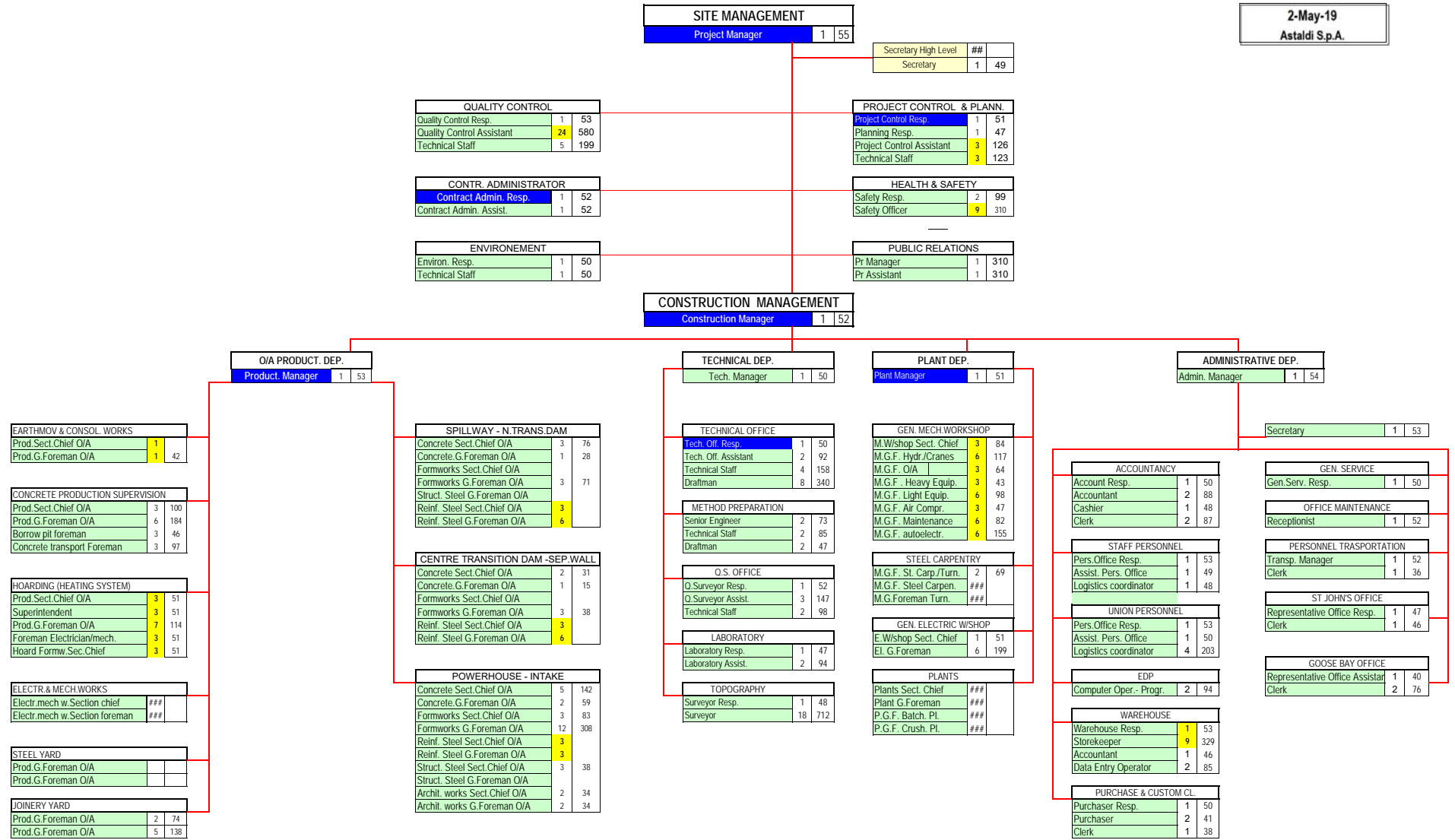
--

This message has been scanned by [LastSpam](#) e-mail security service.

Ce message a été vérifié par le service de sécurité pour courriels [LastSpam](#).

MUSKRAT FALLS (CANADA)  
ORGANIZATION CHART

2-May-19  
Astaldi Sp.A.



Nationality	Peak M/m	Average Man/months
Expatriate Italian	6	5
Canadian staff	213	132

VEHICLES	##
Hard top 4 x 4	11
Sedan car	
Pick up	93

Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS	VEHICLES			Total Men / Months					2010			2013				2014												2015									
	Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
				I	II	III	Staff	Work.																												S	O
<b>MANAGEMENT</b>																																					
<b>Site Agent</b>																																					
02000		1		55																																	
01340	Site Agent (Project Manager)																																				
01340	Secretary High Level																																				
01345	Secretary																																				
1005	Asst Project manager																																				
<b>Construction Manager</b>																																					
02005	Production Manager		1	55																																	
01340	Secretary High Level																																				
01345	Secretary																																				
1000	Asst const. Manager																																				
<b>Quality control</b>																																					
01170	Quality Control Responsible		1																																		
01175	Quality Control Assistant		6																																		
01197	Technical Staff																																				
00220	G/S Driver Light Vehicle																																				
<i>Quality control for concrete by engeneer and supplier</i>																																					
<b>Contract Administrator</b>																																					
02160	Contract Adm. Responsible		1	52																																	
01165	Contract Adm. Assistant																																				
<b>Project Control &amp; Planning</b>																																					
01180	Project Control Responsible (Cost & Sched.)		1																																		
01150	Planning Responsible		1																																		
01185	Project Control Assistant																																				
01197	Technical Staff																																				
<b>Public Relations</b>																																					
01370	Representative Office Responsible		1																																		
01375	Representative Office Assistant																																				
<b>Health &amp; Safety</b>																																					

Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS	VEHICLES			Total Men / Months					2010			2013				2014												2015										
	Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
				I	II	III	Staff	Work.																														
01260 Safety Responsible			1				99																															
01265 Safety Officer			2				310																															
01197 Technical Staff																																						
01345 Secretary																																						
00220 G/S Driver Light Vehicle																																						
<b>Environment</b>																																						
01365 Engineer			1				50																															
01197 Technical Staff			1				50																															
<b>Total Management</b>	<b>Exp. I</b>		4	13	107									1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
	<b>Exp. II</b>																																					
	<b>Exp. III</b>																																					
	<b>Loc. Staff</b>						1,923							3	4	10	18	23	27	38	39	40	44	49	49	49	49	49	49	49	49	46	46	46	46	46	46	
	<b>Loc. Work.</b>																																					
<b>TECH. DEPARTMENT</b>																																						
<b>Technical management</b>																																						
02015 Technical Manager		1			50																																	
00220 G/S Driver Light Vehicle																																						
<b>Technical Office</b>																																						
01100 Tech. Office Responsible			1				50																															
01105 Tech. Office Assistant							92																															
01197 Technical Staff							158																															
01110 Draftman/CAD Operator (Draftman)							340							1	1	2	2	4	4	4	4	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
<b>Method preparation</b>																																						
01360 Senior Engineer			2				73							1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
01197 Technical Staff							85							1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
01110 Draftman/CAD Operator (Draftman)							47							1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
Quantity Surveyor																																						

Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS	VEHICLES			Total Men / Months					2010			2013				2014								2015													
	Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
				I	II	III	Staff	Work.																												S	O
01140 Qty. Surveyor Responsible			1				52																														
01145 Qty. Surveyor Assistant							147																														
01197 Technical Staff							98																														

Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS	VEHICLES			Total Men / Months					2010			2013				2014												2015										
	Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
				I	II	III	Staff	Work.																														
<b>Laboratory</b>																																						
01130 Laboratory Responsible			1				47																															
01137 Laboratory Assistant			1				94																															
<b>Surveyors</b>																																						
01120 Surveyor Responsible			1				48																															
01125 Surveyor			3				712																															
<b>Total Tech. Depart.</b>																																						
Exp. I		1	10	50																																		
Exp. II																																						
Exp. III																																						
Loc. Staff							2,043								2	4	11	17	21	26	27	31	39	44	44	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
Loc. Work.																																						
<b>ADMIN. DEPARTMENT</b>																																						
<b>Adminstr. management</b>																																						
02010 Administrative Manager		1		54																																		
01345 Secretary							53																															
00220 G/S Driver Light Vehicle																																						
<b>Accounting</b>																																						
01200 Accountant Responsible			1				50																															
01205 Accountant							88																															
01207 Cashier (Cajero)							48																															
01330 Clerk (Insur.)							87																															
<b>STAFF Personnel Office</b>																																						
01230 Personnel Office Responsit (Chief Pers.)		1					53																															
01235 Personnel Office Assistant							49																															
01330 Clerk							48																															
<b>UNION Personnel Office</b>																																						
01230 Personnel Office Responsit (Chief Pers.)		1					53																															
01235 Personnel Office Assistant							50																															



Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS		VEHICLES			Total Men / Months				2010			2013				2014											2015																									
		Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24												
					I	II	III	Staff	Work.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A								
00210	G/S Skilled (Tea/coffee/soup)			1					47											1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Personnel transportation																																																				
01330	Clerk (Transp.Man.)			1				52												1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
01330	Clerk							36															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
00225	G/S Driver Heavy Vehicle (Bus) Bus Drivers (2 hrs/day X 2 shift X double time)																																																			
St John's Representative Office																																																				
01370	Representative Office Responsible		1					47																	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
01330	Clerk							46																1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Goose bay Representative Office																																																				
01375	Representative Office Assistant		1					40																1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
01330	Clerk							76																2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Total Adm. Dept.	Exp. I		5	11	54															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Exp. II																																																			
	Exp. III																																																			
	Loc. Staff							1,917																4	10	18	21	28	28	33	36	41	42	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
	Loc. Work.							523																5	6	9	9	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			
<b>PROD. DEPARTMENT</b>																																																				
<b>Production Management</b>																																																				
<b>Civil Works</b>																																																				
02005	Production Manager			1	53															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
00220	G/S Driver Light Vehicle																																																			
01005	Asst Production manager			1				32																	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
<b>Earthworks &amp; Consolidation</b>																																																				
01042	Prod. Section Chief O/A																																																			
01081	Prod. Gen. Foreman O/A			1				42																																												





Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS				VEHICLES			Total Men / Months				2010			2013				2014								2015																											
				Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	2013				2014								2015																										
							I	II	III	Staff	Work.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A							
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	borrw pit		1						46																																											
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	transport		1						97																																											
<b>Concrete Hoarding</b>																																																					
01042	Prod. Section Chief O/A			1						51																																											
01030	Mech. W/shop Section Chief			1						51																																											
01081	Prod. Gen. Foreman O/A			1						114																																											
01055	Elec. W/shop Gen. Foreman O/A									51																																											
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	f.works								51																																											
<b>STEEL &amp; JOINERY YARD</b>																																																					
<b>Steel Yard</b>																																																					
01081	Prod. Gen. Foreman O/A																																																				
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	(Steel)																																																			
<b>Joinery Yard</b>																																																					
01081	Prod. Gen. Foreman O/A			2						74																																											
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	(Joinery)		2						138																																											
00210	G/S Skilled										1,440																																										
<b>E.M. EQUIPMENT COORD. &amp; SUPERV.</b>																																																					
01365	Engineer																																																				
01081	Prod. Gen. Foreman O/A																																																				
01365	Engineer	(Ing. Electrom.)																																																			
00220	G/S Driver Light Vehicle																																																				
<b>Total Prod. Depart.</b>																																																					
<b>Exp. I</b>						48	53																																														
<b>Exp. II</b>																																																					
<b>Exp. III</b>																																																					
<b>Loc. Staff</b>										2,026																																											
<b>Loc. Work.</b>											1,440																																										
<b>PLANT DEPARTMENT</b>																																																					
<b>Plant Management</b>																																																					
02020	Plant Manager			1			51																																														

Canada - Muskrat Falls

DESCRIPTIONS	VEHICLES			Total Men / Months					2010			2013				2014												2015											
	Sed.	H.top	P/Up	Expatr.			Locals		-10	-9	-8	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A				
				I	II	III	Staff	Work.																															
00220 G/S Driver Light Vehicle																																							
01021 asst plant manager																																							
<b>General Mechanical Workshop</b>																																							
01030 Mech. W/shop Section Chief			1																																				
00210 G/S Skilled (Hydr./Crane)			1																																				
00210 G/S Skilled (Pump)			1																																				
00210 G/S Skilled (Heavy Equip.)			1																																				
00210 G/S Skilled (Light Equip.)			1																																				
00210 G/S Skilled (Air Compr.)			1																																				
00210 G/S Skilled (Mainten.)			1																																				
00210 G/S Skilled (bus, pick-up etc.)																																							
<b>Steel Carpentry</b>																																							
00210 G/S Skilled (Carp./Turn.)			1																																				
01050 Mech. W/shop Gen. Forem. (Steel Carp.)																																							
01050 Mech. W/shop Gen. Forem. (Turn.)																																							
<b>General Electric Workshop</b>																																							
01035 Elec. W/shop Section Chief			1																																				
00210 G/S Skilled			2																																				
Plants <b>in production</b>																																							
01040 Plant Section Chief																																							
01070 Plant Gen. Foreman																																							
01070 Plant Gen. Foreman (Batch.Plant)																																							
01070 Plant Gen. Foreman (Aggr.Plant)																																							



Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
00001		O/A Unskilled	HR			0.000		0.000
00005		O/A Semiskilled	HR			0.000		0.000
00010		O/A Skilled	HR			0.000		0.000
00015		O/A High Skilled	HR			0.000		0.000
00020		O/A Driver Light Vehicle	HR			0.000		0.000
00025		O/A Driver Heavy Vehicle	HR			0.000		0.000
00030		O/A Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00035		O/A Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
00040		O/A Foreman	HR			0.000		0.000
00101		U/G Unskilled	HR			0.000		0.000
00105		U/G Semiskilled	HR			0.000		0.000
00110		U/G Skilled	HR			0.000		0.000
00115		U/G High Skilled	HR			0.000		0.000
00120		U/G Driver Light Vehicle	HR			0.000		0.000
00125		U/G Driver Heavy Vehicle	HR			0.000		0.000
00130		U/G Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00135		U/G Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
00140		U/G Foreman	HR			0.000		0.000
00151		U/G TBM Unskilled	HR			0.000		0.000
00155		U/G TBM Semiskilled	HR			0.000		0.000
00160		U/G TBM Skilled	HR			0.000		0.000
00165		U/G TBM High Skilled	HR			0.000		0.000
00170		U/G TBM Driver Light Vehicle	HR			0.000		0.000
00175		U/G TBM Driver Heavy Vehicle	HR			0.000		0.000
00180		U/G TBM Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00185		U/G TBM Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
00190		U/G TBM Foreman	HR			0.000		0.000
00201		G/S Unskilled	HR			0.000		0.000
00205		G/S Semiskilled	HR			0.000		0.000
00210		G/S Skilled	HR			0.000		0.000
00215		G/S High Skilled	HR			0.000		0.000
00220		G/S Driver Light Vehicle	HR			0.000		0.000
00225		G/S Driver Heavy Vehicle	HR			0.000		0.000
00230		G/S Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00235		G/S Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
00240		G/S Foreman	HR			0.000		0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
00301		W/S Unskilled	HR			0.000		0.000
00305		W/S Semiskilled Mechanic	HR			0.000		0.000
00307		W/S Semiskilled Electrician	HR			0.000		0.000
00310		W/S Skilled Mechanic	HR			0.000		0.000
00313		W/S Skilled Electrician	HR			0.000		0.000
00315		W/S High Skilled Mechanic	HR			0.000		0.000
00317		W/S High Skilled Electrician	HR			0.000		0.000
00320		W/S Driver Light Vehicle	HR			0.000		0.000
00325		W/S Driver Heavy Vehicle	HR			0.000		0.000
00330		W/S Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00335		W/S Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
00340		W/S Foreman Mechanic	HR			0.000		0.000
00343		W/S Foreman electrician	HR			0.000		0.000
00401		S/C Unskilled	HR			0.000		0.000
00405		S/C Semiskilled	HR			0.000		0.000
00410		S/C Skilled	HR			0.000		0.000
00415		S/C High Skilled	HR			0.000		0.000
00420		S/C Skilled Mechanic	HR			0.000		0.000
00425		S/C Skilled Electrician	HR			0.000		0.000
00430		S/C Operator Light Equip.	HR			0.000		0.000
00435		S/C Operator Heavy Equip.	HR			0.000		0.000
01000		Site Agent (Project Manager)	MM			0.000		0.000
01005		Production Manager	MM			0.000		0.000
01010		Administrative Manager	MM			0.000		0.000
01015		Technical Manager	MM			0.000		0.000
01020		Plant Manager	MM			0.000		0.000
01030		Mech. W/shop Section Chief	MM			0.000		0.000
01035		Elec. W/shop Section Chief	MM			0.000		0.000
01040		Plant Section Chief	MM			0.000		0.000
01042		Prod. Section Chief O/A	MM			0.000		0.000
01044		Prod. Section Chief U/G TBM	MM			0.000		0.000
01046		Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.	MM			0.000		0.000
01048		Prod. Section Chief S/C Sea Works	MM			0.000		0.000
01050		Mech. W/shop Gen. Foreman O/A	MM			0.000		0.000
01051		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM			0.000		0.000
01053		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM			0.000		0.000
01055		Elec. W/shop Gen. Foreman O/A	MM			0.000		0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
01057		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM			0.000		0.000
01059		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad.	MM			0.000		0.000
01060		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O/A	MM			0.000		0.000
01063		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM			0.000		0.000
01070		Plant Gen. Foreman	MM			0.000		0.000
01081		Prod. Gen. Foreman O/A	MM			0.000		0.000
01083		Prod. Gen. Foreman U/G TBM	MM			0.000		0.000
01085		Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM			0.000		0.000
01088		Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works	MM			0.000		0.000
01100		Tech. Office Responsible	MM			0.000		0.000
01105		Tech. Office Assistant	MM			0.000		0.000
01110		Draftman/CAD Operator	MM			0.000		0.000
01120		Surveyor Responsible	MM			0.000		0.000
01125		Surveyor	MM			0.000		0.000
01127		Surveyor Assistant	MM			0.000		0.000
01130		Laboratory Responsible	MM			0.000		0.000
01135		Geologist	MM			0.000		0.000
01137		Laboratory Assistant	MM			0.000		0.000
01140		Qty. Surveyor Responsible	MM			0.000		0.000
01145		Qty. Surveyor Assistant	MM			0.000		0.000
01150		Planning Responsible	MM			0.000		0.000
01155		Planning Assistant	MM			0.000		0.000
01160		Contract Adm. Responsible	MM			0.000		0.000
01165		Contract Adm. Assistant	MM			0.000		0.000
01170		Quality Control Responsible	MM			0.000		0.000
01175		Quality Control Assistant	MM			0.000		0.000
01180		Project Control Responsible	MM			0.000		0.000
01185		Project Control Assistant	MM			0.000		0.000
01197		Technical Staff	MM			0.000		0.000
01200		Accountant Responsible	MM			0.000		0.000
01205		Accountant	MM			0.000		0.000
01207		Cashier	MM			0.000		0.000
01210		EDP Responsible	MM			0.000		0.000
01215		Computer Operat./Programmer	MM			0.000		0.000
01220		Cost Control Responsible	MM			0.000		0.000
01225		Cost Control Assistant	MM			0.000		0.000
01230		Personnel Office Responsible	MM			0.000		0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
01235		Personnel Office Assistant	MM			0.000		0.000
01240		Warehouse Responsible	MM			0.000		0.000
01245		Storekeeper	MM			0.000		0.000
01250		Purchasing Responsible	MM			0.000		0.000
01255		Purchaser	MM			0.000		0.000
01260		Safety Responsible	MM			0.000		0.000
01265		Safety Officer	MM			0.000		0.000
01270		Security Responsible	MM			0.000		0.000
01275		Security Officer	MM			0.000		0.000
01280		Gen. Services Responsible	MM			0.000		0.000
01285		Camp Supervisor	MM			0.000		0.000
01287		Teacher	MM			0.000		0.000
01290		Doctor	MM			0.000		0.000
01295		Nurse	MM			0.000		0.000
01300		Senior Cook	MM			0.000		0.000
01305		Cook	MM			0.000		0.000
01310		Cook Helper	MM			0.000		0.000
01320		Telephone operator	MM			0.000		0.000
01325		Data entry operator	MM			0.000		0.000
01330		Clerk	MM			0.000		0.000
01335		Timekeeper	MM			0.000		0.000
01340		Secretary High Level	MM			0.000		0.000
01345		Secretary	MM			0.000		0.000
01350		Interpreter High Level	MM			0.000		0.000
01355		Interpreter	MM			0.000		0.000
01360		Senior Engineer	MM			0.000		0.000
01365		Engineer	MM			0.000		0.000
01370		Representative Office Responsible	MM			0.000		0.000
01375		Representative Office Assistant	MM			0.000		0.000
02000		Site Agent (Project Manager)	MM		0.000			0.000
02005		Production Manager	MM		0.000			0.000
02010		Administrative Manager	MM					0.000
02015		Technical Manager	MM					0.000
02020		Plant Manager	MM					0.000
02030		Mech. W/shop Section Chief	MM					0.000
02035		Elec. W/shop Section Chief	MM					0.000
02040		Plant Section Chief	MM					0.000



Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
02042		Prod. Section Chief O/A	MM					0.000
02044		Prod. Section Chief U/G TBM	MM					0.000
02046		Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.	MM					0.000
02048		Prod. Section Chief S/C Sea Works	MM					0.000
02050		Mech. W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
02051		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
02053		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM					0.000
02055		Elec. W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
02057		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
02059		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad.	MM					0.000
02060		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
02063		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
02070		Plant Gen. Foreman	MM					0.000
02081		Prod. Gen. Foreman O/A	MM					0.000
02083		Prod. Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
02085		Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM					0.000
02088		Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works	MM					0.000
02100		Tech. Office Responsible	MM					0.000
02105		Tech. Office Assistant	MM					0.000
02110		Draftman/CAD Operator	MM					0.000
02120		Surveyor Responsible	MM					0.000
02125		Surveyor	MM					0.000
02127		Surveyor Assistant	MM					0.000
02130		Laboratory Responsible	MM					0.000
02135		Laboratory Geologist	MM					0.000
02137		Laboratory Assistant	MM					0.000
02140		Qty. Surveyor Responsible	MM					0.000
02145		Qty. Surveyor Assistant	MM					0.000
02150		Planning Responsible	MM					0.000
02155		Planning Assistant	MM					0.000
02160		Contract Adm. Responsible	MM					0.000
02165		Contract Adm. Assistant	MM					0.000
02170		Quality Control Responsible	MM					0.000
02175		Quality Control Assistant	MM					0.000
02180		Project Control Responsible	MM					0.000
02185		Project Control Assistant	MM					0.000
02197		Technical Staff	MM					0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
02200		Accountant Responsible	MM					0.000
02205		Accountant	MM					0.000
02207		Cashier	MM					0.000
02210		EDP Responsible	MM					0.000
02215		Computer Operat./Programmer	MM					0.000
02220		Cost Control Responsible	MM					0.000
02225		Cost Control Assistant	MM					0.000
02230		Personnel Office Responsible	MM					0.000
02235		Personnel Office Assistant	MM					0.000
02240		Warehouse Responsible	MM					0.000
02245		Storekeeper	MM					0.000
02250		Purchasing Responsible	MM					0.000
02255		Purchaser	MM					0.000
02260		Safety Responsible	MM					0.000
02265		Safety Officer	MM					0.000
02270		Security Responsible	MM					0.000
02275		Security Officer	MM					0.000
02280		Gen. Services Responsible	MM					0.000
02285		Camp Supervisor	MM					0.000
02287		Teacher	MM					0.000
02290		Doctor	MM					0.000
02295		Nurse	MM					0.000
02300		Senior Cook	MM					0.000
02305		Cook	MM					0.000
02310		Cook Helper	MM					0.000
02320		Telephone operator	MM					0.000
02325		Data entry operator	MM					0.000
02330		Clerk	MM					0.000
02335		Timekeeper	MM					0.000
02340		Secretary High Level	MM					0.000
02345		Secretary	MM					0.000
02350		Interpreter High Level	MM					0.000
02355		Interpreter	MM					0.000
02360		Senior Engineer	MM					0.000
02365		Engineer	MM					0.000
02370		Representative Office Responsible	MM					0.000
02375		Representative Office Assistant	MM					0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
03000		Site Agent (Project Manager)	MM					0.000
03005		Production Manager	MM					0.000
03010		Administrative Manager	MM					0.000
03015		Technical Manager	MM					0.000
03020		Plant Manager	MM					0.000
03030		Mech. W/shop Section Chief	MM					0.000
03035		Elec. W/shop Section Chief	MM					0.000
03040		Plant Section Chief	MM					0.000
03042		Prod. Section Chief O/A	MM					0.000
03044		Prod. Section Chief U/G TBM	MM					0.000
03046		Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.	MM					0.000
03048		Prod. Section Chief S/C Sea Works	MM					0.000
03050		Mech. W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
03051		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
03053		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM					0.000
03055		Elec. W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
03057		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
03059		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM					0.000
03060		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O/A	MM					0.000
03063		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
03070		Plant Gen. Foreman	MM					0.000
03081		Prod. Gen. Foreman O/A	MM					0.000
03083		Prod. Gen. Foreman U/G TBM	MM					0.000
03085		Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM					0.000
03088		Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works	MM					0.000
03100		Tech. Office Responsible	MM					0.000
03105		Tech. Office Assistant	MM					0.000
03110		Draftman/CAD Operator	MM					0.000
03120		Surveyor Responsible	MM					0.000
03125		Surveyor	MM					0.000
03127		Surveyor Assistant	MM					0.000
03130		Laboratory Responsible	MM					0.000
03135		Laboratory Geologist	MM					0.000
03137		Laboratory Assistant	MM					0.000
03140		Qty. Surveyor Responsible	MM					0.000
03145		Qty. Surveyor Assistant	MM					0.000
03150		Planning Responsible	MM					0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
03155		Planning Assistant	MM					0.000
03160		Contract Adm. Responsible	MM					0.000
03165		Contract Adm. Assistant	MM					0.000
03170		Quality Control Responsible	MM					0.000
03175		Quality Control Assistant	MM					0.000
03180		Project Control Responsable	MM					0.000
03185		Project Control Assistant	MM					0.000
03197		Technical Staff	MM					0.000
03200		Accountant Responsible	MM					0.000
03205		Accountant	MM					0.000
03207		Cashier	MM					0.000
03210		EDP Responsible	MM					0.000
03215		Computer Operat./Programmer	MM					0.000
03220		Cost Control Responsible	MM					0.000
03225		Cost Control Assistant	MM					0.000
03230		Personnel Office Responsible	MM					0.000
03235		Personnel Office Assistant	MM					0.000
03240		Warehouse Responsible	MM					0.000
03245		Storekeeper	MM					0.000
03250		Purchasing Responsible	MM					0.000
03255		Purchaser	MM					0.000
03260		Safety Responsible	MM					0.000
03265		Safety Officer	MM					0.000
03270		Security Responsible	MM					0.000
03275		Security Officer	MM					0.000
03280		Gen. Services Responsible	MM					0.000
03285		Camp Supervisor	MM					0.000
03287		Teacher	MM					0.000
03290		Doctor	MM					0.000
03295		Nurse	MM					0.000
03300		Senior Cook	MM					0.000
03305		Cook	MM					0.000
03310		Cook Helper	MM					0.000
03320		Telephone operator	MM					0.000
03325		Data entry operator	MM					0.000
03330		Clerk	MM					0.000
03335		Timekeeper	MM					0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
03340		Secretary High Level	MM					0.000
03345		Secretary	MM					0.000
03350		Interpreter High Level	MM					0.000
03355		Interpreter	MM					0.000
03360		Senior Engineer	MM					0.000
03365		Engineer	MM					0.000
03370		Representative Office Responsible	MM					0.000
03375		Representative Office Assistant	MM					0.000
04000		Site Agent (Project Manager)	MM		0.000			0.000
04005		Production Manager	MM		0.000			0.000
04010		Administrative Manager	MM		0.000			0.000
04015		Technical Manager	MM		0.000			0.000
04020		Plant Manager	MM		0.000			0.000
04030		Mech. W/shop Section Chief	MM		0.000			0.000
04035		Elec. W/shop Section Chief	MM		0.000			0.000
04040		Plant Section Chief	MM		0.000			0.000
04042		Prod. Section Chief O/A	MM		0.000			0.000
04044		Prod. Section Chief U/G TBM	MM		0.000			0.000
04046		Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.	MM		0.000			0.000
04048		Prod. Section Chief S/C Sea Works	MM		0.000			0.000
04050		Mech. W/shop Gen. Foreman O/A	MM		0.000			0.000
04051		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM		0.000			0.000
04053		Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM		0.000			0.000
04055		Elec. W/shop Gen. Foreman O/A	MM		0.000			0.000
04057		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM		0.000			0.000
04059		Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM		0.000			0.000
04060		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O/A	MM		0.000			0.000
04063		Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U/G TBM	MM		0.000			0.000
04070		Plant Gen. Foreman	MM		0.000			0.000
04081		Prod. Gen. Foreman O/A	MM		0.000			0.000
04083		Prod. Gen. Foreman U/G TBM	MM		0.000			0.000
04085		Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.	MM		0.000			0.000
04088		Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works	MM		0.000			0.000
04100		Tech. Office Responsible	MM		0.000			0.000
04105		Tech. Office Assistant	MM		0.000			0.000
04110		Draftman/CAD Operator	MM		0.000			0.000
04120		Surveyor Responsible	MM		0.000			0.000

Astaldi S.p.A. (Chile)			Basic resources codification				2-May-19	
Count	C	Description	Um	Cost Ex.F.	Ex.F. / Cif	Cost ex.F.	Inland Tra.	Total
				Imported		Local		
04125		Surveyor	MM		0.000			0.000
04127		Surveyor Assistant	MM		0.000			0.000
04130		Laboratory Responsible	MM		0.000			0.000
04135		Laboratory Geologist	MM		0.000			0.000
04137		Laboratory Assistant	MM		0.000			0.000
04140		Qty. Surveyor Responsible	MM		0.000			0.000
04145		Qty. Surveyor Assistant	MM		0.000			0.000
04150		Planning Responsible	MM		0.000			0.000
04155		Planning Assistant	MM		0.000			0.000
04160		Contract Adm. Responsible	MM		0.000			0.000
04165		Contract Adm. Assistant	MM		0.000			0.000
04170		Quality Control Responsible	MM		0.000			0.000
04175		Quality Control Assistant	MM		0.000			0.000
04180		Project Control Responsible	MM		0.000			0.000
04185		Project Control Assistant	MM		0.000			0.000
04197		Technical Staff	MM		0.000			0.000
04200		Accountant Responsible	MM		0.000			0.000
04205		Accountant	MM		0.000			0.000
04207		Cashier	MM		0.000			0.000
04210		EDP Responsible	MM		0.000			0.000
04215		Computer Operat./Programmer	MM		0.000			0.000
04220		Cost Control Responsible	MM		0.000			0.000
04225		Cost Control Assistant	MM		0.000			0.000
04230		Personnel Office Responsible	MM		0.000			0.000

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
00201	G/S Unskilled		306			
00205	G/S Semiskilled					
00210	G/S Skilled		921			
00215	G/S High Skilled					
00220	G/S Driver Light Vehicle					
00225	G/S Driver Heavy Vehicle		96			
00230	G/S Operator Light Equip.		74			
00235	G/S Operator Heavy Equip.					
00240	G/S Foreman					
<b>Total Local labour.</b>			<b>1,397</b>			
01000	Site Agent (Project Ma		40	-		
01005	Production Manager		43	-		
01010	Administrative Manager			-		
01015	Technical Manager			-		
01020	Plant Manager			-		
01030	Mech. W/shop Section Chief		135	-		
01035	Elec. W/shop Section Chief		51	-		
01040	Plant Section Chief			-		
01042	Prod. Section Chief O/A		555	-		
01044	Prod. Section Chief U/G TBM			-		
01046	Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.			-		
01048	Prod. Section Chief S/C Sea Works			-		
01050	Mech. W/shop Gen. Foreman O/A			-		
01051	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM			-		
01053	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.			-		
01055	Elec. W/shop Gen. Foreman O/A		51	-		
01057	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM			-		
01059	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad.			-		
01060	Electron. / Telecom. W/shop Gen. Foreman O			-		

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
01063	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U			-		
01070	Plant Gen. Foreman			-		
01081	Prod. Gen. Foreman O/A	1,337		-		
01083	Prod. Gen. Foreman U/G TBM			-		
01085	Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.			-		
01088	Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works			-		
01100	Tech. Office Responsible	50		-		
01105	Tech. Office Assistant	92		-		
01110	Draftman/CAD Operator	387		-		
01120	Surveyor Responsible	48		-		
01125	Surveyor	712		-		
01127	Surveyor Assistant			-		
01130	Laboratory Responsible	47		-		
01135	Geologist			-		
01137	Laboratory Assistant	94		-		
01140	Qty. Surveyor Responsible	52		-		
01145	Qty. Surveyor Assistant	147		-		
01150	Planning Responsible	47		-		
01155	Planning Assistant			-		
01160	Contract Adm. Responsible			-		
01165	Contract Adm. Assistant	44		-		
01170	Quality Control Responsible	53		-		
01175	Quality Control Assistant	580		-		
01180	Project Control Responsible	51		-		
01185	Project Control Assistant	126		-		
01197	Technical Staff	713		-		
01200	Accountant Responsible	50		-		
01205	Accountant	134		-		
01207	Cashier	48		-		
01210	EDP Responsible			-		



## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
01215	Computer Operat./Programmer		94	-		
01220	Cost Control Responsible			-		
01225	Cost Control Assistant			-		
01230	Personnel Office Responsible		106	-		
01235	Personnel Office Assistant		99	-		
01240	Warehouse Responsible		53	-		
01245	Storekeeper		329	-		
01250	Purchasing Responsible		50	-		
01255	Purchaser		41	-		
01260	Safety Responsible		99	-		
01265	Safety Officer		310	-		
01270	Security Responsible			-		
01275	Security Officer			-		
01280	Gen. Services Responsible		50	-		
01285	Camp Supervisor			-		
01287	Teacher			-		
01290	Doctor			-		
01295	Nurse			-		
01300	Senior Cook			-		
01305	Cook			-		
01310	Cook Helper			-		
01320	Telephone operator		52	-		
01325	Data entry operator		85	-		
01330	Clerk		586	-		
01335	Timekeeper			-		
01340	Secretary High Level		54	-		
01345	Secretary		150	-		
01350	Interpreter High Level			-		
01355	Interpreter			-		
01360	Senior Engineer		73	-		
01365	Engineer		50	-		

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
						10.1881
01370	Representative Office Responsible	99		-		
01375	Representative Office Assistant	90		-		
<b>Total Local Staff.</b>		<b>8,157</b>				
				€	€	\$
02000	Site Agent (Project Manager)	55				
02005	Production Manager	108				
02010	Administrative Manager	54				
02015	Technical Manager	50				
02020	Plant Manager	51				
02030	Mech. W/shop Section Chief					
02035	Elec. W/shop Section Chief					
02040	Plant Section Chief					
02042	Prod. Section Chief O/A					
02044	Prod. Section Chief U/G TBM					
02046	Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.					
02048	Prod. Section Chief S/C Sea Works					
02050	Mech. W/shop Gen. Foreman O/A					
02051	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
02053	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
02055	Elec. W/shop Gen. Foreman O/A					
02057	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
02059	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad.					
02060	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O					
02063	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U					
02070	Plant Gen. Foreman					
02081	Prod. Gen. Foreman O/A					
02083	Prod. Gen. Foreman U/G TBM					
02085	Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
02088	Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works					
02100	Tech. Office Responsible					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					10.1881	
02105	Tech. Office Assistant					
02110	Draftman/CAD Operator					
02120	Surveyor Responsible					
02125	Surveyor					
02127	Surveyor Assistant					
02130	Laboratory Responsible					
02135	Laboratory Geologist					
02137	Laboratory Assistant					
02140	Qty. Surveyor Responsible					
02145	Qty. Surveyor Assistant					
02150	Planning Responsible					
02155	Planning Assistant					
02160	Contract Adm. Responsible		52			
02165	Contract Adm. Assistant					
02170	Quality Control Responsible					
02175	Quality Control Assistant					
02180	Project Control Responsible					
02185	Project Control Assistant					
02197	Technical Staff					
02200	Accountant Responsible					
02205	Accountant					
02207	Cashier					
02210	EDP Responsible					
02215	Computer Operat./Programmer					
02220	Cost Control Responsible					
02225	Cost Control Assistant					
02230	Personnel Office Responsible					
02235	Personnel Office Assistant					
02240	Warehouse Responsible					
02245	Storekeeper					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					10.1881	
02250	Purchasing Responsible					
02255	Purchaser					
02260	Safety Responsible					
02265	Safety Officer					
02270	Security Responsible					
02275	Security Officer					
02280	Gen. Services Responsible					
02285	Camp Supervisor					
02287	Teacher					
02290	Doctor					
02295	Nurse					
02300	Senior Cook					
02305	Cook					
02310	Cook Helper					
02320	Telephone operator					
02325	Data entry operator					
02330	Clerk					
02335	Timekeeper					
02340	Secretary High Level					
02345	Secretary					
02350	Interpreter High Level					
02355	Interpreter					
02360	Senior Engineer					
02365	Engineer					
02370	Representative Office Responsible					
02375	Representative Office Assistant					
<b>Total European Staff.</b>		<b>370</b>				
03000	Site Agent (Project Manager)					
03005	Production Manager					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
03010	Administrative Manager					
03015	Technical Manager					
03020	Plant Manager					
03030	Mech. W/shop Section Chief					
03035	Elec. W/shop Section Chief					
03040	Plant Section Chief					
03042	Prod. Section Chief O/A					
03044	Prod. Section Chief U/G TBM					
03046	Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.					
03048	Prod. Section Chief S/C Sea Works					
03050	Mech. W/shop Gen. Foreman O/A					
03051	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
03053	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
03055	Elec. W/shop Gen. Foreman O/A					
03057	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
03059	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
03060	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O					
03063	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U					
03070	Plant Gen. Foreman					
03081	Prod. Gen. Foreman O/A					
03083	Prod. Gen. Foreman U/G TBM					
03085	Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
03088	Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works					
03100	Tech. Office Responsible					
03105	Tech. Office Assistant					
03110	Draftman/CAD Operator					
03120	Surveyor Responsible					
03125	Surveyor					
03127	Surveyor Assistant					
03130	Laboratory Responsible					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
03135	Laboratory Geologist					
03137	Laboratory Assistant					
03140	Qty. Surveyor Responsible					
03145	Qty. Surveyor Assistant					
03150	Planning Responsible					
03155	Planning Assistant					
03160	Contract Adm. Responsible					
03165	Contract Adm. Assistant					
03170	Quality Control Responsible					
03175	Quality Control Assistant					
03180	Project Control Responsible					
03185	Project Control Assistant					
03197	Technical Staff					
03200	Accountant Responsible					
03205	Accountant					
03207	Cashier					
03210	EDP Responsible					
03215	Computer Operat./Programmer					
03220	Cost Control Responsible					
03225	Cost Control Assistant					
03230	Personnel Office Responsible					
03235	Personnel Office Assistant					
03240	Warehouse Responsible					
03245	Storekeeper					
03250	Purchasing Responsible					
03255	Purchaser					
03260	Safety Responsible					
03265	Safety Officer					
03270	Security Responsible					
03275	Security Officer					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					10.1881	
03280	Gen. Services Responsible					
03285	Camp Supervisor					
03287	Teacher					
03290	Doctor					
03295	Nurse					
03300	Senior Cook					
03305	Cook					
03310	Cook Helper					
03320	Telephone operator					
03325	Data entry operator					
03330	Clerk					
03335	Timekeeper					
03340	Secretary High Level					
03345	Secretary					
03350	Interpreter High Level					
03355	Interpreter					
03360	Senior Engineer					
03365	Engineer					
03370	Representative Office Responsible					
03375	Representative Office Assistant					
<b>Total S.A. Staff.</b>						
04000	Site Agent (Project Manager)					
04005	Production Manager					
04010	Administrative Manager					
04015	Technical Manager					
04020	Plant Manager					
04030	Mech. W/shop Section Chief					
04035	Elec. W/shop Section Chief					
04040	Plant Section Chief					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					10.1881	
04042	Prod. Section Chief O/A					
04044	Prod. Section Chief U/G TBM					
04046	Prod. Section Chief U/G Trad. Exc.					
04048	Prod. Section Chief S/C Sea Works					
04050	Mech. W/shop Gen. Foreman O/A					
04051	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
04053	Mech. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
04055	Elec. W/shop Gen. Foreman O/A					
04057	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G TBM					
04059	Elec. W/shop Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
04060	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman O					
04063	Electron. / Telecom.W/shop Gen. Foreman U					
04070	Plant Gen. Foreman					
04081	Prod. Gen. Foreman O/A					
04083	Prod. Gen. Foreman U/G TBM					
04085	Prod. Gen. Foreman U/G Trad. Exc.					
04088	Prod. Gen. Foreman S/C Sea Works					
04100	Tech. Office Responsible					
04105	Tech. Office Assistant					
04110	Draftman/CAD Operator					
04120	Surveyor Responsible					
04125	Surveyor					
04127	Surveyor Assistant					
04130	Laboratory Responsible					
04135	Laboratory Geologist					
04137	Laboratory Assistant					
04140	Qty. Surveyor Responsible					
04145	Qty. Surveyor Assistant					
04150	Planning Responsible					
04155	Planning Assistant					



## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					→	10.1881
04160	Contract Adm. Responsible					
04165	Contract Adm. Assistant					
04170	Quality Control Responsible					
04175	Quality Control Assistant					
04180	Project Control Responsible					
04185	Project Control Assistant					
04197	Technical Staff					
04200	Accountant Responsible					
04205	Accountant					
04207	Cashier					
04210	EDP Responsible					
04215	Computer Operat./Programmer					
04220	Cost Control Responsible					
04225	Cost Control Assistant					
04230	Personnel Office Responsible					
04235	Personnel Office Assistant					
04240	Warehouse Responsible					
04245	Storekeeper					
04250	Purchasing Responsible					
04255	Purchaser					
04260	Safety Responsible					
04265	Safety Officer					
04270	Security Responsible					
04275	Security Officer					
04280	Gen. Services Responsible					
04285	Camp Supervisor					
04287	Teacher (family)					
04290	Doctor					
04295	Nurse					
04300	Senior Cook					

## Indirect Personnel SUMMARY

2-May-19

Count	Description	Total presence		Unit costs P\$/.....	Total cost	
		M/months	Hours		P\$	\$
					10.1881	
04305	Cook					
04310	Cook Helper					
04320	Telephone operator					
04325	Data entry operator					
04330	Clerk					
04335	Timekeeper					
04340	Secretary High Level					
04345	Secretary					
04350	Interpreter High Level					
04355	Interpreter					
04360	Senior Engineer					
04365	Engineer					
04370	Representative Office Responsible					
04375	Representative Office Assistant					
<b>Total T.C.N. Staff.</b>						
<b>General total indirect personnel</b>						

uffici	30	20	600
sale riunioni			120
bagni			120
corridoi			50
			890

PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E	
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE												
<b>ISSUED FOR: Addendum 3</b>						<b>DATE: 4 - DEC - 2012</b>			<b>BIDDER'S NAME:</b>						
<b>2 0000</b>						<b>INDIRECT COSTS</b>									
1	2.1		0000.01	Mobilization		LS	1	5000							
2	2.2		0000.02	Site Installation		LS	1	25000							
3	2.3		0000.03	Contractor Equipment for Indirects		LS	1	300000							
4	2.4		0000.04	Temporary Works		LS	1	20000							
5	2.5		0000.05	Winter Protection		LS	1	50000							
6	2.6		0000.06	Management and Staff		LS	1	1330000							
7	2.7		0000.07	Attendant labour		LS	1	incl.							
8	2.8		0000.08	Services		LS	1	900000							
9	2.9		0000.09	Employee Training		LS	1	50000							
10	2.10		0000.10	Health and Safety Requirements		LS	1	120000							
11	2.11		0000.11	Environmental Requirements		LS	1	30000							
12	2.12		0000.12	Quality Assurance / Quality Control		LS	1	250000							
13	2.13		0000.13	Letters of Credit		LS	1								
14	2.14		0000.14	Parent Guarantee		LS	1								
15	2.15		0000.15	Contractor Insurance, per Article 18 of the Agreement		LS	1								
16	2.16		0000.16	Warranty, per Article 17 of the Agreement		LS	1								
17	2.17		0000.17	Site Maintenance		LS	1	120000							
18	2.18		0000.18	Financing, Contingency, Head Office Overheads, & Consultant Fees		LS	1								
19	2.19		0000.19	Demobilization		LS	1	5000							
<b>SUB-TOTAL INDIRECT COSTS</b>								<b>3,205,000</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		
<b>3 1100</b>						<b>GENERAL</b>									
<b>3.1 1110</b>						<b>ACCESS ROAD TO SPILLWAY</b>									
20	3.1.1		1110.01	Overburden Excavation		m³	6,400	500							
21	3.1.2		1110.02	Zone 3C Material		m³	3,600	300							
22	3.1.3		1110.03	Zone 3D Material		m³	7,600	600							
23	3.1.4		1110.04	Granular "B" Material		m³	1,000	100							
24	3.1.5		1110.05	Granular "C" Material		m³	1,000	100							
25	3.1.6		1110.06	Concrete Culvert 600 mm		m	45	50							
<b>3.2 1120</b>						<b>DEWATERING OF STRUCTURE AREAS</b>									
26	3.2.1		1120.01	Structure Areas		LS	1	20000							
<b>3.3 1150</b>						<b>TEMPORARY BRIDGE</b>									
27	3.3.1		1150.01	Temporary Downstream Bridge over the Spillway		LS	1	1000							
<b>3.4 1170</b>						<b>CONSTRUCTION CRANE</b>									
28	3.4.1		1170.01	Powerhouse – Construction Crane		LS	1	1000							
<b>3.5 1180</b>						<b>Temporary Heating, Ventilating and Lighting of Powerhouse</b>									
29	3.5.1		1180.01	Temporary Heating, Ventilating and Lighting of Powerhouse		LS	1	40000							
<b>3.6 1190</b>						<b>Chain Link Fences and Gates</b>									
30	3.6.1		1190.01	Chain Link Fences and Gates in the Powerhouse Parking and Contractor's Laydown Areas		m	50	50							
<b>3.7 1200</b>						<b>Temporary Lateral Support and Bracings</b>									
31	3.7.1		1200.01	Temporary Lateral Support and Bracings for Piers of the Spillway		LS	1	500							
<b>3.8 1210</b>						<b>Anchor Points</b>									
32	3.8.1		1210.01	Anchor Points at Powerhouse and Spillway		each	50	250							
<b>SUB-TOTAL GENERAL</b>								<b>64,450</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		
<b>4 2360</b>						<b>TRANSITION DAMS</b>									
<b>4.1 2361</b>						<b>NORTH TRANSITION DAM</b>									
						<b>CIVIL WORK</b>									

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
				<b>ISSUED FOR: Addendum 3</b>			<b>DATE: 4 - DEC - 2012</b>					
				<b>BIDDER'S NAME:</b>								
				<b>Excavation</b>								
33	4.1.1		2361.01	Fill Excavation (Sand Layer for Winter Protection)	m <sup>3</sup>	650	100.00					
				<b>Foundation Preparation</b>								
34	4.1.2		2361.02	Dental Excavation	m <sup>3</sup>	30	60.00					
35	4.1.3		2361.03	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of Bedrock	m <sup>2</sup>	430	215.00					
36	4.1.4		2361.04	Dental Concrete	m <sup>3</sup>	70	70.00					
37	4.1.5		2361.05	Dry Pack	m <sup>3</sup>	3	15.00					
				<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>								
38	4.1.6		2361.06	Grouting Holes	m	200	200.00					
39	4.1.7		2361.07	Grouting - Successful Connections	each	40	80.00					
40	4.1.8		2361.08	Dry Cement for Grouting	kg	7,000	50.00					
41	4.1.9		2361.09	Water Pressure Tests (Lugeon)	hour	4	4.00					
42	4.1.10		2361.10	Water Pressure Tests - Successful Connections	each	10	50.00					
43	4.1.11		2361.11	Uplift Gauges	m	25	100.00					
44	4.1.12		2361.12	Thermistors	each	1	5.00					
45	4.1.13		2361.13	Rotary/Percussion Drill Check Holes	m	25	25.00					
46	4.1.14		2361.14	Cored (Diamond drill) holes	m	25	25.00					
47	4.1.15		2361.15	Drainage Holes	m	65	65.00					
48	4.1.16		2361.16	PVC Caps for Drainage Holes	each	5	5.00					
49	4.1.17		2361.17	Survey Monuments	each	1	10.00					
				<b>CONCRETE WORK</b>								
50	4.1.18		2361.18	Concrete	m <sup>3</sup>	9,130	29,673					
51	4.1.19		2361.19	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	330	165.00					
52	4.1.20		2361.20	Hydrophilic Waterstop	m	90	90					
53	4.1.21		2361.21	Bituminous Coating at Contraction Joints	m <sup>2</sup>	570	5.7					
				<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>								
54	4.1.22		2361.22	Reinforcement including Dowels	kg	44,100	662					
				<b>STRUCTURAL STEEL AND MISCELLANEOUS METAL</b>								
				<b>Supply and Installation of Non Embedded Miscellaneous Metal</b>								
55	4.1.23		2361.23	Galvanized Miscellaneous Steel	kg	11,300	90.40					
56	4.1.24		2361.24	Galvanized Grating	kg	1,860	7.44					
				<b>Embedded Miscellaneous Metals</b>								
57	4.1.25		2361.25	Embedded Miscellaneous Steel (Frames, L Shapes, Sleeves, etc..)	kg	90	9.00					
58	4.1.26		2361.26	Anchor Bolts Grade 55 ASTM F1554	kg	535	30.00					
				<b>ELECTRICAL WORK</b>								
59	4.1.27		2361.27	Exothermic Connections.	each	30						
60	4.1.28		2361.28	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil	m	200						
61	4.1.29		2361.29	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG	m	25						
<b>SUB-TOTAL NORTH TRANSITION DAM</b>							<b>31,811</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>
				<b>CENTRE TRANSITION DAM</b>								
				<b>CIVIL WORK</b>								
				<b>Excavation</b>								
62	4.2.1		2362.01	Fill Excavation (Sand Layer for Winter Protection)	m <sup>3</sup>	2,100	350.00					
				<b>Foundation Preparation</b>								
63	4.2.2		2362.02	Dental Excavation	m <sup>3</sup>	80	80.00					
64	4.2.3		2362.03	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of Bedrock	m <sup>2</sup>	1,430	715.00					
65	4.2.4		2362.04	Dental Concrete	m <sup>3</sup>	215	215.00					

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
66	4.2.5		2362.05	Dry Pack	m <sup>3</sup>	10	10.00					
<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>												
67	4.2.6		2362.06	Grouting Holes	m	600	600.00					
68	4.2.7		2362.07	Grouting - Successful Connections	each	120	500.00					
69	4.2.8		2362.08	Dry Cement for Grouting	kg	20,000	150.00					
70	4.2.9		2362.09	Water Pressure Tests (Lugeon)	hour	4	4.00					
71	4.2.10		2362.10	Water Pressure Tests - Successful Connections	each	10	50.00					
72	4.2.11		2362.11	Uplift Gauges	m	30	150.00					
73	4.2.12		2362.12	Thermistors	each	1	10.00					
74	4.2.13		2362.13	Rotary/Perussion Drill Check Holes	m	25	25.00					
75	4.2.14		2362.14	Cored (Diamond drill) holes	m	25	25.00					
76	4.2.15		2362.15	Drainage Holes	m	200	25.00					
77	4.2.16		2362.16	PVC Caps for Drainage Holes	each	20	40.00					
<b>Geotechnical Instrumentation</b>												
78	4.2.17		2362.17	Survey Monuments	each	5	25.00					
79	4.2.18		2362.18	Hydraulic piezometers	each	3	40.00					
80	4.2.19		2362.19	V-Notch Weirs	each	1	10.00					
<b>CONCRETE WORK</b>												
81	4.2.20		2362.20	Concrete Below El. 42.30 m	m <sup>3</sup>	27,200	95,200.00					
82	4.2.21		2362.21	Concrete Above El. 42.30 m	m <sup>3</sup>	2,230	7,805.00					
83	4.2.22		2362.22	Concrete - Slab on Steel Deck	m <sup>3</sup>	130	260.00					
84	4.2.23		2362.23	Grout	m <sup>3</sup>	17	170.00					
85	4.2.24		2362.24	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	770	385.00					
86	4.2.25		2362.25	Bituminous Coating at Contraction Joint	m <sup>2</sup>	3,060	153					
<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>												
87	4.2.26		2362.26	Reinforcement including Dowels	kg	133,000	1,995.00					
<b>SUPPLY AND INSTALLATION OF STRUCTURAL STEEL</b>												
88	4.2.27		2362.27	Painted Structural Steel	kg	76,500	765.00					
<b>STRUCTURAL STEEL AND MISCELLANEOUS METAL</b>												
<b>Supply and Installation of Non Embedded Miscellaneous Metal</b>												
89	4.2.28		2362.28	Galvanized Miscellaneous Steel	kg	32,500	2,275.00					
90	4.2.29		2362.29	Galvanized Grating	kg	460	18.40					
<b>Embedded Miscellaneous Metals</b>												
91	4.2.30		2362.30	Embedded Miscellaneous Steel (Frames, L Shapes, Sleeves, etc..)	kg	15,650	939.00					
<b>Metal Decking including Shear Studs (Galvanized)</b>												
92	4.2.31		2362.31	Steel deck type RD 306 (t=0.91 mm)	m <sup>2</sup>	400	20.00					
93	4.2.32		2362.32	Shear Studs	kg	4,200	84.00					
<b>Crane Rails including Fastening System and Accessories</b>												
94	4.2.33		2362.33	Rails for Trash Cleaning System	m	140	280.00					
95	4.2.34		2362.34	Anchor Bolts Grade 55 ASTM F1554	kg	5,500	385.00					
96	4.2.35		2362.35	Elastomeric Bearing Pads	each	21	420.00					
<b>ELECTRICAL WORK</b>												
97	4.2.36		2362.36	Exothermic Connections.	each	110						
98	4.2.37		2362.37	Embedded Copper Grounding Plates	each	2						
99	4.2.38		2362.38	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil	m	450						
100	4.2.39		2362.39	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG	m	125						
101	4.2.40		2362.40	Rigid PVC Conduit, size 41mm	m	100						
102	4.2.41		2362.41	Rigid PVC Conduit, size 78mm	m	25						
103	4.2.42		2362.42	Rigid PVC Conduit, size 129mm	m	40						

ISSUED FOR: Addendum 3

DATE: 4 - DEC - 2012

BIDDER'S NAME:

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A X E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
104	4.2.43		2362.43	Junction Box, size 200 x 200 x 150 mm Complete with Traffic Rated Cover.	each	2						
				<b>SUB-TOTAL CENTRE TRANSITION DAM</b>			114,178	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				<b>SOUTH TRANSITION DAM</b>								
				<b>CIVIL WORK</b>								
				<b>Excavation</b>								
105	4.3.1		2363.01	Fill Excavation (Sand Layer for Winter Protection)	m <sup>3</sup>	1,350	135.00					
				<b>Foundation Preparation</b>								
106	4.3.2		2363.02	Dental Excavation	m <sup>3</sup>	45	45.00					
107	4.3.3		2363.03	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of Bedrock	m <sup>2</sup>	900	450.00					
108	4.3.4		2363.04	Dental Concrete	m <sup>3</sup>	135	135.00					
109	4.3.5		2363.05	Dry Pack	m <sup>3</sup>	6	6.00					
				<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>								
110	4.3.6		2363.06	Grouting Holes	m	500	500.00					
111	4.3.7		2363.07	Grouting - Successful Connections	each	100	200.00					
112	4.3.8		2363.08	Dry Cement for Grouting	kg	18,000	126.00					
113	4.3.9		2363.09	Water Pressure Tests (Lugeon)	hour	5	5.00					
114	4.3.10		2363.10	Water Pressure Tests - Successful Connections	each	12	48.00					
115	4.3.11		2363.11	Uplift Gauges	m	30	120.00					
116	4.3.12		2363.12	Thermistors	each	1	10.00					
117	4.3.13		2363.13	Rotary/Percussion Drill Check Holes	m	30	30.00					
118	4.3.14		2363.14	Cored (Diamond drill) holes	m	30	30.00					
119	4.3.15		2363.15	Drainage Holes	m	225	225.00					
120	4.3.16		2363.16	PVC Caps for Drainage Holes	each	15	75.00					
				<b>Geotechnical Instrumentation</b>								
121	4.3.17		2363.17	Survey Monuments	each	4	40.00					
122	4.3.18		2363.18	Hydraulic piezometers	each	2	40.00					
123	4.3.19		2363.19	V-Notch Weirs	each	1	10.00					
				<b>CONCRETE WORK</b>								
124	4.3.20		2363.20	Concrete	m <sup>3</sup>	9,700	37,345					
125	4.3.21		2363.21	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	450	270					
126	4.3.22		2363.22	Hydrophilic Waterstop	m	100	120					
127	4.3.23		2363.23	Bituminous Coating at Contraction Joints	m <sup>2</sup>	680	34					
				<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>								
128	4.3.24		2363.24	Reinforcement including Dowels	kg	180,000	27,000					
				<b>STRUCTURAL STEEL AND MISCELLANEOUS METAL</b>								
				<b>Supply and Installation of Non Embedded Miscellaneous Metal</b>								
129	4.3.25		2363.25	Galvanized Miscellaneous Steel	kg	14,500	1,015					
130	4.3.26		2363.26	Galvanized Grating	kg	300	12					
				<b>Embedded Miscellaneous Metals</b>								
131	4.3.27		2363.27	Embedded Miscellaneous Steel (Frames, L Shapes, Sleeves, etc.)	kg	100	6					
132	4.3.28		2363.28	Anchor Bolts Grade 55 ASTM F1554	kg	1,350	95					
				<b>ELECTRICAL WORK</b>								
133	4.3.29		2363.29	Exothermic Connections.	each	100						
134	4.3.30		2363.30	Embedded Copper Grounding Plates	each	1						
135	4.3.31		2363.31	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil	m	450						
136	4.3.32		2363.32	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG	m	100						
137	4.3.33		2363.33	Rigid PVC Conduit, size 41mm	m	60						

ISSUED FOR: Addendum 3      DATE: 4 - DEC - 2012      BIDDER'S NAME:

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									

**SUB-TOTAL SOUTH TRANSITION DAM**      68,127      \$ -      \$ -      \$ -      \$ -      \$ -

4.4		2364		<b>SEPARATION WALL</b>								
<b>CIVIL WORK</b>												
<b>Foundation Preparation</b>												
138	4.4.1		2364.01	Dental Excavation	m <sup>3</sup>	50	50					
139	4.4.2		2364.02	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of Bedrock	m <sup>2</sup>	900	450					
140	4.4.3		2364.03	Dental Concrete	m <sup>3</sup>	130	130					
141	4.4.4		2364.04	Dry Pack	m <sup>3</sup>	6	6					
<b>CONCRETE WORK</b>												
142	4.4.5		2364.05	Concrete - Separation Wall	m <sup>3</sup>	10,850	39,168.50					
143	4.4.6		2364.06	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	60	36.00					
144	4.4.7		2364.07	Hydrophilic Waterstop	m	15	18					
145	4.4.8		2364.08	Bituminous Coating at Contraction Joint	m <sup>2</sup>	810	8.1					
<b>SUB-TOTAL SEPARATION WALL</b>							39,867	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -

5		2400		<b>SPILLWAY</b>								
5.1		2410		<b>SPILLWAY STRUCTURE</b>								
<b>CIVIL WORK</b>												
<b>Excavation and Backfill</b>												
146	5.1.1		2410.01	Fill Excavation (Sand Layer for Winter Protection)	m <sup>3</sup>	7,600	760.00					
<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>												
147	5.1.2		2410.02	Grouting Holes	m	650	650.00					
148	5.1.3		2410.03	Grouting - Successful Connections	each	130	520.00					
149	5.1.4		2410.04	Dry Cement for Grouting	kg	23,000	161.00					
150	5.1.5		2410.05	Water Pressure Tests (Lugeon)	hour	4	4.00					
151	5.1.6		2410.06	Water Pressure Tests - Successful Connections	each	10	50.00					
152	5.1.7		2410.07	Uplift Gauges	m	30	150.00					
153	5.1.8		2410.08	Thermistors	each	1	10.00					
154	5.1.9		2410.09	Rotary/Percussion Drill Check Holes	m	25	25.00					
155	5.1.10		2410.10	Cored (Diamond drill) holes	m	25	25.00					
<b>Instrumentation</b>												
156	5.1.11		2410.11	Survey Monuments	each	6	60.00					
<b>Foundation preparation</b>												
157	5.1.12		2410.12	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation	m <sup>2</sup>	5,100	2,550.00					
<b>CONCRETE WORK</b>												
<b>Spillway and Related Structures including Retaining Walls</b>												
158	5.1.13		2410.13	Concrete - Slabs	m <sup>3</sup>	13,100	31,440.00					
159	5.1.14		2410.14	Concrete - Piers and Walls	m <sup>3</sup>	32,900	187,530.00					
160	5.1.15		2410.15	Concrete - Rollways	m <sup>3</sup>	19,500	50,700.00					
161	5.1.16		2410.16	Demolition of Slab for Rollway Key	m <sup>3</sup>	200	400.00					
162	5.1.17		2410.17	Overbreak Concrete	m <sup>3</sup>	3,000	3,600.00					
163	5.1.18		2410.18	Grout	m <sup>3</sup>	20	60.00					
164	5.1.19		2410.19	PVC Waterstop - TYPE A (150 mm width)	m	8,500	5,100.00					
165	5.1.20		2410.20	Hydrophilic Waterstop	m	2,850	3,420.00					
166	5.1.21		2410.21	Bituminous Coating at Contraction Joint	m <sup>2</sup>	950	9.5					
<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>												
167	5.1.22		2410.22	Reinforcement including Dowels	kg	3,612,000	54,180.00					



PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
168	5.1.23		2410.23	Drill Holes and Grouting for Rock Dowels	m	8,000	4,000.00					
169	5.1.24		2410.24	Threaded Rebars with Couplers	kg	192,000	3,840.00					
				<b>STRUCTURAL STEEL AND MISCELLANEOUS METAL</b>								
				<b>Non Embedded Miscellaneous Metal</b>								
170	5.1.25		2410.25	Non Embedded Galvanized Miscellaneous Steel	kg	350	24.50					
171	5.1.26		2410.26	Non Embedded Galvanized Grating	kg	250	10.00					
				<b>Embedded Miscellaneous Metals</b>								
172	5.1.27		2410.27	Embedded Galvanized Miscellaneous Steel (Frames, L Shapes, Sleeves, etc..)	kg	100	6.00					
173	5.1.28		2410.28	Expanded Sheet Metal - Rollway Joints	kg	4,000	200.00					
				<b>Crane Rails including Fastening System and Accessories</b>								
174	5.1.29		2410.29	Rails for Trash Cleaning System	m	150	300.00					
175	5.1.30		2410.30	Anchor Bolts Grade 55 ASTM F1554	kg	1,700	119.00					
				<b>ANCHORS AND EMBEDDED PARTS PROVIDED BY OTHERS</b>								
176	5.1.31		2410.31	Anchors and Templates in Primary Concrete for Gates (5 Sets)	kg	85,900	6,013.00					
177	5.1.32		2410.32	Anchors and Templates in Primary Concrete for Upstream Stoplogs (5 Sets)	kg	70,700	4,949.00					
178	5.1.33		2410.33	Anchors and Templates in Primary Concrete for Permanent Stoplogs (5 Sets)	kg	39,300	2,751.00					
179	5.1.34		2410.34	Anchors and Templates in Primary Concrete for Downstream Stoplogs (5 Sets)	kg	14,200	994.00					
180	5.1.35		2410.35	Anchors and Templates in Primary Concrete for Hoist Towers (5 Sets)	kg	430	30					
181	5.1.36		2410.36	Anchors and Templates in Primary Concrete for Walkways (5 Sets)	kg	200	14					
182	5.1.37		2410.37	Liner Plates in sides of Piers	each	10	100.00					
				<b>ELECTRICAL WORK</b>								
183	5.1.38		2410.38	Exothermic Connections.	each	360						
184	5.1.39		2410.39	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil	m	1,600						
185	5.1.40		2410.40	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG	m	550						
186	5.1.41		2410.41	Rigid PVC Conduit, size 53mm	m	120						
<b>SUB-TOTAL SPILLWAY STRUCTURE</b>							<b>364,755</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				<b>5.2 2411 SPILLWAY BRIDGES</b>								
				<b>CONCRETE WORK</b>								
187	5.2.1		2411.01	Concrete - Slab on Bridge Deck	m³	450	2,700.00					
				<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>								
188	5.2.2		2411.02	Reinforcement including Dowels	kg	110,000	1,650.00					
				<b>STRUCTURAL STEEL AND MISCELLANEOUS METAL</b>								
				<b>Structural Steel</b>								
189	5.2.3		2411.03	Structural Steel - Painted/Galvanized Sections	kg	245,500	2,455.00					
				<b>Non Embedded Miscellaneous Metal</b>								
190	5.2.4		2411.04	Non Embedded Galvanized Miscellaneous Steel	kg	40,650	2,845.50					
191	5.2.5		2411.05	Non Embedded Galvanized Grating	kg	26,550	1,062.00					
				<b>Embedded Miscellaneous Metals</b>								
192	5.2.6		2411.06	Embedded Galvanized Miscellaneous Steel (Frames, L Shapes, Sleeves, etc..)	kg	17,850	1,071.00					
193	5.2.7		2411.07	Elastomeric Bearing Pads	each	110	2,200.00					
194	5.2.8		2411.08	Bridge Expansion Joints	each	16	480.00					
195	5.2.9		2411.09	Anchor Bolts Grade 55 ASTM F1554	kg	4,455	311.85					
<b>SUB-TOTAL SPILLWAY BRIDGES</b>							<b>14,775</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				<b>5.3 2430 SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 1</b>								
				<b>CIVIL WORK</b>								
				<b>Foundation preparation</b>								
196	5.3.1		2430.01	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation	m²	2,880	1,440.00					

PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE											
<b>ISSUED FOR: Addendum 3</b>						<b>DATE: 4 - DEC - 2012</b>		<b>BIDDER'S NAME:</b>						
<b>CONCRETE WORK</b>														
197	5.3.2		2430.02	Concrete - Slabs (CVC)		m <sup>3</sup>	1,725	3,795.00						
198	5.3.3		2430.03	Concrete - Walls (CVC)		m <sup>3</sup>	700	2,800.00						
199	5.3.4		2430.04	Overbreak Concrete		m <sup>3</sup>	1,600	1,920.00						
<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>														
200	5.3.5		2430.05	Reinforcement including Dowels		kg	145,000	2,175.00						
201	5.3.6		2430.06	Drill Holes and Grouting for Rock Dowels		m	3,650	1825						
<b>SUB-TOTAL SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 1</b>								<b>13,955</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
<b>5.4 2431 SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 2 - OPTIONAL</b>														
<b>CIVIL WORK</b>														
<b>Foundation preparation</b>														
202	5.4.1		2431.01	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation		m <sup>2</sup>	1,440	720.00						
<b>CONCRETE WORK</b>														
203	5.4.2		2431.02	Concrete - Slabs (CVC)		m <sup>3</sup>	850	1,870.00						
204	5.4.3		2431.03	Concrete - Walls (CVC)		m <sup>3</sup>	300	1,200.00						
205	5.4.4		2431.04	Overbreak Concrete		m <sup>3</sup>	700	840.00						
<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>														
206	5.4.5		2431.05	Reinforcement including Dowels		kg	90,000	1,350.00						
207	5.4.6		2431.06	Drill Holes and Grouting for Rock Dowels		m	1,900	950						
<b>SUB-TOTAL SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 2</b>								<b>6,930</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
<b>5.5 2432 SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 3 - OPTIONAL</b>														
<b>CIVIL WORK</b>														
<b>Foundation preparation</b>														
208	5.5.1		2432.01	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation		m <sup>2</sup>	3,400	1,700						
<b>CONCRETE WORK</b>														
209	5.5.2		2432.02	Concrete - Slabs (CVC)		m <sup>3</sup>	2,000	4,400						
210	5.5.3		2432.03	Concrete - Walls (CVC)		m <sup>3</sup>	200	800						
211	5.5.4		2432.04	Overbreak Concrete		m <sup>3</sup>	2,000	2,600						
<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>														
212	5.5.5		2432.05	Reinforcement including Dowels		kg	160,000	2,400						
213	5.5.6		2432.06	Drill Holes and Grouting for Rock Dowels		m	4,600	2300						
<b>SUB-TOTAL SPILLWAY DISCHARGE CHANNEL - PHASE 3</b>								<b>14,200</b>	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
<b>6 3200 INTAKE</b>														
<b>6.1 3220 INTAKE STRUCTURE</b>														
<b>CIVIL WORK</b>														
<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>														
214	6.1.1		3220.01	Grouting Holes		m	2,000	600						
215	6.1.2		3220.02	Grouting - Successful Connections		each	400	1,600						
216	6.1.3		3220.03	Dry Cement for grouting		kg	70,000	490						
217	6.1.4		3220.04	Water Pressure Tests (Lugeon)		hour	8	8						
218	6.1.5		3220.05	Water Pressure Tests - Successful Connections		each	20	100						
219	6.1.6		3220.06	Uplift Gauges		m	30	30						
220	6.1.7		3220.07	Thermistors		each	1	10						
221	6.1.8		3220.08	Rotary/Percussion Drill Check Holes		m	50	50						
222	6.1.9		3220.09	Cored (Diamond drill) holes		m	50	50						

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
223	6.1.10		3220.10	Drainage Holes	m	800	400					
224	6.1.11		3220.11	PVC Caps for Drainage Holes	each	50	200					
				<b>Foundation preparation</b>								
225	6.1.12		3220.12	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation	m <sup>2</sup>	4,900	2,450					
				<b>Geotechnical Instrumentation</b>								
226	6.1.13		3220.13	Survey Monuments	each	4	40					
227	6.1.14		3220.14	V-Notch Weirs	each	2	20					
				<b>CONCRETE WORK</b>								
				<b>CONCRETE INTAKE &amp; GATE HOIST BUILDING</b>								
228	6.1.15		3220.15	Concrete - Substructure below El. 45.5 m	m <sup>3</sup>	142,750	827,950.00					
229	6.1.16		3220.16	Concrete - Gate Hoist Building and Elevator Room above El. 45.5 m	m <sup>3</sup>	1,600	9,280.00					
230	6.1.17		3220.17	Overbreak Concrete	m <sup>3</sup>	3,000	3,900.00					
231	6.1.18		3220.18	Grout	m <sup>3</sup>	30	150.00					
232	6.1.19		3220.19	PVC Waterstop - TYPE A (150 mm width)	m	11,500	6,900.00					
233	6.1.20		3220.20	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	650	780.00					
234	6.1.21		3220.21	Sealing of Joints	m	100	100					
235	6.1.22		3220.22	Bituminous Coating at Construction Joints	m <sup>2</sup>	6,020	60.2					
				<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>								
236	6.1.23		3220.23	Reinforcement including Dowels	kg	9,251,000	138,765.00					
				<b>INSTALLATION OF ANCHORS AND EMBEDDED PARTS PROVIDED BY OTHERS</b>								
237	6.1.24		3220.24	Anchors and Templates in Primary Concrete for Intake Gates (12 Sets)	kg	165,500	9,930.00					
238	6.1.25		3220.25	Anchors and Templates in Primary Concrete for Intake Trashracks (12 Sets)	kg	82,000	4,920.00					
239	6.1.26		3220.26	Anchors and Templates in Primary Concrete for Intake Stoplogs (12 Sets)	kg	144,800	8,688.00					
				<b>INTAKE - ELECTRICAL WORK</b>								
240	6.2.1		3290.01	Exothermic Connections.	each	575						
241	6.2.2		3290.02	Embedded Copper Grounding Plates	each	6						
242	6.2.3		3290.03	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil	m	2,000						
243	6.2.4		3290.04	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG	m	1,300						
				<b>SUB-TOTAL INTAKE STRUCTURE</b>								
							1,017,471	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				<b>POWERHOUSE</b>								
				<b>SUBSTRUCTURE</b>								
				<b>CIVIL WORK</b>								
				<b>Drilling, Pressure Grouting and Drainage</b>								
244	7.1.1		3310.01	Grouting Holes	m	800	240					
245	7.1.2		3310.02	Grouting - Successful Connections	each	160	640					
246	7.1.3		3310.03	Dry Cement for Grouting	kg	28,000	196					
247	7.1.4		3310.04	Water Pressure Tests (Lugeon)	hour	4	4					
248	7.1.5		3310.05	Water Pressure Tests - Successful Connections	each	10	50					
249	7.1.6		3310.06	Uplift Gauges	m	25	25					
250	7.1.7		3310.07	Thermistors	each	1	10					
251	7.1.8		3310.08	Rotary/Percussion Drill Check Holes	m	25	25					
252	7.1.9		3310.09	Cored (Diamond drill) holes	m	25	25					
				<b>Foundation preparation</b>								
253	7.1.10		3310.10	Scaling and Water/Air Jet Cleaning of rock foundation	m <sup>2</sup>	10,400	5,200.00					
				<b>Trench for Interconnection Cables and Pipes</b>								
254	7.1.11		3310.11	Fill Excavation and Backfill	LS	1	250					
255	7.1.12		3310.12	Ductbank	LS	1	250					
256	7.1.13		3310.13	Manholes	each	3	24					

ISSUED FOR: Addendum 3

DATE: 4 - DEC - 2012

BIDDER'S NAME:

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
				<b>CONCRETE WORK</b>								
257	7.1.14		3310.14	Concrete - Powerhouse Substructure below El. 6.5 m	m <sup>3</sup>	137,400	796,920.00					
258	7.1.15		3310.15	Concrete - Substructure between lines 6 and 7, including Sump Pit, Shafts for Stair & Elevator up to El. 45.5m	m <sup>3</sup>	14,600	84,680.00					
259	7.1.16		3310.16	Concrete - Slabs and Walls between El. 6.5 and 15.5, including North and South Service Bays, Slab on grade, Basins and Bases for GSU transformer up to El. 16.8 m. Air vent enclosures on tailrace deck, Access enclosure to stair no. 8 and Oil/Water separator enclosure.	m <sup>3</sup>	7,300	42,340.00					
260	7.1.17		3310.17	Concrete - Slab on Steel Deck including Mezzanines	m <sup>3</sup>	3,200	3,840.00					
261	7.1.18		3310.18	Secondary Concrete of Draft Tube Cone Steel liner	m <sup>3</sup>	2,420	7,260.00					
262	7.1.19		3310.19	Overbreak Concrete	m <sup>3</sup>	8,500	11,050.00					
263	7.1.20		3310.20	Grout	m <sup>3</sup>	15	150.00					
264	7.1.21		3310.21	PVC Waterstop - TYPE A (150 mm width)	m	12,600	7,560.00					
265	7.1.22		3310.22	PVC Waterstop - TYPE B (225 mm width)	m	1,300	1,560.00					
266	7.1.23		3310.23	Metallic Waterstop	m	370	444.00					
267	7.1.24		3310.24	Sealing of Joints	m	300	150					
268	7.1.25		3310.25	Polyethylene Foam Rod	m	140	70					
269	7.1.26		3310.26	Asphalt Impregnated Fibre Board	m <sup>2</sup>	70	35					
270	7.1.27		3310.27	Bituminous Coating at Construction Joint	m <sup>2</sup>	6,300	63					
271	7.1.28		3310.28	Soldrain 500 from Texel/Geosol	m <sup>2</sup>	170	170					
				<b>Fire Walls at Tailrace Deck (Transformer Deck)</b>								
272	7.1.29		3310.29	Prefabricated Longitudinal Concrete Fire Walls	m <sup>2</sup>	2,520	2,520					
273	7.1.30		3310.30	Prefabricated Transversal Concrete Fire Walls	m <sup>2</sup>	860	860					
				<b>REINFORCEMENT, ANCHORS AND DOWELS</b>								
274	7.1.31		3310.31	Reinforcement including Dowels	kg	10,950,000	164,250.00					
275	7.1.32		3310.32	Drill Holes and Grouting for Rock Dowels	m	700	350.00					
276	7.1.33		3310.33	Drill Holes for Anchors Diam. 25 mm with Epoxy Adhesive HIT-RE-500	m	100	60.00					
277	7.1.34		3310.34	Threaded Rebar (Dia. 35 mm) with Couplers	kg	800	16.00					
				<b>INSTALLATION OF ANCHORS AND EMBEDDED PARTS PROVIDED BY OTHERS</b>								
278	7.1.35		3310.35	Anchors and Templates in Primary Concrete for Draft Tube Stoplogs (8 Sets)	kg	53,200	3,192.00					
279	7.1.36		3310.36	Anchors and Embedded Parts in Primary Concrete for T/G Units	kg	64,000	3,840.00					
				<b>SUB-TOTAL POWERHOUSE - SUBSTRUCTURE</b>			1,131,380	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
				<b>7.2 3320 SUPERSTRUCTURE (Intake and Powerhouse)</b>								
				<b>STRUCTURAL STEEL</b>								
				<b>Beams - Rolled Sections, Painted</b>								
280	7.2.1		3320.01	Beams Under 60 kg/m	kg	612,400	7,348.80					
281	7.2.2		3320.02	Beams From 61 to 150 kg/m	kg	71,100	711.00					
282	7.2.3		3320.03	Beams Over 150 kg/m	kg	15,280	122.24					
				<b>Columns - Rolled Sections, Painted</b>								
283	7.2.4		3320.04	Columns Under 60 kg/m	kg	16,020	192.24					
284	7.2.5		3320.05	Columns from 61 to 150 kg/m	kg	101,420	1,014.20					
285	7.2.6		3320.06	Columns Over 150 kg/m	kg	174,860	1,398.88					
				<b>W Beams - Rolled Sections, Painted with Intumescent Paint</b>								
286	7.2.7		3320.07	W Beams Under 60 kg/m	kg	2,450	29.40					
287	7.2.8		3320.08	W Beams from 61 to 150 kg/m	kg	251,000	2,510.00					
288	7.2.9		3320.09	W Beams Over 150 kg/m	kg	341,000	2,728.00					
289	7.2.10		3320.10	W Beam Stiffeners and Bent Plate at Openings	kg	24,200	242.00					
290	7.2.11		3320.11	W Beam Base Plate	kg	5,700	57.00					

PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E									
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE																				
<b>ISSUED FOR: Addendum 3</b>															<b>DATE: 4 - DEC - 2012</b>			<b>BIDDER'S NAME:</b>					
<b>WT Beams - Rolled Sections, Painted with Intumescent</b>																							
291	7.2.12		3320.12	WT Beams Under 60 kg/m		kg	1,550	18.60															
292	7.2.13		3320.13	WT Beams Over 150 kg/m		kg	275,300	2,753.00															
293	7.2.14		3320.14	WT Beam base plate		kg	10,550	105.50															
<b>Columns - Rolled Sections, Painted with Intumescent Paint</b>																							
294	7.2.15		3320.15	Columns from 61 to 150 kg/m		kg	6,350	63.50															
295	7.2.16		3320.16	Columns Over 150 kg/m		kg	62,700	501.60															
<b>Columns, Built-up Sections, Painted with Intumescent Paint</b>																							
296	7.2.17		3320.17	Main Building Columns, in Rolled Shapes & Plates, Welded Continuously.		kg	166,500	1,332.00															
<b>Columns &amp; Girders - Built up Sections, Painted</b>																							
297	7.2.18		3320.18	Crane Girders in Welded Plates, 700-800 kg/m		kg	392,100	4,705.20															
298	7.2.19		3320.19	Main Building Columns, in Rolled Shapes & Plates, Welded Continuously.		kg	674,300	8,091.60															
<b>Trusses, Painted</b>																							
299	7.2.20		3320.20	Trusses and Wind Trusses		kg	286,375	3,436.50															
<b>Bracings, Painted</b>																							
300	7.2.21		3320.21	Horizontal Bracing (WT Shapes), 31-60 kg/m		kg	76,970	923.64															
301	7.2.22		3320.22	HSS Square Shapes for Vertical Bracing and Struts		kg	193,900	2,326.80															
<b>Nelson Studs, not painted</b>																							
302	7.2.23		3320.23	Nelson Studs (Dia. 19 and 13 mm) Welded Mezzanine Beams		kg	3,305	165.25															
303	7.2.24		3320.24	Nelson Studs (Dia. 19 and 22 mm) Welded to Generator Floor Beams		kg	15,000	750.00															
<b>Stairs, Hot dip Galvanized</b>																							
304	7.2.25		3320.25	Stair Stringers in Channels		kg	62,410	3,120.50															
305	7.2.26		3320.26	Stair Treads in Grating (308 mm by 914 mm), hot dip galvanized, Bent Checkered Plate Nosing, type "FLOWFORGE" by FISHER & LUDLOW or equal		each	1,624	812.00															
<b>Landings and Walkways, Hot dip Galvanized</b>																							
306	7.2.27		3320.27	Gratings for Landings at Stairs, type 24-102, Bearing Bars (of approx. 32X4.8) by FISHER and LUDLOW or equal		kg	48,820	488.20															
307	7.2.28		3320.28	Bent Plate at Floor 15.5		kg	45,000	1,350.00															
308	7.2.29		3320.29	Steel Angle L102x102x7.9 at Floor 15.5		kg	2,400	48.00															
<b>Steel Decking</b>																							
309	7.2.30		3320.30	Roof Deck type RD 306 (t=0.91mm) and type HB (t=0.91 mm) by VICWEST, Galvanized Z 275		m <sup>2</sup>	11,730	1,173.00															
310	7.2.31		3320.31	Roof Deck type RD 938 (t=0.76mm) by VICWEST, Galvanized Z 275		m <sup>2</sup>	1,640	164.00															
311	7.2.32		3320.32	Floor Deck type RD 306 (t=1.22 mm) by VICWEST - Exterior		m <sup>2</sup>	1,550	155.00															
312	7.2.33		3320.33	Floor Deck type RD 306 (t=1.22 mm) by VICWEST - Interior		m <sup>2</sup>	3,600	360.00															
<b>Crane Rails Accessories</b>																							
313	7.2.34		3320.34	Tie-Back Linkage Assemblies by GANTREX, type TL123GP, includes Plates, Angles, Shims, "O" Rings, Bolts and Permanent Lubrication		each	96	48.00															
<b>Anchor Bolts</b>																							
314	7.2.35		3320.35	Anchor Bolts Steel Grade 55 ASTM F1554 (Dia. 19 and 25 mm), Nuts A563, hot dip galvanized, by PORTLAND or equal		kg	5,960	298.00															
315	7.2.36		3320.36	Anchor Bolts Steel Grade 55 ASTM F1554 (Dia. 38 and 51 mm), Nuts A563, hot dip galvanized, by PORTLAND or equal		kg	22,800	1,140.00															
<b>Guardrails in Pipes, Hot dip Galvanized</b>																							
316	7.2.37		3320.37	Guardrails in Pipes for Mezzanine, Stairs and Covers, with Kick Plate, Posts in DN32-XS and Railings in DN32-Std.		kg	47,250	2,362.50															
317	7.2.38		3320.38	Guardrails of Intake Deck (W and HSS shapes)		kg	17,750	887.50															
<b>Hilti Bolts</b>																							

PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE									
318	7.2.39		3320.39	Hilti KWIK Bolts 3 (Dia. 25 mm) 304 SS	each	525	105.00					
319	7.2.40		3320.40	Hilti KWIK Bolts 3 (Dia. 19 mm) hot dip galvanized	each	630	94.50					
320	7.2.41		3320.41	Hilti Adhesive Anchors, HAS rods (Dia. 19 mm) HIT RE-500 , hot dip galvanized	each	200	30.00					
				<b>Joists</b>								
321	7.2.42		3320.42	Steel Joists, by CANAM or equal	kg	2,100	105.00					
				<b>Elastomeric pad</b>								
322	7.2.43		3320.43	Elastomeric Pad at Attachment Axis E	each	40	800.00					
				<b>MISCELLANEOUS STEEL</b>								
				<b>Miscellaneous Structural Steel, Hot dip Galvanized</b>								
323	7.2.44		3320.44	Miscellaneous Structural Steel - Embedded	kg	64,250	3,855.00					
324	7.2.45		3320.45	Miscellaneous Structural Steel, L Shapes, Plates etc.	kg	151,330	3,026.60					
325	7.2.46		3320.46	Checkered Plates	kg	54,260	542.60					
326	7.2.47		3320.47	Embedded angles related to typical detail for stel deck on dwg : MFA-SN-CD-3320-ST-DD-0005-01	kg	11,450	458.00					
327	7.2.48		3320.48	Contraction joint related to section E-E on the drawing : MFA-SN-CD-3300-CV-DD-0003-01	m	40	160.00					
328	7.2.49		3320.49	Contraction joint related to section F-F on the drawing: MFA-SN-CD-3300-CV-DD-0003-01	m	50	200.00					
329	7.2.50		3320.50	Contraction joint related to section K-K on the drawing: MFA-SN-CD-3300-CV-DD-0003-01	m	115	460.00					
				<b>Miscellaneous Stainless steel</b>								
330	7.2.51		3320.51	Miscellaneous Stainless Steel (drains in hydraulic passages and diamond expanded metal of MK1 and MK2)	kg	6,650	798.00					
				<b>Crane Rails, rust preventive coating</b>								
331	7.2.52		3320.52	Rail type BETH 175, includes Splices and Aluminothermic Welds, for Crane Girders and for Trash Cleaner	m	720	1,440.00					
332	7.2.53		3320.53	Rail type Beth 104 with Aluminothermic Welds	m	315	630.00					
				<b>Crane Rails Accessories</b>								
333	7.2.54		3320.54	GANTREX Rail Clip type WELDLOK 43 with Rubber Nosing for Crane Girders and Trash Cleaner	each	2,160	432.00					
334	7.2.55		3320.55	GANTREX rail clip type WELDLOK 15 with Rubber Nosing, hot dip galvanized	each	1,060	212.00					
				<b>Ladders, Hot dip Galvanized</b>								
335	7.2.56		3320.56	Ladders with Cage including the Self-Closing Gates	kg	15,000	1,050.00					
				<b>Plates, Painted / Hot dip Galvanized</b>								
336	7.2.57		3320.57	Plates 350 x 20, Under Rails BETH 175, Painted with Primer Plates 300 x 20 Under Rails BETH 175, hot dip galvanized	kg	35,500	2,485.00					
				<b>Landings and Walkways, Hot dip Galvanized</b>								
337	7.2.58		3320.58	Grating HD-24-102, Bearing Bars (64X4.8 or 51x4.8) by FISHER and LUDLOW or equal	kg	56,800	2,272.00					
338	7.2.59		3320.59	Grating at EL 45.5 on Intake Deck, Special Order	kg	101,600	4,064.00					
				<b>ARCHITECTURE WORKS</b>								
				<b>METAL CLADDING &amp; ROOFING</b>								
339	7.2.60		3320.60	Insulated Metal Wall Panels (Sandwiched Panels. VicWest & Kingspan; refer to them as Composite Metal Building Panels)	m <sup>2</sup>	7,323	1,830.75					
340	7.2.61		3320.61	Preformed Metal Siding (Vertical Metal Siding fastened to Steel Stud Wall)	m <sup>2</sup>	508	152.40					
341	7.2.62		3320.62	Preformed Metal Siding & Framing (for Snow Baffles over louvers)	m <sup>2</sup>	112	56.00					
342	7.2.63		3320.63	Metal Liner Panel, Insulation & Z-Bars (attached to interior of pre-cast concrete fire wall)	m <sup>2</sup>	2,980	1,192.00					
343	7.2.64		3320.64	Modified Bituminous Membrane Roofing System	m <sup>2</sup>	8,416	8,416.00					

PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE											
344	7.2.65		3320.65	Sealants (including for roofing & wall systems and pre-cast concrete fire wall joints)		LS	1	500.00						
345	7.2.66		3320.66	Signage (Nalcor & Logo, Muskrat Falls Generating Station)		LS	1	1,000.00						
346	7.2.67		3320.67	Roof Curb for Exhaust Fans		each	9	360.00						
347	7.2.68		3320.68	Roof Curb for Exhaust Hood		each	1	50.00						
348	7.2.69		3320.69	Roof Curb for Chimney		each	1	50.00						
349	7.2.70		3320.70	Flashing for Roof Drains		each	25	50.00						
350	7.2.71		3320.71	Flashing for Plumbing Vents		each	6	30.00						
<b>OPENINGS</b>														
351	7.2.72		3320.72	Exterior Metal Insulated Doors - Double		each	7	140.00						
352	7.2.73		3320.73	Exterior Metal Insulated Doors - Single		each	14	140.00						
353	7.2.74		3320.74	Aluminium Entrance Door (Insulated)		each	1	25.00						
354	7.2.75		3320.75	Sectional Metal Insulated Door		each	2	30.00						
355	7.2.76		3320.76	Aluminium Windows (32 Windows max)		m <sup>2</sup>	154	616.00						
356	7.2.77		3320.77	Concrete Unit Masonry ( Exterior)		m <sup>2</sup>	21	50.00						
<b>FIRE &amp; SAFETY ITEMS</b>														
357	7.2.78		3320.78	Roof Anchors & Safety Restraints		each	45	180.00						
<b>SPECIAL DOORS</b>														
358	7.2.79		3320.79	Multi-Leaf Vertical Lift Metal Insulated Door		each	1	200						
<b>SUB-TOTAL POWERHOUSE - SUPERSTRUCTURE</b>								<b>92,222</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	

8 3400 TURBINE GENERATOR AND ANCILLARIES														
8.1 3430 ELECTRICAL WORK														
359	8.1.1		3430.01	Exothermic Connections.		each	1,000							
360	8.1.2		3430.02	Embedded Copper Grounding Plates		each	50							
361	8.1.3		3430.03	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 500 kcmil		m	4,700							
362	8.1.4		3430.04	Bare, Stranded, Medium Hard-Drawn Copper Conductor, size 4/0 AWG		m	1,400							
363	8.1.5		3430.05	Rigid PVC Conduit, size 78mm		m	150							
364	8.1.6		3430.06	Rigid Galvanized Steel Conduits, size 152 mm		m	5							
365	8.1.7		3430.07	Rigid PVC Conduit, size 129mm		m	1,000							
366	8.1.8		3430.08	High Bay Light Fixture, Metal Halide, 347 Vac, complete with 1000 W lamp		each	46							
367	8.1.9		3430.09	High Bay Light Fixture, Metal Halide, 347 Vac, complete with 1000 W lamp and Quartz auxiliary lamp		each	23							
368	8.1.10		3430.10	Panelboard, 600/347 Vac, 3 phase, 4 wire, 42 circuit, surface mounted sprinkler-proof enclosure, complete with breakers as indicated		each	3							
369	8.1.11		3430.11	Dry-Type Transformer, 75 kVA, 600-600/347 Vac		each	3							
370	8.1.12		3430.12	Disconnect Switch, 600 V, 3 phase, complete with fuses		each	3							
371	8.1.13		3430.13	Lighting Contactor Control Panel		each	2							
372	8.1.14		3430.14	ON-OFF Pushbutton Control Station		each	4							
373	8.1.15		3430.15	Teck Cables, 2C # 12 AWG		m	900							
374	8.1.16		3430.16	Teck Cables, 3C # 12 AWG		m	500							
375	8.1.17		3430.17	Teck Cables, 2C # 10 AWG		m	400							
376	8.1.18		3430.18	Teck Cables, 4C # 10 AWG		m	500							
377	8.1.19		3430.19	Temporary Feeder Cables to lighting transformers/panelboards, etc.		LS	1							
<b>SUB-TOTAL POWERHOUSE - ELECTRICAL WORK</b>								<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>		

8.2 3440 MECHANICAL WORK														
378	8.2.1		3351	HVAC System		LS	1							

PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE											
ISSUED FOR: Addendum 3						DATE: 4 - DEC - 2012		BIDDER'S NAME:						
			3351.01	Pipe and Fittings NPS 16, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3351.02	Pipe and Fittings NPS 24, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3351.03	HVAC Louvers		LS	1							
379	8.2.2		3352	<b>Domestic Wastewater System</b>		LS	1							
			3352.01	Pipe and Fittings NPS 2, Piping Specification NB11		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3352.02	Equipments and Other Components		LS	1							
			3352.03	Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)		LS	1							
380	8.2.3		3353	<b>Wastewater System</b>		LS	1							
			3353.01	Pipe and Fittings NPS 1 1/2, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3353.02	Pipe and Fittings NPS 3, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3353.03	Pipe and Fittings NPS 4, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3353.04	Flexible corrugated perforated HDPE Pipe NPS 4, covered With A Geotextile		m	To be filled by Bidder							
			3353.05	Septic Tile Field		LS	1							
			3353.06	Equipments and Other Components		LS	1							
			3353.07	Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)		LS	1							
			3353.08	Roof vent		each	2							
381	8.2.4		3441	<b>Low Pressure Compressed Air System</b>		LS	1							
			3441.01	Pipe and Fittings NPS 2, Piping Specification GB11		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3441.02	Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)		LS	1							
382	8.2.5		3443	<b>Fire Protection System</b>		LS	1							
			3443.01	Pipe and Fittings NPS 4, Piping Specification CB12		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3443.02	Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification CB12		m	To be filled by Bidder							
			3443.03	Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)		LS	1							
383	8.2.6		3444	<b>Clear Water Drainage System</b>		LS	1							
			3444.01	Pipe and Fittings NPS 3, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder	See Note 1						
			3444.02	Pipe and Fittings NPS 4, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3444.03	Pipe and Fittings NPS 6, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3444.04	Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification PA01		m	To be filled by Bidder							
			3444.05	Pipe and Fittings NPS 3, Piping Specification CB11		m	To be filled by Bidder							
			3444.06	Pipe and Fittings NPS 4, Piping Specification CB11		m	To be filled by Bidder							
			3444.07	Pipe and Fittings NPS 6, Piping Specification CB11		m	To be filled by Bidder							



PRICE ITEM				WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E	
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE												
ISSUED FOR: Addendum 3						DATE: 4 - DEC - 2012			BIDDER'S NAME:						
				3444.08		Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3444.09		Equipments and Other Components	LS	1							
				3444.10		Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)	LS	1							
				3444.11		Roof drains and accessories	each	25							
384	8.2.7	3445		Dewatering System		LS	1								
				3445.01		Pipe and Fittings NPS 3/4, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.02		Pipe and Fittings NPS 2, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.03		Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.04		Pipe and Fittings NPS 12, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder	See Note 1						
				3445.05		Pipe and Fittings NPS 20, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.06		Pipe and Fittings NPS 24, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.07		Pipe and Fittings NPS 30, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3445.08		Equipment and Other Components	LS	1							
				3445.09		Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)	LS	1							
385	8.2.8	3447		Oily Water Drainage System		LS	1								
				3447.01		Pipe and Fittings NPS 4, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3447.02		Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder	See Note 1						
				3447.03		Pipe and Fittings NPS 16, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3447.04		Equipments and Other Components	LS	1							
				3447.05		Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)	LS	1							
386	8.2.9	3448		Raw and Cooling Water System		LS	1								
				3448.01		Pipe and Fittings NPS 14, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder	See Note 1						
				3449.01		Pipe and Fittings NPS 3/4, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder							
				3449.02		Pipe and Fittings NPS 2, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder							
				3449.03		Pipe and Fittings NPS 3, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder	See Note 1						
				3449.04		Pipe and Fittings NPS 6, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3449.05		Pipe and Fittings NPS 8, Piping Specification CB11	m	To be filled by Bidder							
				3449.06		Equipments and Other Components	LS	1							
				3449.07		Miscellaneous Work (Painting, Insulation etc.)	LS	1							
388	8.2.11	344C		Piezometer and Water Level System		LS	1								

LOWER CHURCHILL PROJECT MUSKRAT FALLS CH0007 - CONSTRUCTION OF INTAKE AND POWERHOUSE, SPILLWAY AND TRANSITION DAMS				CIMFP Exhibit P-03243		SCHEDULE OF PRICE BREAKDOWN				Page 50		PART 1 - APPENDIX A2.1		
				ISSUED FOR: Addendum 3		DATE: 4 - DEC - 2012		BIDDER'S NAME:						
PRICE ITEM		WBS CODE		PRICE ITEM DESCRIPTION	UNIT OF MEASURE	ESTIMATED QUANTITY A	MAN HOURS (AT SITE)	MANPOWER COST (\$ CAD) B	MATERIALS COST (\$ CAD) C	EQUIPMENT COST (\$ CAD) D	UNIT COST (\$ CAD) E= (B+C+D)	TOTAL COST (\$ CAD) F= A x E		
No	REFERENCE EXH. 2 - ATT 1	CODE	SUBCODE											
		344C.01		Pipe and Fittings NPS 6, Piping Specification SA11	m	To be filled by Bidder								
		344C.02		Pipe and Fittings NPS 3, Piping Specification SB11	m	To be filled by Bidder								
		344C.03		Pipe and Fittings NPS 1/2, Piping Specification JD01	m	To be filled by Bidder								
<b>SUB-TOTAL POWERHOUSE - MECHANICAL WORKS</b>								\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
				<b>WORK EXECUTED FOR COMPANY'S OTHER CONTRACTOR</b>										
	9	3500		<b>Supply of concrete to Company's Other Contractor</b>										
	9.1		3510	<b>Supply of Secondary Concrete - Class A2</b>										
389	9.1.1		3510.01	Supply of Concrete - Class A	m <sup>3</sup>	9,000								
390	9.1.2		3510.02	Supply of Concrete - Class B	m <sup>3</sup>	1,000								
391	9.1.3		3510.03	Supply of Concrete - Class A2	m <sup>3</sup>	14,500								
<b>SUB-TOTAL SUBCONTRACTING WORKS FOR OTHERS</b>								\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -		
<b>CALCULATED TOTAL OF LUMP SUM AND UNIT PRICE ITEM (BASED ON APPROXIMATE QUANTITIES), AS DETAILED IN ITEMS 1 TO 391</b>														
<b>TAXES EXCLUDED (ITEMS 1 - 391)</b>														
				<b>MISCELLANEOUS - RATE ONLY</b>										
	10	3600		<b>Hilti Adhesive Anchors</b>										
	10.1		3610	<b>Hilti adhesive anchors, HIT RE-500; HAS rods (Dia. 16 mm), hot dip galvanized</b>										
392	10.1.1		3610.01	Hilti adhesive anchors, HIT RE-500; HAS rods (Dia. 19 mm), hot dip galvanized	each	100							N/A	
393	10.1.2		3610.02	Hilti adhesive anchors, HIT RE-500; HAS rods (Dia. 25 mm), hot dip galvanized	each	100							N/A	
394	10.1.3		3610.03	Hilti adhesive anchors, HIT RE-500; HAS rods (Dia. 16 mm), hot dip galvanized	each	100							N/A	
	10.2		3620	<b>Precast Sandwich Insulated Panel</b>										
395	10.2.1		3620.01	Precast Sandwich Insulated Panel	m <sup>2</sup>	2,520							N/A	
<b>FOR THE LOWER CHURCHILL PROJECT - MUSKRAT FALLS</b>														
This Appendix forms part of the Proposal submitted by:														
Name of Bidder:														
Request For Proposal no: 505573-CH0007														
Signature:														
Date of Proposal:														
Note 1: The amount and quantities required in this Lump Sum price breakdown are strictly for accounting purpose in order to track progress payment and capitalization of the work that are the object of this contract. Any modification request to the Lump Sum price based on these information will not be considered.														
Note 2: If there has been an error in the calculation to establish the total of Column F (Total Price), then the figures of the Column E (UNIT PRICE) and A (QUANTITY) will prevail.														

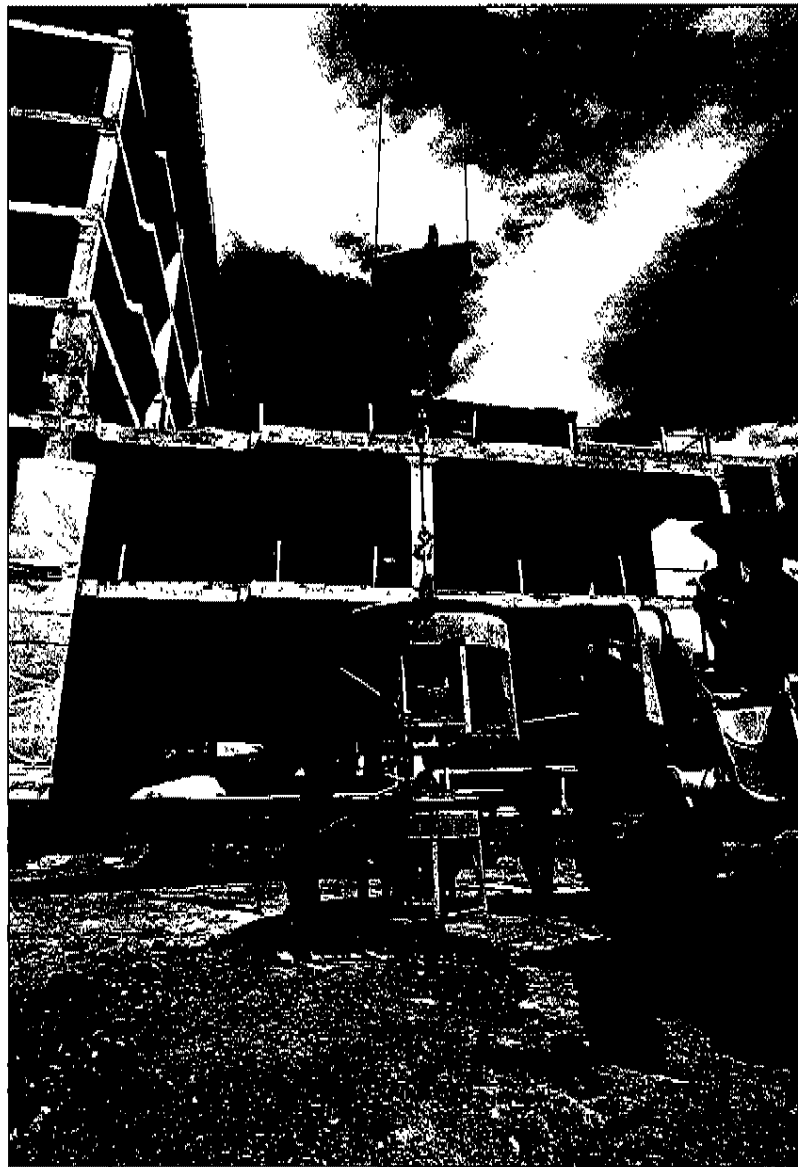


Conseil national  
de recherches Canada

National Research  
Council Canada

# **CNRC-NRC**

## **La productivité dans la construction**



Publié par

Institut de  
recherche  
en construction

# IRC

Pour Soumission

J.P. Samson.

# La productivité dans la construction

---

S.P. Dozzi, ing., et S.M. AbouRizk, Ph.D., ing.  
Techniques de construction et gestion des travaux  
Département de génie civil  
Université de l'Alberta

Institut de recherche en construction  
Conseil national de recherches du Canada  
Ottawa (Ontario), Canada

---

IRC-P-3580  
NRCC 37034  
NR16-24/1993F  
ISBN 0-662-98719-5  
Ottawa, décembre 1993

© Conseil national de recherches du Canada 1993

# Préface

---

L'Institut de recherche en construction du CNRC est ravi de contribuer à mettre cet important guide à la disposition des professionnels de la construction du Canada. Ce projet SCGC-CNRC est un bon exemple du type d'alliance qui revêt de plus en plus d'importance pour l'industrie canadienne de la construction, dans ses efforts pour trouver des moyens de faire des affaires qui lui permettent de rivaliser avec les autres pays. De la collaboration de la principale source canadienne de technologies de la construction avec la plus ancienne association professionnelle de génie civil au pays est né ce précieux ouvrage sur la productivité, que je recommande à tous.

Le directeur général  
de l'Institut de recherche en construction,

G. Seaden

# Avant-propos

On entend souvent les entrepreneurs affirmer que « tant et aussi longtemps que nous demeurons aussi dynamiques et efficaces que nos concurrents habituels, nous ne manquerons pas de travail ». Cependant, dans le marché d'aujourd'hui, le fait d'être aussi efficace que le voisin ne suffit plus. La concurrence ne s'exerce plus uniquement entre les entrepreneurs qui se partagent une zone géographique bien définie. Les entreprises des autres régions, voire d'autres pays, se disputent le marché.

La compétitivité canadienne, ou plutôt son absence, fait la manchette depuis plusieurs années maintenant. Ainsi, selon un rapport paru dans l'édition du 25 juin 1991 de *The Economist*, intitulé « Étude du Canada », on affirme que :

*« En général, la croissance de la productivité canadienne est en régression ; si le Canada veut demeurer une économie fortement rémunérée, il devra être extrêmement concurrentiel. La croissance de la productivité, qui était de 2,3 p. 100 au cours de la période 1946-1973 est tombée à 0,9 p. 100 entre 1973 et 1990. La croissance de la productivité du secteur de la fabrication a été beaucoup plus lente au Canada que dans tous les autres pays membres du Groupe des Sept. Au Canada, la compétitivité des coûts a décliné rapidement par rapport aux États-Unis... »*

Le Canada montre également un ralentissement par rapport au Japon, où la productivité des travailleurs de la construction a augmenté de 6,6 p. 100 par an entre 1986 et 1990, tandis qu'au Canada, elle connaissait une hausse d'à peine 1,6 p. 100.

En réponse à ce dilemme, la Division de la construction de la Société canadienne de génie civil a élaboré et mis en oeuvre un programme visant à améliorer la productivité. La Société a, avec l'appui du Conseil national de recherches du Canada, créé une alliance avec le Centre de technologie de la construction de l'Atlantique Inc (CTCA), en vertu de laquelle la Société doit élaborer un manuel décrivant les différents moyens d'améliorer la productivité et le CTCA doit organiser des séminaires. Ces séminaires sur l'amélioration de la productivité se déroulent un peu partout au Canada depuis septembre 1990, généralement en collaboration avec l'association locale de la construction.

L'Institut de recherche en construction a maintenant décidé de tirer parti de l'expérience acquise au cours de la préparation du manuel et des exposés et a publié le présent ouvrage, « La productivité dans la construction ». Nous espérons qu'il recevra toute l'attention qu'il mérite et que les surveillants de travaux de construction le consulteront assidûment.

Stephen G. Revay, F.EIC, F.SCGC  
Ancien président (1989-90) de la SCGC



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>		
1.1	Productivité : optimiser les ressources .....	1	
1.2	Qu'entend-on par productivité ? .....	1	
1.3	Cadre proposé pour l'amélioration de la productivité dans le domaine de la construction .....	2	
1.4	Présentation de l'ouvrage .....	3	
<b>2</b>	<b>Techniques recommandées pour mesurer et améliorer la productivité sur les chantiers de construction</b>		
2.1	Introduction .....	5	
2.2	Mesure de l'efficacité des travailleurs et des équipes, et interprétation des résultats .....	5	
2.2.1	Évaluation par chantier .....	5	
2.2.2	Échantillonnage du travail .....	5	
2.2.3	Évaluation ponctuelle .....	7	
2.3	Études sur le terrain .....	8	
2.3.1	Évaluation des temps morts par le contremaître .....	8	
2.3.2	Questionnaire de l'ouvrier .....	9	
2.4	Le modèle des écarts de productivité	10	
2.5	Étude des diagrammes : diagrammes interrelationnels .....	12	
2.6	Simulation et analyse par ordinateur .....	13	
2.6.1	Principales étapes de la simulation de processus de construction .....	13	
2.6.2	Construction d'un modèle CYCLONE .....	13	
2.6.3	Expérimentation, analyse et simulation .....	15	
2.6.4	Simulation et productivité .....	16	
<b>3</b>	<b>Le facteur humain et l'amélioration de la productivité</b>		
3.1	Introduction .....	19	
3.2	Motivation .....	19	
3.2.1	La motivation dans l'industrie de la construction .....	19	
3.2.2	Facteurs influant sur la motivation .....	20	
3.2.3	Facteurs de motivation .....	21	
3.2.4	Facteurs inhibant la motivation .....	21	
3.2.5	Absentéisme et renouvellement		
	de la main-d'oeuvre .....	24	
3.3	Le facteur humain et la productivité .....	24	
3.3.1	L'ouvrier, facteur de productivité .....	24	
3.3.2	Limites physiques .....	25	
3.3.3	La courbe d'apprentissage .....	25	
3.3.4	Équipes et travail d'équipe .....	26	
3.3.5	Facteurs environnementaux .....	26	
3.3.6	Aire de travail .....	27	
3.4	Planification et aménagement du chantier .....	27	
3.4.1	Éléments de planification d'un chantier .....	27	
3.4.2	Installations électriques provisoires .....	28	
3.4.3	Installations de chauffage et enceintes provisoires .....	28	
3.4.4	Autres installations .....	28	
3.4.5	Bureaux, cantines et installations sanitaires .....	28	
3.5	Sécurité .....	29	
3.5.1	Impact économique des accidents .....	29	
3.5.2	Sécurité et productivité .....	29	
<b>4</b>	<b>Mesure de la productivité par l'établissement du coût de revient</b>		
4.1	Introduction .....	31	
4.2	Collecte et traitement des données .....	31	
4.3	Système d'établissement du coût de revient utilisant le suivi des heures-personnes plutôt que des coûts .....	35	
4.3.1	Comptabilisation en fonction de l'avancement des travaux .....	35	
4.3.2	Inventaire matériel .....	35	
4.3.3	Valeur comptabilisée .....	36	
4.3.4	Facteurs de rendement .....	36	
4.4	Établissement et analyse du coût de revient à l'aide du logiciel de gestion de projet .....	37	
<b>5</b>	<b>La direction</b>		
5.1	Introduction .....	41	
5.2	Qualité de la surveillance .....	41	
5.3	Gestion du matériel .....	41	
5.3.1	Étapes de la gestion du matériel .....	42	
5.3.2	Responsabilités .....	42	
5.3.3	Interfaces fonctionnelles et incidences sur la productivité .....	43	
5.3.4	Planification préliminaire .....	44	
5.3.5	Contrôle du matériel .....	44	
5.3.6	Approvisionnement .....	45	



5.3.7 Manutention du matériel.....45  
5.4 La capacité de construire .....47  
5.4.1 Un problème familier .....47  
5.4.2 Principes inhérents à la capacité  
de construire .....48  
5.5 Gestion des modifications .....48

**6. Conclusion**

6.1 La macroproductivité et la micro-  
productivité .....51  
6.2 Quelques suggestions pour améliorer  
la productivité dans le domaine de  
la construction .....51

# 1 Introduction

## 1.1 Productivité : optimiser les ressources

Les économistes en sont convaincus, ainsi que les entrepreneurs, les syndicats ouvriers, bref tous les intéressés : pour demeurer concurrentiels, nous devons produire davantage pour chaque dollar investi dans la construction. Nous, c'est tout le monde. Tous les travailleurs peuvent, sur le chantier, contribuer à améliorer la productivité.

Les problèmes de productivité peuvent être ramenés à deux niveaux. Au premier niveau, la macroproductivité, on s'occupe essentiellement des procédés contractuels, des lois qui régissent le travail et de l'organisation de la main-d'oeuvre ; au deuxième niveau, la microproductivité, on s'attache davantage à la gestion et à l'exécution des travaux, principalement sur le chantier.

Pour améliorer la productivité, nous devons d'abord la mesurer. Et pour pouvoir la mesurer, nous devons pouvoir mesurer l'effet des changements qui auront été adoptés au regard des méthodes, des initiatives et des systèmes. Ces mesures de la productivité peuvent ensuite être comparées soit à celles qui ont servi à établir les estimations, soit à certaines normes de production. Bien qu'en Amérique du Nord l'industrie ne soit soumise à aucune

norme officielle, on peut utiliser comme critère de production de nombreuses sources de données publiées ainsi que les bases de données de diverses entreprises.

Sur un chantier de construction, de nombreux facteurs, complexes et interdépendants, peuvent influer sur la productivité. Un groupe de travail du Conseil pour l'expansion de l'industrie de la construction (1984 ; Le Canada construit) a élaboré un questionnaire portant sur les facteurs qui réduisent la productivité dans le domaine de la construction. Il regroupe en sept catégories quelque 95 facteurs. On trouvera au tableau 1.1 la liste des facteurs les plus déterminants à l'intérieur de chacune des sept catégories.

Les résultats des recherches menées par des sociologues et des chercheurs dans le domaine de la construction peuvent être contestables en raison de la quasi-impossibilité de tenir compte de toutes les interdépendances. L'effet de facteurs d'éthique ou de satisfaction peut être discutable, mais ces considérations ne devraient pas nous empêcher de rechercher sérieusement l'amélioration de la productivité. (Le concept même d'une productivité améliorée est trop important pour qu'on s'arrête à des arguments purement académiques.) Bien que l'on puisse difficilement juger avec précision des effets de nombre de ces facteurs sur un taux de productivité donné, on peut néanmoins en observer l'effet combiné.

## 1.2 Qu'entend-on par productivité ?

De nombreux termes ont été utilisés pour décrire la productivité dans l'industrie de la construction : facteur de rendement, taux de production, taux unitaires exprimés en heures-personnes, etc. Traditionnellement, la productivité est définie comme le rapport intrants-extrants, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'une ressource connexe (généralement, mais pas toujours, exprimée en heures-personnes) et la production réelle (soit la création d'un bien économique). On peut reformuler comme suit cette définition pour l'appliquer à l'industrie de la construction : la productivité de la main-d'oeuvre désigne l'avancement des travaux par heure-personne, par exemple le nombre d'heures-personnes

**Tableau 1.1 Facteurs de diminution de la productivité dans le domaine de la construction**

Catégorie	Facteurs
Conditions de travail	Variations climatiques
Marché	Ruptures de stock Pénurie de personnel expérimenté en conception technique et en gestion de projets
Conception et approvisionnement	Nombreuses modifications
Gestion des travaux	Mauvaise communication Problèmes de planification et d'ordonnement Formation insuffisante de personnel de surveillance
Main-d'oeuvre	Règles syndicales trop restrictives
Politiques et règlements gouvernementaux	Lenteur des processus d'approbation et d'émission de permis
Formation	Formation insuffisante du personnel affecté à la surveillance, à la gestion de projets

nécessaire pour poser un mètre de conduit ou pour couler un mètre cube de béton.

Les deux principales mesures de la productivité de la main-d'oeuvre sont :

- l'efficacité avec laquelle la main-d'oeuvre est utilisée dans le processus de construction ;
- l'efficacité relative que montre la main-d'oeuvre dans l'exécution des tâches qui lui sont assignées à un moment et en un endroit donnés.

On peut donner comme exemple de la première mesure le nombre de dollars devant être affectés à la main-d'oeuvre pour produire un mètre ou un pied carré d'aire habitable, un lit d'hôpital, ou ce qu'il en coûte de main-d'oeuvre par baril de produit fini pour construire une raffinerie. Dans ces cas, les progrès technologiques ou les améliorations techniques auront un effet extrêmement important puisqu'on mesure ici l'efficacité avec laquelle la main-d'oeuvre est utilisée dans le processus de construction.

Les entrepreneurs et les mouvements syndicaux sont cependant davantage intéressés par la deuxième mesure, soit l'efficacité relative de la main-d'oeuvre. Ainsi, ils voudront connaître le nombre de mètres carrés de coffrage ou de mètres linéaires de conduit pouvant être mis en place par heure-personne à un moment et en un endroit donnés.

L'efficacité de la main-d'oeuvre forme la base de la plupart des estimations des coûts et constitue l'étalon de mesure de son rendement.

Ainsi on a affirmé qu'en 1930 il fallait 837,4 heures-personnes pour construire une maison. En 1965, 283,2 heures-personnes suffisaient pour mener à bien ces travaux. Cette réduction des heures-personnes équivaut à un taux de croissance annuel moyen de 3,2 p. 100, ce qui est loin d'être négligeable.

Il n'est donc pas étonnant que certains aient tenté d'expliquer ce phénomène par une amélioration constante de l'efficacité de la main-d'oeuvre. La véritable amélioration dans ce cas n'est pas imputable à l'efficacité de la main-d'oeuvre mais plutôt aux progrès technologiques réalisés dans le domaine de la construction, par exemple le perfectionnement des équipements d'excavation et l'avènement des plaques de plâtre qui remplacent les enduits.

En établissant un lien direct entre la croissance relative de la productivité de la main-d'oeuvre et l'efficacité des travailleurs, l'industrie de la construction en est venue à nier le déclin de la productivité. Apparemment, le manque de motivation n'est pas perçu comme

un problème et les pertes financières de plus en plus fréquentes sont imputées soit à de mauvaises estimations ou à l'exécution de travaux de construction en régime accéléré. Les surveillants de chantier ont finalement dû se rendre à l'évidence et admettre que l'efficacité de la main-d'oeuvre n'a cessé de diminuer depuis un certain temps. En acceptant la réalité et en tentant de saisir l'ampleur et les causes de ce déclin, l'industrie de la construction a fait un grand pas vers l'amélioration de la productivité.

### 1.3 Cadre proposé pour l'amélioration de la productivité dans le domaine de la construction

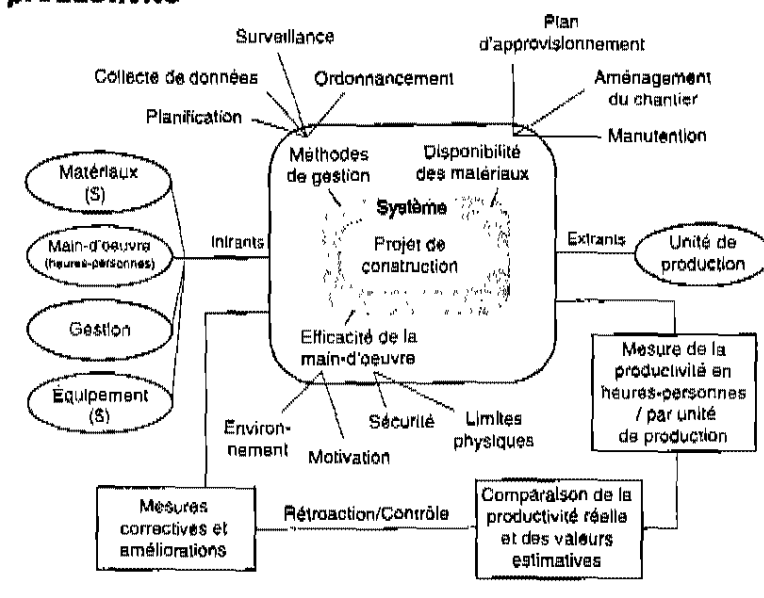
L'amélioration de la productivité dans le domaine de la construction est un concept qui se comprend mieux lorsqu'il est présenté dans son ensemble, comme le montre la figure 1.1. Le système qui nous occupe est formé du projet de construction dans lequel sont injectées les différentes ressources, soit les matériaux, les travailleurs et les gestionnaires, l'équipement et l'argent. Ces ressources sont consommées par le système au cours du processus de réalisation des unités de construction. Il faut contrôler le système et, à cette fin, recueillir et traiter les données sur les différents taux de production.

Pour mesurer le rapport intrants-extrants, soit le paramètre qui définit la productivité, on utilise deux grands critères : l'heure-personne et le coût unitaire. Le premier est uniquement axé sur la main-d'oeuvre et sert surtout à évaluer les activités à fort coefficient de main-d'oeuvre. Le second, le coût unitaire, tient compte de tous les facteurs. La productivité d'une activité est mesurée et comparée aux valeurs établies dans les estimations ou le budget.

Si la productivité réelle est inférieure aux valeurs estimatives, il faut examiner les catégories d'intrants qui influent sur la productivité du système, notamment la disponibilité des matériaux, l'efficacité de la main-d'oeuvre et les méthodes de gestion.

Pour améliorer l'efficacité de la main-d'oeuvre, on doit considérer divers facteurs comme la motivation, la sécurité, l'environnement et les limites physiques des travailleurs. Les méthodes de gestion comprennent l'ordonnement, la planification, la collecte de données, l'analyse des tâches et la surveillance. La disponibilité des matériaux est assurée par un programme d'approvisionnement bien structuré, un aménagement intelligent du chantier et d'autres moyens semblables.

**Figure 1.1 Cadre proposé pour l'amélioration de la productivité**



## 1.4 Présentation de l'ouvrage

Le présent ouvrage a pour but d'introduire le concept de la productivité dans le domaine de la construction. Chacun des sujets est abordé de façon qu'il puisse s'appliquer à tous les stades de la construction. Le lecteur pourra obtenir plus de renseignements en consultant les nombreux ouvrages et rapports cités dans le texte et à la fin de chaque chapitre.

La matière proprement dite, qui s'adresse surtout aux praticiens comme les ingénieurs de projet, les surintendants de chantier et les contremaîtres, est présentée sous une forme qui en facilite la consultation et la compréhension. L'ouvrage donne aux praticiens des éclaircissements qui leur permettront de mieux apprécier l'importance de la productivité dans le domaine de la construction. Bien que l'ouvrage ne présente qu'un survol du sujet, il en traite chaque aspect avec suffisamment de détails pour renseigner convenablement.

## Remerciements

Les auteurs ont librement utilisé diverses contributions à une série de séminaires parrainés conjointement par la Société canadienne de génie civil et le Centre de technologie de la construction de l'Atlantique Inc., séminaires intitulés « Productivity on Canadian Construction Sites: An Overview. What Supervisors Should Know and Do ».

Ces contributions nous viennent de C. Fear, R. French, J. Gibson, G. Jergeas, K. Lemon, S. Perfect, K. Pressnail, S. Revay, A. Russel, L. Tardif, C. Trembley, L. Waugh et S.P. Dozzi, qui a aussi joué le rôle d'éditeur.

## Ouvrages complémentaires

Adrian, J.J., 1987. *Construction Productivity Improvement*. New York : Elsevier Science Publishing Company.

Alfeld, L.E., 1988. *Construction Productivity, On-Site Measurement and Management*. New York : McGraw Hill.

CEIC, 1984. Conseil pour l'expansion de l'industrie de la construction, 235, rue Queen, Ottawa, Ontario K1A 0H5.

Halpin, D.W., 1985. *Financial and Cost Control Concepts for Construction Management*. New York : John Wiley and Sons.

Ogelsby, C.H., H.W. Parker et G.A. Howel, 1989. *Productivity Improvement in Construction*. New York : McGraw Hill.

Warren, R.H., 1989. *Motivation and Productivity in the Construction Industry*. New York : Van Nostrand Reinhold.

# 2 Techniques recommandées pour mesurer et améliorer la productivité sur les chantiers de construction

## 2.1 Introduction

Dans un projet de construction, la gestion des travaux de chantier est souvent une tâche complexe et ardue. Le principal problème réside dans la quantification de tous les facteurs qui influent sur la productivité en chantier. Dans le domaine de la construction, la mesure la plus précise de la productivité est le nombre d'unités produites par heure-personne consommée, ou sa réciproque, le nombre d'heures-personnes consommées par unité produite. On peut mesurer indirectement la productivité d'un processus en observant le niveau d'activité des ressources affectées.

L'étude et l'évaluation du travail peuvent diminuer la motivation des effectifs. Les employés ne doivent pas avoir l'impression d'être espionnés par l'entreprise; aussi doit-on prendre certaines précautions. On recommande d'organiser des séances d'information et de formation afin d'aborder l'amélioration de la productivité dans une perspective de collaboration. À un niveau de la microproductivité, les travailleurs sont une précieuse source d'information sur leur rendement et leur efficacité. On pourra, le cas échéant, solliciter la participation des fournisseurs ou des surveillants.

Le présent chapitre porte d'abord sur les techniques éprouvées les plus répandues pour mesurer l'efficacité (et, indirectement, la productivité) des ouvriers, qu'ils travaillent seul ou en équipes. On y explique aussi comment les données recueillies peuvent contribuer à l'amélioration de la productivité d'un processus de construction, ainsi qu'une méthode permettant de mesurer simultanément l'efficacité et la productivité, soit le modèle des écarts de productivité (Adrian et Boyer, 1976). La seconde partie du chapitre est consacrée à des méthodes plus perfectionnées pour l'étude et l'amélioration de la productivité d'un processus de construction donné. Dans un monde de plus en plus informatisé, la simulation est l'une des techniques les plus perfectionnées que l'on puisse mettre à contribution pour augmenter la productivité. On aborde donc la possibilité de recourir à la simulation par ordinateur pour planifier et analyser les processus de construction. Pour que ce concept demeure le plus possible dans les limites du concret, on exposera uniquement la méthode dite CYCLONE

(Halpin et Riggs, 1992), qui fut conçue spécialement aux fins de l'analyse des activités de construction.

## 2.2 Mesure de l'efficacité des travailleurs et des équipes, et interprétation des résultats

### 2.2.1 Évaluation par chantier

On peut procéder à une évaluation par chantier pour estimer sommairement le niveau d'activité d'un chantier de construction. Il s'agit simplement de classer le travailleur selon qu'il est « actif » ou « inactif » et d'utiliser la fraction « actif » comme mesure d'efficacité. Pour obtenir un échantillon aléatoire, il faut déléguer un observateur sur place. Une fois l'échantillon recueilli, on calcule le taux de productivité du chantier en totalisant les fractions « actif » observées, en les divisant ensuite par le nombre total d'observations et en ajoutant 10 p. 100 au résultat pour tenir compte de l'activité du contremaître et du personnel de surveillance, ce qui nous donne :

$$\text{Productivité du chantier} = \frac{\text{total des fractions « actif »}}{\text{nombre total d'observations} + 10 \text{ p. } 100}$$

Pour qu'un travail soit jugé satisfaisant, le résultat devrait être légèrement supérieur à 60 p. 100. Ainsi, si un contremaître fait 100 observations de travailleurs et qu'à peine 40 p. 100 d'entre eux sont actifs au moment où ils sont observés, le taux de productivité du chantier est donc de 50 p. 100, soit  $40/100 + 10$ ; le travail serait donc jugé insatisfaisant. Cette méthode ne renseigne toutefois pas l'observateur sur l'origine du problème et des déficiences. Elle indique simplement qu'il y a une inefficacité.

### 2.2.2 Échantillonnage du travail

L'échantillonnage du travail ou méthode des observations instantanées se fonde sur une théorie statistique d'échantillonnage et est légèrement plus perfectionnée que l'évaluation par chantier. Elle consiste essentiellement à observer une activité pendant une période déterminée et à utiliser ces observations pour en induire la productivité. Il faut s'appuyer sur

une théorie statistique d'échantillonnage car la durée des observations doit forcément être limitée. Par ailleurs, le nombre de travailleurs observés représente ordinairement un échantillon réduit de l'ensemble de la population pouvant être observée (chaque regard porté sur un travailleur correspond à une observation et chaque évaluation résulte donc d'une multitude d'observations). Plutôt que de tenter d'évaluer la totalité de la population, on en recueille un échantillon que l'on analyse et auquel on attribue un seuil de fiabilité.

L'échantillonnage du travail permet d'estimer en pourcentage le temps consacré activement à cette activité par rapport à la durée totale de l'opération. À cette fin, on peut adopter la démarche suivante :

1. Classer l'activité du travailleur selon qu'elle est productive, semi-productive (c'est-à-dire accessoire à l'activité principale) ou non productive.

**Nota :** Il existe de nombreuses variantes de cette classification ; le lecteur peut même créer sa propre formule une fois qu'il a bien compris les principes sous-jacents. On peut obtenir différentes possibilités en décomposant les activités semi-productives selon divers modes, comme l'indique le tableau 2.1. Ainsi, une activité de soutien peut entrer dans la sous-catégorie « manutention », « directives et prise de décisions », « entretien d'équipement » et autres. Il faut toutefois souligner que plus une classification est détaillée, plus il est difficile de recueillir des données sur place.

2. Mettre au point une formule de collecte de données qui facilitera la compilation des observations effectuées sur place ; un modèle de formule est présenté à la figure 2.1.
3. Observer de façon aléatoire les travailleurs occupés à un travail donné. Ces observations doivent renseigner sur le niveau d'activité du travailleur, c'est-à-dire actif, semi-actif ou inactif. À toutes fins utiles, le terme « observation aléatoire » signifie que le sujet observé est choisi au hasard et que

**Tableau 2.1 Exemple de classification des activités**

Classification (classification équivalente)	Productive (Tâche principale) (Actif)	Semi-productive (Travail indirect) (Travail de soutien)	Non productive (Temps mort) (Inactif)
Description	Utilisant les outils propres à son métier	Soutenant l'activité principale	Ne participant à aucune activité
Exemples	Maçon posant des briques, manoeuvre préparant du mortier, électricien tirant des câbles, soudeur soudant un luyau	Ouvrier recevant des matériaux, se rendant à son lieu de travail, recevant des directives	Travailleurs en pause, attendant que le matériel soit réparé, attendant de nouvelles directives, arrivant tard ou quittant tôt

les travailleurs sont tous également visés par l'observateur.

4. Consigner toutes les observations sur la formule. Cocher la case correspondant au niveau d'activité observé.
5. Totaliser les cases cochées pour chaque niveau d'activité et calculer le pourcentage d'activité. Dans l'exemple de la figure 2.1, le pourcentage d'activité productive est de 45 p. 100 (soit 4 sur 9) et le pourcentage d'activité non productive est de 33 p. 100 (ou 3 sur 9), les derniers 22 p. 100 correspondant à des activités semi-productives.

Selon les recherches, le travail productif devrait représenter 30 p. 100 du temps. Les résultats de différentes évaluations par activité indiquent que cette catégorie de travail occupait de 9,4 p. 100 du temps à Isle of Grain, soit le pourcentage le plus faible, à 64,4 p. 100, soit le pourcentage le plus élevé mesuré, en 1973, par le centre de recherches de la National Association of Home Builders. D'autres pourcentages représentatifs ont été observés, notamment :

- 32 p. 100, pourcentage relevé par la revue Civil Engineering en 1977 et mesuré dans diverses centrales nucléaires;
- 34,7 p. 100, pourcentage relevé par S.B. Palmater et mesuré dans 13 centrales nucléaires;
- 46,5 p. 100, pourcentage mesuré par l'Université du Texas dans diverses installations.

**Figure 2.1 Modèle de formule d'échantillonnage du travail**

Feuille d'observations instantanées

Projet: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_ Observateur: \_\_\_\_\_

Remarques :

Observation n°	Productif (Tâche principale)	Productif (Tâche principale)	Non productif (Temps mort)
1	√		
2		√	
3	√		
4			√
5			√
6			√
7		√	
8	√		
9	√		
Total	4	2	3
Pourcentage	45%	22%	33%

**Tableau 2.2 Exemples de sources de temps morts et mesures correctives recommandées**

Sources de temps morts (Pourcentage excessif de temps consacré à ces activités)	Mesure corrective recommandée (Chacune de ces mesures doit faire l'objet d'une analyse détaillée)
Attendre des directives	Planifier et assigner les tâches à l'avance.
Chercher le matériel	Améliorer l'aménagement des lieux de travail.
Se procurer le matériel	Examiner le mode de manutention du matériel et l'aménagement du site.
Pauses non autorisées	Examiner la gestion des ressources humaines et les mesures disciplinaires.
Attendre que le matériel soit réparé	Dans toute la mesure du possible, utiliser de l'équipement de réserve ; planifier à l'avance l'assignation des équipes à d'autres tâches ; planifier l'entretien de l'équipement de manière qu'ils soit toujours en bon état.
Attendre ou faire la queue pour réparer du matériel	Résoudre les problèmes d'affectation des ressources en les répartissant de façon plus équilibrée, par exemple.
Problèmes de manutention	Améliorer l'aménagement des lieux de travail et régler les problèmes de sécurité.

Pour améliorer la productivité d'un processus, il faut d'abord établir le pourcentage d'activité et identifier les sources de travail non productif ou semi-productif. Cette analyse peut être subjective car elle dépend dans une large mesure du niveau de détail de la classification retenue et de la nature des travaux analysés. On présente au tableau 2.2 une série de recommandations visant à faciliter le processus d'analyse.

Pour être efficace, un échantillonnage du travail doit se fonder sur un très grand nombre d'observations, nombre qui doit être déterminé à partir d'une théorie statistique d'échantillonnage. Le nombre minimal généralement admis est de 384 observations<sup>1</sup>. On a fixé ce nombre en tenant compte d'une erreur d'échantillonnage de 5 p. 100 et d'un niveau de fiabilité de 95 p. 100. On peut se servir de tableaux, de nomogrammes ou de programmes informatiques pour calculer le nombre d'observations requis pour différents seuils d'erreur et de fiabilité.

L'échantillonnage du travail n'est rien de plus qu'une mesure indirecte de la productivité. Il est difficile de mesurer la productivité d'un menuisier, par exemple en calculant le nombre de coups de marteau nécessaires pour enfoncer un clou.

Au moment de prendre des décisions, il faut utiliser ces résultats avec prudence et discernement. Ils ne mesurent pas l'efficacité réelle de la main-d'oeuvre mais demeurent un outil extrêmement précieux car ils permettent d'explorer la question de la motivation tout en révélant les causes des brusques variations des taux de production.

<sup>1</sup>Bien que ce nombre puisse sembler excessif, il faut se rappeler que chaque regard porté sur le travail en cours est considéré comme une observation.

**2.2.3 Évaluation ponctuelle**

La technique de l'évaluation ponctuelle n'est pas, contrairement à la méthode des observations instantanées, fondée sur une théorie statistique d'échantillonnage. Elle consiste simplement à observer une activité pendant un court moment. L'échantillon observé n'est pas suffisamment vaste pour se prêter à des observations instantanées mais cette forme d'observation renseigne toutefois sur l'efficacité d'une équipe et peut servir à cerner les processus qui demandent à être observés de plus près.

On peut procéder comme suit pour appliquer la technique d'évaluation en cinq minutes :

1. Identifier les membres de l'équipe qui doivent être observés et mettre au point une formule semblable à celle qui est présentée au tableau 2.3. Inscrire en en-tête les tâches de l'équipe observée et indiquer l'heure des observations dans les cases de la première colonne.
2. Observer l'équipe au travail. Pour l'intervalle d'observation choisi (au tableau 2.3, l'intervalle est de cinq minutes), déterminer si l'équipe a été active pendant plus de la moitié de l'intervalle. Si c'est le cas, cocher la case correspondante; sinon, ne rien inscrire.
3. Additionner toutes les cases cochées du tableau et diviser la somme par le nombre total d'observations. Dans l'exemple du tableau 2.3, 22 observations sur un total de 32 ont eu un résultat positif, ce qui nous donne une efficacité de 22 sur 32, soit 68 p. 100.

**Tableau 2.3 Modèle de formule d'évaluation ponctuelle**

Heure	Bétonnière	Nivellement	Niveleuse	Aplanissoire
9 h 50	x	x	x	
9 h 55	x	x	x	
10 h 00				x
10 h 05	x	x	x	
10 h 10	x		x	
10 h 15	x	x		x
10 h 20	x	x	x	x
10 h 25		x		x
Observations positives	6	6	5	5
Nombre total d'observations = 32				
Efficacité = 22/32				
Observations positives = 22				
Évaluation ponctuelle = 68 %				

**Figure 2.2 Formule type d'évaluation des temps morts par le contremaître**

Sources de problèmes	Heures-personnes perdues		
	Nbre d'heures perdues	Nbre de travailleurs	Nbre total d'heures-personnes
Retouches (erreur de conception ou modification)			
Retouches (erreur de préfabrication)			
Retouches (erreur ou dommage sur le chantier)			
Attente de matériaux (de l'entrepôt)			
Attente de matériaux (du fournisseur)			
Attente d'outils			
Attente d'équipement de chantier			
Bris d'équipement de chantier			
Attente de renseignements			
Attente d'autres équipes			
Attente des autres membres de l'équipe			
Déplacements inexplicables ou inutiles			
Autres :			
Commentaires :			

Contremaître :

Date :

**Tableau 2.4 Exemples de résultats**

Source des problèmes	H-p perdues	Pourcentage
Retouches (erreur de conception ou modification)	122	2,3
Retouches (erreur de préfabrication)	24	0,5
Retouches (erreur ou dommage sur le chantier)	52	1,0
Attente de matériaux (de l'entrepôt)	33	0,6
Attente de matériaux (du fournisseur)	22	0,4
Attente d'outils	12	0,2
Attente de matériel de chantier	56	1,1
Bris d'équipement de chantier	15	0,3
Attente de renseignements	12	0,2
Attente d'autres équipes	14	0,3
Attente des membres de l'équipe	10	0,2
Déplacements inexplicables ou inutiles	20	0,4
Autres	70	1,3
Total	462	8,9
Perte d'activité en heures-personnes	5 210	

## 2.3 Études sur le terrain

Les méthodes d'échantillonnage du travail décrites à la section 2.2 mesurent l'efficacité des activités qui se déroulent sur les lieux de travail mais ne permettent pas d'identifier les principales causes de l'inefficacité. Ainsi, des observations instantanées peuvent révéler qu'un ouvrier passe 25 p. 100 du temps à attendre le matériel ou les matériaux dont il a besoin. Cette méthode ne permet toutefois pas d'isoler la cause réelle du temps mort observé ni de déterminer ce qu'il faut faire pour y remédier.

Les études sur le terrain et les questionnaires sont des moyens structurés de s'assurer la participation du contremaître ou de l'ouvrier au processus d'évaluation et d'amélioration de la productivité sur les lieux de travail. Les ouvriers sont probablement les mieux renseignés sur leur propre travail. Ils peuvent facilement identifier les causes des temps morts et les facteurs qui entravent l'exécution de leurs tâches. De la même manière, le contremaître est la personne qui connaît le mieux son équipe et les problèmes qui font obstacle à l'amélioration de sa productivité.

### 2.3.1 Évaluation des temps morts par le contremaître

L'évaluation des temps morts par le contremaître repose sur un questionnaire qui doit être rempli par celui-ci à la fin d'une journée de travail, les jours d'évaluation étant déterminés à l'avance, par exemple une semaine de travail par mois. Le questionnaire sert essentiellement à établir le nombre d'heures que représentent les temps morts à l'intérieur d'une journée de travail. Le plus souvent, ces évaluations portent sur deux catégories de temps morts : les délais d'attente et les retouches. Une fois le questionnaire rempli, les données sont extraites sous forme de pourcentages, et des mesures sont prises pour éliminer les causes de ces temps morts. Un modèle type de ce questionnaire est présenté à la figure 2.2.

Les résultats d'évaluation exprimés en heures-personnes sont ensuite convertis en pourcentages équivalents et consignés sur une formule, dont un exemple est donné au tableau 2.4. Les données qui figurent sur le rapport d'évaluation renseignent sur les problèmes éprouvés par le contremaître dans le cadre d'un processus donné. L'exemple du tableau 2.4 révèle que l'on consacre trop de temps aux retouches dues à des erreurs de conception, soit 2,3 p. 100, et à attendre le matériel de chantier, soit 1,1 p. 100.

L'évaluation des temps morts par le contremaître est une méthode relativement peu coûteuse qui permet d'analyser les causes des



**Figure 2.3 Modèle de questionnaire de l'ouvrier**

Renseignements personnels	Cocher <input checked="" type="checkbox"/> la case OUI ou NON appropriée et fournir les renseignements demandés.	
Métier		
Lieu de travail		
Type de travail		
Autre		
	OUI	NON
<b>Matériaux</b>		
Les matériaux sont-ils toujours disponibles lorsque vous en avez besoin?		
À combien estimez-vous le nombre d'heures perdues par semaine en raison de la non-disponibilité des matériaux?		_____ h
<b>Outils</b>		
Les outils sont-ils toujours disponibles lorsque vous en avez besoin?		
Les outils sont-ils en bon état?		
Les outils fournis conviennent-ils toujours au travail à exécuter?		
Certains outils sont-ils en nombre insuffisant? Lesquels?		
À combien estimez-vous le nombre d'heures perdues par semaine parce que les outils ne sont pas disponibles ou qu'ils ne conviennent pas aux travaux à exécuter?		_____ h
<b>Équipement</b>		
Question 1 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
Question 2 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
À combien estimez-vous le nombre d'heures perdues par semaine en raison des :		_____ h
<b>Retouches</b>		
Question 1 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
Question 2 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
À combien estimez-vous le nombre d'heures perdues par semaine en raison des :		_____ h
<b>Problèmes de sécurité</b>		
Question 1 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
Question 2 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
À combien estimez-vous le nombre d'heures perdues par semaine en raison des :		_____ h
<b>Autres facteurs</b>		
Question 1 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
Question 2 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		

Le questionnaire peut renfermer une cinquantaine de questions simples portant sur différents aspects névralgiques de leur travail, comme la disponibilité des matériaux et l'aménagement des lieux de travail, la disponibilité de l'équipement et des outils, les retouches et leur cause, les interventions de la direction et les inspections, ainsi que les mesures qui devraient être prises pour améliorer le processus. On peut aussi demander aux ouvriers combien d'heures sont perdues par semaine et par ouvrier en raison des problèmes mentionnés. On complète souvent ces questionnaires par des entrevues individuelles avec quelques ouvriers afin de confirmer les réponses et de s'assurer du sérieux des répondants.

Une fois les questionnaires remplis, on compile les résultats et on établit des statistiques qui sont communiquées à tous les intéressés sous la forme indiquée au tableau 2.5.

**Tableau 2.5 Résultats du questionnaire de l'ouvrier**

Problème/cause	H-p perdues par semaine	Pourcentage par semaine
Matériaux non disponibles ou mal situés	5,2	13,0
Outils non disponibles ou inappropriés	3,2	8,0
Équipement non disponible ou en réparation	2,0	5,0
Retouches	4,8	12,0
Intervention de la direction	2,1	5,3
Autres	2,5	6,3
<b>Total</b>	<b>19,8</b>	<b>49,5</b>

temps morts pendant les travaux de construction. Elle peut être aisément adaptée et mise en oeuvre. Pour plus de renseignements sur l'emploi de cette méthode, le lecteur est prié de consulter l'ouvrage de Tucker et al., 1982.

### 2.3.2 Questionnaire de l'ouvrier

Le questionnaire de l'ouvrier est une méthode d'enquête qui vise à cerner les préoccupations et les problèmes de l'ouvrier qui ont un effet sur sa motivation et sa productivité. Elle consiste essentiellement à distribuer aux ouvriers un simple questionnaire, semblable à celui de la figure 2.3. Le questionnaire renseigne sur les principaux facteurs qui entravent la productivité des ouvriers et sur le nombre d'heures-personnes perdues par ouvrier et par semaine pour des raisons bien précises.

Le rapport du tableau 2.5 révèle que la disponibilité des matériaux et de l'équipement (13 p. 100) et les retouches (12 p. 100) sont des aspects névralgiques du travail ; ils représentent 25 p. 100 du temps perdu par un ouvrier en une semaine. Il est souvent possible d'identifier les causes de ces pertes de temps à partir des réponses indiquées dans le questionnaire.

Les possibilités d'améliorer la productivité d'une activité à partir des conclusions tirées des réponses au questionnaire dépendent, dans une large mesure, de l'organisation, du niveau de détail et de la clarté du questionnaire, ainsi que du sérieux des ouvriers qui participent à l'évaluation.

## CIMFP Exhibit P-03243

### 2.4 Le modèle des écarts de productivité

Le modèle des écarts de productivité permet de combiner étude chronométrique et mesure de la productivité (Adrian et Boyer, 1976). L'observateur consigne sur une formule spéciale des données sur le cycle de base d'une ressource-repère au cours d'une activité donnée. Il note également la nature des temps morts qui surviennent pendant la période d'observation. Une fois les données recueillies, on procède à une série de calculs qui mesurent la productivité de l'activité étudiée, indiquent les principales causes des temps morts et fournissent d'autres statistiques utiles.

Le modèle des écarts de productivité peut être un moyen efficace de mesurer la productivité sur les lieux de travail et les temps morts qui en font baisser le niveau. L'expérience a révélé que les calculs sont plus faciles à effectuer lorsque les données sont entrées sur une feuille de calcul électronique. Dans l'exemple présenté ici, on a utilisé le logiciel Microsoft Excel. Toutes les feuilles de calcul électronique peuvent être aisément automatisées et banalisées au moyen de macro-instructions qui permettent d'exécuter automatiquement les calculs, une fois les observations entrées.

Ce modèle fournit plus d'information que les autres techniques d'échantillonnage du travail car, en plus d'offrir à l'utilisateur une mesure de la productivité, il informe sur les causes des temps morts ainsi que sur leur contribution relative au manque de productivité.

Le modèle des écarts de productivité est une méthode en cinq temps.

#### 1 Identification de l'unité de production et du cycle de base

L'unité de production est définie comme une quantité mesurable de travail pouvant être identifiée de visu, sans trop d'effort, par l'observateur. L'unité de production peut être par exemple une benne de béton, un camion de débris ou une rangée de briques. Le cycle de base correspond au temps total que prennent les ouvriers pour mettre en place une unité de production.

#### 2 Identification de la ressource-repère

La ressource-repère est celle qui au cours de l'opération étudiée a le plus d'effet sur la productivité. En d'autres termes, l'opération devra être interrompue si cette ressource cesse de produire. La ressource-repère peut être par exemple une grue servant à la mise en oeuvre du béton, le maçon qui pose des briques ou une niveleuse employée dans des travaux de ter-

rassement. L'observation et la détermination de la durée du cycle seront axées sur cette ressource.

#### 3 Identification des différents types de temps morts pouvant survenir au cours de l'opération

Il y a cinq types de temps morts selon qu'ils sont attribuables à l'environnement, à l'équipement, à la main-d'oeuvre, aux matériaux ou à la direction. L'expérience a démontré que les utilisateurs devraient définir leurs propres types de temps morts.

#### 4 Collecte des données

Le modèle des écarts de productivité demande un chronométrage du cycle de base de chaque unité de production mise en place. L'observateur doit aussi déterminer s'il y a eu un temps mort pendant un cycle donné et, le cas échéant, en indiquer la nature en se fondant sur les catégories définies à l'étape 3. On présente au tableau 2.6 des exemples de temps morts pour chaque catégorie.

#### 5. Traitement des données, analyse du modèle et recommandations

On traite les données recueillies en remplissant les grilles de la figure 2.4 et des tableaux 2.7 et 2.8, lesquelles sont suffisamment éloquentes. Il faut d'abord compléter la colonne 7 de la figure 2.4. Il suffit de soustraire des valeurs de la colonne 1 la durée moyenne des cycles exempts de temps morts. Ces résultats sont aussi donnés à la colonne 3 du tableau 2.7 pour un cycle de base sans temps morts.

L'observateur peut se servir de la formule de la figure 2.4 pour faciliter la collecte des données. Le modèle des écarts de productivité peut ne pas fonctionner lorsque le cycle de base est trop court pour être observé ou trop long pour se prêter à une observation soutenue. Cette méthode est déconseillée dans ces cas. Si l'on dispose d'un système chronophotographique, il est alors possible de capturer les cycles courts de traitement.

Afin d'illustrer le processus de collecte des données, prenons une opération simple, par exemple la mise en oeuvre d'une ferme de toit. L'unité de production identifiée dans ce cas (figure 2.4) est la mise en oeuvre effective d'une ferme de toit en bois. Le cycle de base débute au moment où les ouvriers redressent la ferme et se termine lorsque l'ouvrage est entièrement étrésoillonné. La ressource-repère est la grue mobile utilisée pour mettre en place les éléments d'ossature de la ferme. On a pu chronométrer les durées de cycle en visionnant l'opération filmée à l'aide d'une caméra à exposition retardée.

## CIMFP Exhibit P-03243

**Tableau 2.6 Exemples de temps morts identifiés pendant la collecte de données sur les écarts de productivité**

Environnement	Équipement	Main-d'oeuvre	Matériaux	Direction
Modification des conditions de sol	Mise en place de l'équipement	Pause non autorisée	Non disponibles au moment voulu	Mauvaise planification
Variations dans l'épaisseur du mur	Arrêt temporaire	Recherche de matériaux ou d'outils	Défectueux et devant être remplacés	Indécision quant aux mesures à prendre
	Entretien curatif	Directives	Mal situés sur le chantier	Non disponible pour transmettre des directives
		Arrivées tardives, départs précipités		Intervention entravant les autres travaux

**Figure 2.4 Feuille de compilation des données sur les écarts de productivité**

Date : 6 juin 1992							
Opération: Mise en oeuvre de fermes de toit				Observateur : SMA			
Unité de production : Une ferme				Unité de temps : seconde			
Cycle de base	Durée du cycle	Temps mort Envlo.	Temps mort Equip.	Temps mort Main-d'oeuvre	Temps mort Matériaux	Temps mort Direction	Traitement des données*
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	354						12,83
2	465		x				98,17
3	343						23,83
4	445	x					78,17
5	504				x		137,17
6	470		x				103,17
7	395						28,17
8	345						21,83
9	360						6,83
10	400						33,17
11	460		x				93,17
12	385						18,17
13	360						6,83
14	353						13,83
15	372						5,17
16	505			50%**		50%	138,17
17	465					x	98,17
18	440					x	73,17
19	430	x					63,17
20	360						6,83
21	375						8,17
22	405		x				38,17
23	475		x				108,17

\* Cette colonne n'est pas remplie au moment de la collecte des données. Elle est ajoutée ici pour faciliter le traitement.  
Pour remplir cette colonne, soustraire de la colonne 1 la durée moyenne des cycles sans temps mort.

\*\* L'observateur qui désire attribuer le temps mort à plus d'une source doit utiliser des pourcentages.

Les causes potentielles de temps morts sont également observées et consignées. Si plus d'un temps mort est observé au cours d'un même cycle, la proportion qu'ils représentent est alors indiquée sous forme de pourcentage (voir la rangée 16 de la figure 2.4). Lors de la première observation de la durée de cycle de la grue, il a fallu 354 secondes pour mettre en place une ferme et aucun temps mort n'a été observé. La valeur entrée dans la rangée 1 de la figure 2.4 est reportée dans la colonne 1. Pendant le deuxième cycle, d'une durée de 465 secondes, on a observé un temps mort attribuable à l'équipement. La durée du cycle est inscrite dans la rangée 1 de la colonne 2 et un « x » est inscrit à la colonne 3 pour indiquer le temps mort attribuable à l'équipement. On procède de la même manière pour remplir le reste de la formule.

Après avoir effectué les calculs de la manière indiquée au tableau 2.8, on peut se servir des équations du modèle des écarts de productivité pour mesurer la productivité de l'opération.

Productivité globale de la méthode = (productivité idéale) (1 -  $\Sigma$  pourcentage prévu de temps morts)

Nota :  $\Sigma$  pourcentage prévu de temps morts = somme de la rangée c du tableau 2.8

Productivité idéale = 1/durée moyenne des cycles sans temps mort

Nota : La durée moyenne des cycles sans temps mort correspond à la valeur de la rangée a, colonne 3 du tableau 2.7.

À la dernière étape du calcul des écarts de productivité, il faut déterminer la variabilité des taux de production idéal et global. On doit d'abord analyser ces taux pour évaluer la variabilité de la productivité de la méthode. Selon Adrian et Boyer (1976), plus la variabilité globale des cycles et la variabilité du cycle idéal est forte, moins les prédictions sur la productivité sont fiables. Ces rapports devraient donc être faibles. La variabilité des indicateurs de productivité du tableau 2.7 est calculée comme suit :

Variabilité du cycle idéal = valeur de la rangée a, col. 4 ÷ valeur de la rangée b, col. 3

Variabilité globale des cycles = valeur de la rangée b, col. 4 ÷ valeur de la rangée b, col. 3

Pour mieux comprendre le calcul des écarts de productivité, prenons l'exemple de la figure 2.4. Les 12 cycles identifiés comme exempts de temps mort ont une durée cumulative de 4 402 secondes. La durée moyenne des cycles est donc de 366,83 secondes (6,1 minutes). Les résultats du traitement de ces données sont indiqués aux tableaux 2.9 et 2.10.

**Tableau 2.7 Sommaire du calcul des écarts de productivité**

	Durée totale de l'activité de production	Nombre de cycles	Durée moyenne des cycles	$\Sigma$ [Durée de cycle - durée de cycle sans temps mort]/n
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cycles de base sans temps mort	Somme de tous les cycles (de la col. 1 de la fig. 2.4) au cours desquels aucun temps mort n'est observé	Nombre de cycles au cours desquels aucun temps mort n'est survenu	Col. 1 ÷ col. 2	Col. 7 de la fig. 2.4 correspondant aux cycles sans temps mort ÷ col. 2
Nombre total de cycles de base	Somme de tous les cycles (somme des valeurs de la col. 1 de la fig. 2.4)	Nombre total de cycles	Col. 1 ÷ col. 2	Col. 8 de la fig. 2.4 correspondant aux cycles sans temps mort ÷ col. 2

**Tableau 2.8 Information sur les temps morts**

Variance de temps	Environnement	Équipement	Main-d'œuvre	Matériaux	Direction
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Nombre d'occurrences	Total des cases cochées de la col. 2, fig. 2.4, pour cette catégorie de temps mort				
Accroissement total de la durée de cycle	Somme des temps morts de cette catégorie à la col. 7, fig. 2.4				
Probabilité de temps morts	Rangée a ÷ nombre total de cycles				
Importance relative	Rangée b ÷ rangée a x durée moyenne de tous les cycles, soit la rangée b et la colonne 3 du tableau 2.7				
Pourcentage prévu de temps morts	Rangée c x rangée d x 100				

**Tableau 2.9 Sommaire du calcul des écarts de productivité (échantillons)**

	Durée totale de l'activité de production	Nombre de cycles	Durée moyenne des cycles	$\Sigma$ [Durée de cycle - durée de cycle sans temps mort]/n
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cycles de base sans temps mort	4 402	12	366,83	15,47
Nombre total de cycles de base	9 466	23	411,57	52,81

**Tableau 2.10 Information sur les temps morts (échantillons)**

Variance de temps	Environnement	Équipement	Main-d'œuvre	Matériaux	Direction
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Nombre d'occurrences	2	5	1	1	3
Accroissement total de la durée de cycle	141,3	440,8	69,1	137,2	240,4
Probabilité de temps morts	0,09	0,22	0,04	0,04	0,13
Importance relative	0,17	0,21	0,17	0,33	0,19
Pourcentage prévu de temps morts	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03

La productivité idéale serait de (60 heures/min)/(6,1 minutes/cycle) = 9,81 fermes/heure. La productivité réelle correspond toutefois à la productivité idéale ajustée en fonction du pourcentage prévu de temps morts par cycle de base, soit 8,75 fermes par heure.

Les taux de variabilité seraient donc les suivants :

Variabilité du cycle idéal =  $15,47/366,83 = 0,04$  (ou 4 p. 100)

Variabilité globale des cycles =  $65,281/411,57 = 0,13$  (ou 13 p. 100)

Ce taux de variabilité est considéré relativement faible et indique que les taux de productivité calculés sont réalistes.

Les résultats d'analyse peuvent être utilisés pour déterminer le taux de productivité et les mesures à prendre pour l'améliorer. Le tableau 2.10 indique que la plupart des temps morts prévus peuvent être imputables à l'équipement (5 p. 100) mais que les temps morts les plus graves (les plus longs) résultent de la non-disponibilité des matériaux. La probabilité de 22 p. 100 d'un temps mort dû à l'équipement suggère que la direction devrait accorder une attention particulière aux problèmes liés à l'équipement.

## 2.5 Étude des diagrammes : diagrammes interrelationnels

Les diagrammes interrelationnels permettent d'étudier les interactions entre les membres d'une équipe et l'équipement nécessaire à l'accomplissement d'une tâche. Cette méthode est recommandée dans le cas de tâches répétitives comme la mise en œuvre du béton.

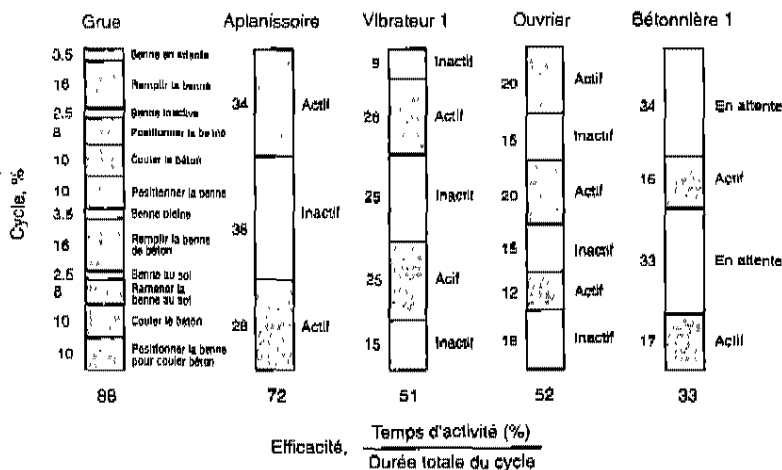
Les bandes verticales (voir la figure 2.5) représentent les personnes et les éléments de machine qui participent à l'activité étudiée. L'ordonnée représente le facteur temps, exprimé sous forme de pourcentage de la durée totale du cycle ou en temps réel. On divise chaque bande dans le sens vertical pour montrer la durée de chaque activité à l'intérieur du cycle de la tâche, y compris les temps de repos et les périodes inefficaces et improductives.

Pour construire un diagramme interrelationnel, il faut enregistrer la durée de chaque activité du cycle pour chaque ouvrier et chaque machine mis à contribution. À cette fin, on peut se servir d'un chronomètre ou d'une caméra à exposition retardée. Cette dernière méthode peut être plus efficace puisqu'elle permet de mesurer la durée de chaque activité au cours d'un seul cycle, tandis qu'avec un chronomètre il faut nécessairement échantillonner de nombreux cycles pour établir le temps

d'activité de chaque membre de l'équipe. Il est préférable de n'indiquer que les éléments qui touchent directement le problème étudié, car un diagramme interrelationnel encombré de données inutiles perd de son efficacité.

Grâce à ce diagramme, l'utilisateur peut déterminer les interactions en comparant les activités représentées le long de l'abscisse puisque l'échelle de temps est la même pour tous les membres de l'équipe. Cette méthode permet de voir rapidement si l'équipe est trop peu nombreuse ou mal organisée pour la tâche à accomplir, et de prendre les mesures correctives qui s'imposent. L'analyse d'un diagramme interrelationnel incite l'utilisateur à rechercher d'autres méthodes pour accélérer ou faciliter l'exécution de la tâche. Parfois, il suffit de réorganiser l'équipe ; dans d'autres cas, il faut adopter des méthodes plus efficaces.

**Figure 2.5 Modèle de diagramme interrelationnel pour la mise en oeuvre du béton (durée du cycle = 4 minutes)**



## 2.6 Simulation et analyse par ordinateur

Dans le présent contexte, la simulation désigne la « construction d'un modèle mathématique ou logique d'un système et son expérimentation sur ordinateur » (Pritsker, 1986). Le présent ouvrage ne traite que de la construction de modèles CYCLONE. Bien qu'il existe d'autres techniques, aucune ne s'est encore révélée aussi prometteuse et digne d'intérêt que la méthode CYCLONE.

### 2.6.1 Principales étapes de la simulation de processus de construction

La simulation comporte deux grandes étapes : la modélisation et l'expérimentation. La technologie CYCLONE offre à l'utilisateur les éléments et les méthodes de modélisation

dont il pourra se servir pour représenter une activité de construction, un peu comme le fait le responsable de l'ordonnancement d'un projet de construction lorsqu'il construit un réseau d'activités par la méthode du chemin critique, c'est-à-dire en précisant les différentes activités, leurs liens logiques, leur durée et les ressources qui y sont affectées. Pour modéliser une opération à l'aide de CYCLONE, il faut d'abord représenter les ressources affectées et leurs interactions. Une ressource peut être active ou au repos. L'état actif est représenté par un carré et l'état au repos, par un cercle. À l'intérieur du modèle, une ressource peut changer d'état et passer d'une activité à l'autre. Le concept même de la simulation repose sur le mouvement des ressources ; il est donc essentiel de faire la distinction entre cette méthode dynamique et un système statique comme la méthode du chemin critique.

### 2.6.2 Construction d'un modèle CYCLONE

On construit un modèle CYCLONE à l'aide des éléments CYCLONE présentés au tableau 2.11.

Les règles applicables à la construction de modèles de réseaux CYCLONE sont présentées brièvement au tableau 2.11.

La démarche décrite ci-après résume la méthode de modélisation CYCLONE.






1. Identifier toutes les ressources affectées à l'opération à modéliser.
2. Définir les tâches (états actifs de la ressource) qui composent le processus à modéliser. Représenter ces tâches par des carrés (une tâche qui est entravée par la non-disponibilité de plus d'une ressource est représentée par un élément mixte dit COMBI et les tâches qui se déroulent comme prévu par un élément ordinaire dit NORMAL).
3. Définir les ressources nécessaires à l'exécution des tâches et décider si elles doivent être mises en attente lorsqu'une tâche entravée n'est pas accessible, c'est-à-dire qu'elle est différée jusqu'à l'arrivée des ressources manquantes. Cette situation est représentée par des cercles appelés mises en attente ou QUEUE, en langage CYCLONE.
4. Établir les liens logiques entre ces tâches (c'est-à-dire la présence et l'ordre d'exécution) en reliant les points COMBI, NORMAL et QUEUE par des flèches directionnelles qui indiquent le mouvement des ressources après achèvement de chaque tâche. Ces éléments forment le réseau CYCLONE.

## CIMFP Exhibit P-03243

On trouvera à la figure 2.6 un exemple simple d'un modèle de réseau CYCLONE appliqué à des travaux de terrassement. Un tas de débris doit être transporté d'un point à un autre. Les débris doivent d'abord être chargés, puis transportés et enfin déposés à l'endroit prévu. Après avoir déposé sa charge, l'unité mobile doit retourner à son point de départ pour prendre une nouvelle charge.

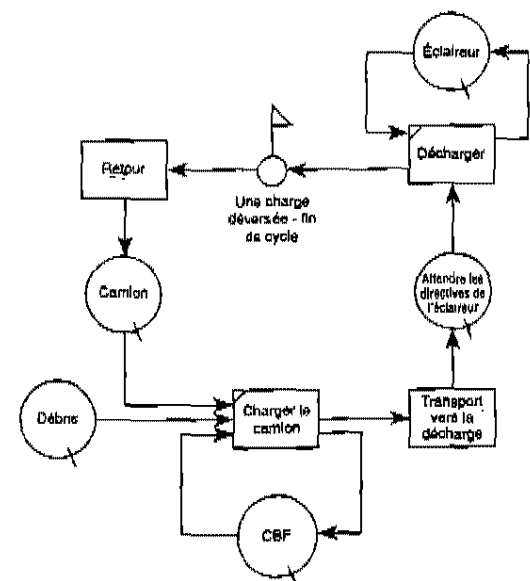
Page 70

**Tableau 2.11 Règles de construction des modèles CYCLONE**

Élément CYCLONE	Description et règles de construction des modèles
<b>NORMAL</b> 	<p>Le symbole NORMAL représente une tâche non entravée. Toute ressource se présentant à un point NORMAL peut accéder à la tâche et est immédiatement mise à contribution. On peut comparer ces points à une station de prise en charge comportant un nombre infini de serveurs.</p> <p>Peut être précédé de tous les autres éléments CYCLONE sauf les éléments de mise en attente.</p> <p>Peut être suivi de tous les autres éléments sauf l'élément COMBI.</p>
<b>COMBI</b> 	<p>Le symbole COMBI représente une tâche entravée par la non-disponibilité de plus d'un type de ressource. Une ressource se présentant à un point COMBI devra attendre que toutes les autres ressources nécessaires soient disponibles avant d'accéder à la tâche.</p> <p>Ne peut être précédé que d'une mise en attente.</p> <p>Peut être suivi de tous les éléments sauf les éléments COMBI.</p>
<b>QUEue</b> 	<p>Le symbole QUEue correspond à la mise en attente d'une ressource. On ne l'utilise que lorsqu'une tâche est entravée. Une ressource se présentant à un point QUEue est mise en attente jusqu'à ce qu'un élément COMBI soit prêt à la mettre en oeuvre.</p> <p>Un point QUEue remplit une autre fonction dans le MicroCYCLONE, soit de multiplier les ressources lorsque cette mesure est imposée. En d'autres termes, le constructeur de modèle peut établir qu'une ressource se présentant à un point QUEue donné se multipliera en un nombre fini de ressources de même nature.</p> <p>Peut être précédé de tous les éléments sauf un point QUEue.</p> <p>Ne peut être suivi que de COMBI.</p>
<b>FONCTION</b> 	<p>L'élément FONCTION a été conçu pour offrir une certaine souplesse. Des applications informatiques de CYCLONE comporteront des fonctions légèrement différentes. MicroCYCLONE autorise un type de fonction, soit la fonction de consolidation. Elle permet de regrouper et de consolider les unités sous un numéro spécifique. Toutes les unités arrivant à cette fonction s'accumuleront jusqu'à ce qu'elles aient atteint une valeur prédéfinie, après quoi une seule unité est libérée de la fonction (toutes les autres étant détruites).</p> <p>Peut être précédée de tous les éléments sauf les éléments QUEue.</p> <p>Peut être suivie de tous les éléments sauf les éléments COMBI.</p>
<b>COMPTEUR</b> 	<p>Le compteur enregistre le nombre de passages des unités. Il ne modifie d'aucune façon les ressources ou leurs caractéristiques. Il augmente simplement d'une unité à chaque cycle et enregistre quelques autres données.</p> <p>Peut être précédé de tous les éléments sauf les éléments QUEue.</p> <p>Peut être suivi de tous les éléments sauf les éléments COMBI.</p>

Supposons que cette opération sera exécutée par un chargeur à benne frontale (CBF), trois camions et un ouvrier qui remplit la fonction d'éclaircur. Nous avons ici les éléments de l'étape 1. Au paragraphe précédent, on a mis en italique les termes qui désignent les différentes tâches de l'opération, ce qui remplit les conditions de l'étape 2. On établit ensuite une correspondance entre les tâches et les éléments CYCLONE équivalents, que l'on dispose de la manière indiquée à la figure 2.6. La tâche de chargement est entravée par la non-disponibilité du camion et du CBF ; elle est donc modélisée au moyen d'un point COMBI (la tâche de déchargement, qui doit être effectuée par le camion et l'éclaircur, est donc également entravée et désignée par un symbole COMBI). Le transport jusqu'au point de déchargement ne fait intervenir que le camion et peut être représenté par le symbole NORMAL. De la même manière, le retour du camion vers son point de départ se fait en mode NORMAL. Lorsque la tâche est entravée, elle est précédée de deux symboles QUEue, qui représentent la mise en attente respective des ressources. Le chargement est précédé d'une mise en attente du CBF, car ce dernier doit attendre qu'un camion soit disponible. On attribue aux débris un symbole QUEue, ainsi qu'au camion qui attend son chargement. Le camion qui attend d'être déchargé reçoit aussi un symbole de mise en attente. On s'aperçoit que dans la méthode CYCLONE, c'est l'état des ressources qui est modélisé plutôt que les ressources elles-mêmes.

**Figure 2.6 Modèle CYCLONE d'une opération de terrassement**



## CIMFP Exhibit P-03243

### 2.6.3 Expérimentation, analyse et simulation

Une fois construit, le modèle peut être entré dans un programme informatique comme MicroCYCLONE aux fins de traitement et de réalisation de l'étude de simulation. Celle-ci fournira :

- une estimation qui permettra de compléter l'opération;
- le taux de production horaire;
- d'autres mesures du niveau d'utilisation de l'équipement.

À la figure 2.7, on présente un autre modèle d'une opération de terrassement, qui diffère quelque peu de l'opération décrite à la figure 2.6. Le modèle peut servir à équilibrer les ressources, à maximiser la productivité ou à réduire au minimum les coûts unitaires, l'incertitude et le risque.

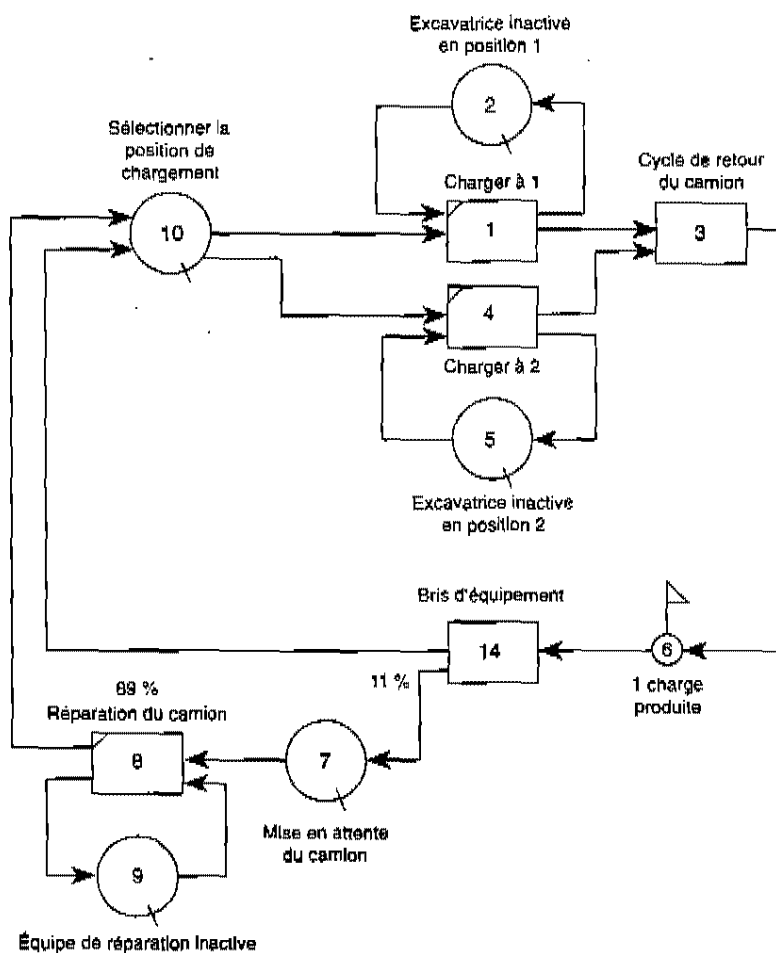
L'opération considérée dans le présent modèle consiste à remanier le sol pour aménager une installation sportive sur un campus universitaire. La terre doit être transportée depuis l'emplacement de la future installation jusqu'au

lieu de déchargement, situé à environ 3 km. Deux excavatrices enlèvent la terre en deux points distincts du terrain. Un certain nombre de camions transportent les débris, les déchargent et reviennent à leur point de départ pour recevoir un nouveau chargement. Généralement, le camion doit attendre que l'une des excavatrices s'immobilise avant de pouvoir être chargé. G. Cotrell a observé l'opération et mesuré au chronomètre la durée des cycles des divers équipements. Il a constaté que les camions étaient hors service pendant près de 5 p. 100 des cycles en raison de crevaisons, dues par exemple à des surcharges.

Le modèle CYCLONE de l'opération a été construit de la manière décrite, sauf pour ce qui est des temps d'interruption du camion. Le branchement dérivé du point fictif NORMAL (n° 14) indique que chaque fois qu'un camion se présente à cette tâche, il a 5 chances sur 100 d'être acheminé vers une tâche de réparation (n° 8) et 95 chances sur 100 de poursuivre son cycle. Après réparation, le camion est libéré et vient terminer son cycle initial. C'est ainsi que les bris d'équipement sont modélisés dans le système CYCLONE.

On peut maintenant entrer le modèle dans le système MicroCYCLONE. Le manuel de l'utilisateur qui accompagne ce programme (Halpin, 1990) fournit au lecteur tous les renseignements dont il a besoin. La première étape consiste à transférer le modèle graphique dans un fichier de texte rédigé en langage MicroCYCLONE. Le modèle de la figure 2.7 est traduit sous la forme du fichier présenté à la figure 2.8.

**Figure 2.7 Autre modèle CYCLONE d'une opération de terrassement**



**Figure 2.8 Fichier de données d'entrée du programme de simulation**

```

NAME 'Earth Moving' LENGTH 5000 CYCLE 100
NETWORK INPUT
1 COMBI SET 1 'LOAD @ 1 FOL 2 3 PRE 2 10
2 QUE 'EXCAVATOR1 IDLE'
3 NOR SET 2 'TRK BACK CYC' FOL 6
4 COMBI SET 3 'LOAD @ 2' FOL 3 5 PRE 5 10
5 QUE 'EXCAVATOR2 IDLE'
6 FUN COU FOL 14 QUA 1
7 QUE 'TRK QUEUE'
8 COMBI SET 4 'TRUCK REP' FOL 9 10 PRE 7 9
9 QUE 'REPAIR CREW'
10 QUE 'SEL LOAD POSITION'
14 NOR SET 5 'TRK BREAKDWN' FOL 7 10 PRO 0.05
0.95 SEED 101
RESOURCE INPUT
1 'EXCAVATOR' AT 2 FIX 129.38
1 'REPAIR CREW' AT 9 FIX 28
DURATION INPUT
SET 1 5
SET 2 35
SET 3 9
SET 4 60
SET 5 0
ENDDATA

```

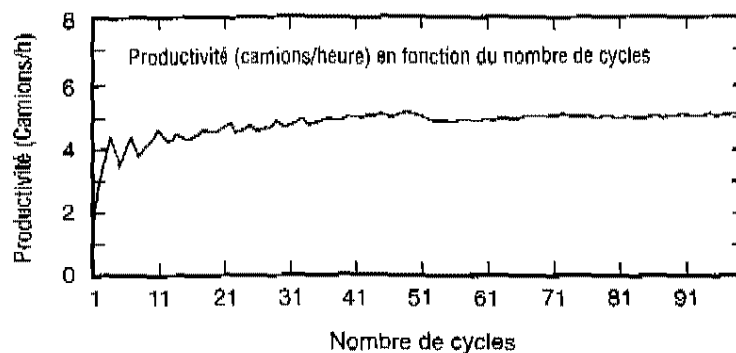
Ce fichier est entré dans le programme MicroCYCLONE et la simulation est amorcée. Au début, quatre camions travaillaient avec deux excavatrices. Le programme produit la courbe de production indiquée à la figure 2.9.

Exécutons maintenant une simulation multiple pour déterminer la meilleure combinaison de camions et d'excavatrices. On suppose d'abord que l'on dispose de deux excavatrices et de 25 camions. On exécute la simulation. La production horaire et le coût unitaire en fonction du nombre de camions sont donnés à la figure 2.10. La meilleure combi-

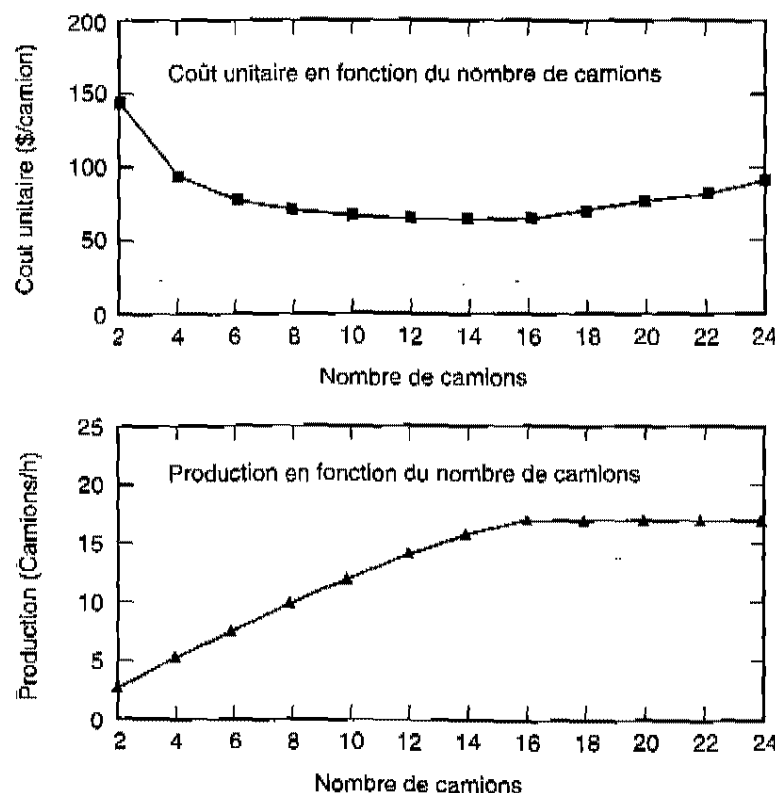
naison, soit celle qui présente le taux de productivité le plus élevé quant aux charges transportées par heure, est celle qui utilise 16 camions. De 12 à 16 camions permettent d'obtenir le meilleur coût unitaire, lequel s'accroît légèrement lorsque le nombre de camions tombe à 10 ou passe à 18.

Une fois le modèle construit, les possibilités d'analyse sont quasi illimitées. On peut par exemple essayer différentes combinaisons d'équipement, observer ce qui se passe dans le système lorsque le lieu de déchargement est modifié ou, estimer le temps nécessaire pour déplacer une quantité définie de débris.

**Figure 2.9 Courbe de production du processus simulé**



**Figure 2.10 Résumé des résultats de la simulation**



## 2.6.4 Simulation et productivité

La simulation peut être un outil très efficace lorsqu'il s'agit de planifier la productivité. On a par ailleurs mené des études de simulation pour mieux comprendre l'effet respectif des divers facteurs sur la productivité. On peut aussi se servir de la simulation pour justifier les baisses de productivité attribuables aux conditions climatiques défavorables, aux délais imprévus, à de nouvelles conditions, à des modifications au contrat et à d'autres facteurs. Ce genre d'étude permet aussi d'analyser les effets de certains facteurs humains sur la productivité.

L'industrie de la construction est beaucoup plus complexe que le secteur industriel et l'industrie des services. Les travaux de construction se déroulent souvent à ciel ouvert, dans un environnement qui change avec chaque projet. Les tâches sont souvent loin d'être répétitives et la main-d'œuvre est diversifiée. La construction est une industrie unique et nous devons la voir comme telle lorsque nous évaluons les techniques de gestion.

Les méthodes décrites ici ont été mises à l'essai dans le cadre de nombreux projets. Malheureusement, l'industrie de la construction, traditionnellement axée sur les travaux manuels, n'a pas encore pris les mesures nécessaires pour se doter d'outils plus perfectionnés qui lui permettraient d'améliorer sa productivité. Il revient à chacun de prendre l'initiative de nouvelles méthodes et techniques pour mesurer et augmenter la productivité.



## Ouvrages complémentaires

Adrian, J. et L.T. Boyer, 1976. « Modeling Method - Productivity ». *ASCE J. Const. Div.* 103 (3):154-168.

Halpin, D.W., 1977. « CYCLONE : Method for Modeling of Job Site Processes ». *ASCE J. Const. Div.* 103 (3):489-499.

Halpin, D.W. et R.W. Woodhead, 1976. *Design of Construction and Process Operations*. New York : John Wiley and Sons.

Halpin, D.W., 1990. *MicroCYCLONE User's Manual*. Division of Construction Engineering and Management, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Halpin, D.W. et L.S. Riggs, 1992. *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York : John Wiley and Sons.

Pritsker, A., 1986. *Introduction to Simulation and SLAM II*. New York : John Wiley and Sons.

Tucker, R.L., D.F. Rogge, W.R. Hayes, et F.P. Hendrickson, 1982. « Implementing Foreman Delay Surveys ». *ASCE J. Const. Div.* 108 (4):577-591.

# 3 Le facteur humain et l'amélioration de la productivité

## 3.1 Introduction

On peut accroître la motivation des travailleurs en valorisant leurs tâches (en augmentant leurs sources de satisfaction) et en éliminant le plus possible les facteurs qui inhibent la motivation (soit les aspects que les travailleurs aiment le moins de leur travail). Cette mesure, qui constitue la méthode de gestion la plus courante en Amérique du Nord, ne suffit pas ; elle doit nécessairement être accompagnée d'un enrichissement des tâches.

Les travailleurs sont motivés lorsqu'ils accomplissent un travail productif de qualité, qu'ils créent ou bâtissent quelque chose et qu'ils entretiennent des relations harmonieuses avec leurs compagnons de travail. On peut obtenir des travailleurs un travail productif en planifiant efficacement le travail et en favorisant la communication. Les bonnes relations interpersonnelles viennent naturellement lorsque le climat de travail est amical et fondé sur le respect mutuel. Les gens et les organisations ont besoin de se fixer des buts, et il arrive souvent que les travailleurs sont motivés par la réalisation ou le dépassement d'un objectif. Il faut donc définir clairement les objectifs si l'on veut que les travailleurs donnent le meilleur d'eux-mêmes et qu'ils connaissent une réelle satisfaction personnelle. Les gens ont besoin d'un système ou d'une méthode qui leur permette de mesurer leurs réalisations et de les comparer à un objectif précis.

Les travaux de construction sont variés, ce qui en soi peut être une source de satisfaction. Les travailleurs sont souvent motivés lorsqu'ils voient leur travail progresser et qu'ils sont satisfaits des résultats. De nombreux facteurs viennent néanmoins miner cet enthousiasme, notamment :

- la non-disponibilité des matériaux, outils et équipements appropriés ;
- les relations tendues entre les autres travailleurs et la direction ;
- le manque d'organisation ;
- le manque de communication ;
- l'absence de reconnaissance des efforts exceptionnels ;
- le manque de respect ;
- l'attribution inéquitable des tâches ;
- des travaux de conception ou de génie incomplets ;

- l'absence de collaboration entre les différents corps de métiers ;
- une surveillance inadéquate ;
- les retouches ;
- l'exclusion des processus décisionnels ;
- les marches à suivre restrictives ou fastidieuses.

Il est possible d'accroître le niveau de satisfaction et de motivation des travailleurs en éliminant ou en réduisant ces problèmes. Pour mieux connaître les problèmes que rencontrent les travailleurs, il peut être utile de mettre en place des boîtes à suggestions ou de recourir à des questionnaires semblables à ceux décrits au chapitre 2.

## 3.2 Motivation

L'application des théories de la motivation aux problèmes courants soulève trois questions :

- Quels sont les moteurs du comportement humain ?
- Qu'est-ce qui guide ce comportement ?
- Qu'est-ce qui nourrit ce comportement ?

Les réponses données par divers sociologues peuvent être exprimées différemment mais il n'en demeure pas moins que les humains sont stimulés par leurs besoins physiologiques, que leur comportement est guidé par leurs attentes et que leurs efforts sont encouragés par une juste récompense.

### 3.2.1 La motivation dans l'industrie de la construction

L'édition du 10 juillet 1980 de la revue *The Listener*, publiée par la British Broadcasting Corporation, renfermait un article décrivant l'expérience britannique dans le domaine de la construction de centrales nucléaires et dont voici un extrait.

« Au cours des dernières années, aucune grande centrale n'a été terminée à la date prévue. Aucun des projets en cours ne respecte les délais fixés. Les retards vont de deux à deux ans et demi dans le cas des usines de produits chimiques et peuvent atteindre quatre ans lorsqu'il s'agit de projets de l'envergure de la centrale nucléaire de Isle of Grain (G.-B.). Cette détérioration du travail n'est pas uniquement ni même princi-

palement due aux grèves ; elle est résultat d'une productivité incroyablement faible. Croiriez-vous qu'un ouvrier peut passer huit heures sur un chantier et ne travailler en tout et pour tout que 45 minutes dans la journée ?

Non seulement il le peut mais cette attitude est monnaie courante dans l'industrie. Au cours d'une journée normale de huit heures, on consacre en moyenne quatre heures à pointer à l'arrivée et la sortie, à se rendre au lieu de travail et à en revenir, à faire la pause, à attendre que les conditions météorologiques s'améliorent et à assister à des réunions syndicales, ce qui laisse quatre heures pour travailler. L'inefficacité, les excédents de main-d'oeuvre et d'autres mauvaises pratiques grignotent encore deux ou trois heures, et voilà ce qu'on appellerait un bon chantier britannique, où l'on ne consacre au travail véritable qu'une heure et quarante minutes. Sur un mauvais chantier, où les pauses de dix minutes en durent souvent soixante, on travaille donc à peine quarante minutes. Les directeurs d'atelier peuvent vous raconter que certains ouvrages prennent des heures à mettre en place et que certaines cheminées sont si hautes qu'il faut une demi-heure pour en atteindre le sommet, ce qui expliquerait pourquoi les hommes passent si peu de temps armés de leurs outils. Il n'y a pourtant qu'une seule cheminée de cette taille à la centrale de Grain.

Ces chiffres ne sont ni fantaisistes ni même exagérés et reflètent la détérioration de la productivité de la centrale de Grain, qui est de 30 p. 100 plus faible qu'elle ne l'était dans deux autres centrales comparables mais plus anciennes... »

À Isle of Grain, on a mesuré la productivité par échantillonnage du travail (voir le chapitre 2), méthode qui consiste à observer au hasard afin de déterminer le rapport du temps productif à la durée totale des tâches. Aux fins de telles études, le temps productif est défini comme le temps consacré à découper les matériaux, à hisser l'équipement, à mettre en place des éléments ou à construire des coffrages, le plus souvent au moyen d'outils.

Pour comprendre les effets de la motivation, il faut analyser tous les facteurs qui influent sur l'efficacité. L'efficacité de la main-d'oeuvre désigne la vitesse à laquelle les travailleurs exécutent les tâches qui leur sont assignées à un moment et en un endroit donnés. Dans la mesure où les expressions « efficacité de la main-d'oeuvre » et « productivité de la main-d'oeuvre » sont interchangeable, la seconde désignera, dans le présent contexte, le taux d'avancement matériel d'une seule tâche par heure-personne, où la valeur ajoutée résulte

uniquement des efforts humains. En termes simples, l'efficacité de la main-d'oeuvre est régie par l'attitude des travailleurs à l'égard de la tâche qui leur est assignée et leur capacité à la mener à bien. Malheureusement, cette définition tend à faire reposer toute la responsabilité de l'efficacité ou de l'inefficacité sur les épaules des ouvriers, ce qui n'est pas équitable puisque la direction a autant sinon plus d'influence sur l'efficacité que la main-d'oeuvre.

Les facteurs qui influent sur l'efficacité de la main-d'oeuvre comprennent les contraintes accessoires comme les règlements gouvernementaux, les conditions climatiques, les règles syndicales, les aptitudes ou le comportement de la main-d'oeuvre, et les méthodes de gestion.

La motivation peut être de deux ordres :

- Elle peut être liée à l'attitude de l'individu qui se présente sur le chantier, attitude qui découle de sa situation sociale, de son milieu familial, de ses croyances religieuses, voire de ses affiliations politiques.
- Elle peut aussi résulter des divers facteurs liés au travail, dont la responsabilité incombe à la direction.

### 3.2.2 Facteurs influant sur la motivation

Si l'on en juge par les résultats d'études effectuées par échantillonnage du travail, les méthodes de gestion qui augmentent la motivation sont, semble-t-il, une planification efficace, une bonne communication et un milieu de travail sain. La propreté des lieux, la sécurité, des installations sanitaires convenables, une protection contre les intempéries, des mesures disciplinaires sévères mais justes ainsi qu'une récompense des efforts fournis sont les éléments d'un milieu de travail sain.

#### 3.2.2.1 Planification

La planification comprend l'organisation générale du travail et la répartition des tâches sur le chantier. La planification qui relève des paliers supérieurs doit viser à ordonner efficacement les différentes phases du projet, c'est-à-dire que la conception doit précéder la préparation des dessins d'exécution, et que la construction proprement dite ne doit être entreprise qu'une fois les dessins dûment approuvés. De même, un corps de métier ne doit être appelé sur le chantier que lorsque les tâches préalables sont suffisamment avancées pour que les travaux se déroulent de manière ininterrompue. Une bonne planification motive les travailleurs parce qu'ils peuvent alors créer et maintenir une dynamique qui ne sera pas interrompue jusqu'à l'achèvement des tâches assignées.

Pour bien planifier les travaux, il faut appliquer correctement les techniques d'ordonnement, prévoir l'aménagement du chantier et l'approvisionnement, attribuer et organiser les tâches, et adopter des démarches efficaces de gestion de crise. Une bonne planification fait aussi intervenir des mécanismes de rétroaction et de contrôle. Pour plus de renseignements sur ces aspects de la planification, le lecteur est prié de consulter des ouvrages sur la gestion de projets, notamment Ahuja (1984), Halpin et Woodhead (1976), et Hendrickson et Au (1989).

### 3.2.2.2 Communication

Pour contribuer au succès d'un projet, il faut dire au travailleur ce qu'on attend de lui. Une explication claire des tâches et des attentes est essentielle. Les employés doivent aussi savoir d'où viennent ces directives, c'est-à-dire que la chaîne de communication doit être tangible. Des directives provenant d'une source inconnue seront ignorées. Par ailleurs, pour être vraiment efficace, la communication doit être bidirectionnelle. Le système de gestion de bas en haut en usage au Japon améliore vraiment la productivité. Ce système fonctionne parce qu'il préconise une communication bidirectionnelle.

Les directives verbales et les dessins sont deux modes de communication qui doivent être complets en soi et transmis en temps voulu pour garantir une bonne planification. La mise au point récente de logiciels d'ordonnement et de contrôle permet de produire des rapports personnalisés. En d'autres termes, un contremaître responsable des coffrages se verra transmettre un rapport s'appliquant uniquement à son champ d'activité et ne portant que sur ses responsabilités. Le contremaître peut alors accorder toute son attention aux ressources qu'il emploie et surveiller le début et l'avancement des travaux dont il a la responsabilité. Grâce à cette méthode, on transmet au personnel de chantier des directives plus claires et on améliore le processus de communication.

### 3.2.2.3 Milieu de travail

La création d'un climat qui motivera les ouvriers dépend dans une large mesure de l'attention accordée aux besoins fondamentaux du personnel. Lorsque la direction néglige cet aspect, le milieu de travail peut avoir un effet dévastateur sur l'attitude de la main-d'oeuvre et inhiber la motivation.

Sur un chantier de construction, les besoins de base se résument aux commodités auxquelles un être humain est en droit de s'attendre à notre époque, par exemple de l'eau potable, des installations sanitaires convenables, un accès au chantier, un stationnement et de l'équipement de protection.

### 3.2.2.4 Discipline

En plus d'être à l'affût des injustices, un gestionnaire doit être prêt à reconnaître et à louer un rendement exemplaire. Lorsque les surveillants négligent de maintenir la discipline et d'appliquer des mesures correctives, l'ensemble de la main-d'oeuvre peut perdre sa motivation. Il faut bannir le favoritisme.

### 3.2.2.5 Récompenses

Une récompense peut prendre la forme d'un avancement dans l'échelle hiérarchique, d'une reconnaissance sociale ou d'un avantage financier quelconque. Selon les circonstances et le caractère de la personne, elle peut se traduire par une tape sur l'épaule ou la satisfaction du travail accompli, mais il faut toujours que la raison et la nature de la récompense soient clairement comprises du travailleur. Il faut en outre que la récompense soit proportionnelle aux efforts fournis. Une récompense non méritée ou disproportionnée peut avoir un effet contraire au but recherché. Enfin, lorsqu'elles constituent le seul facteur de motivation, les récompenses ont peu d'effet sur la productivité.

### 3.2.3 Facteurs de motivation

Frederick Herzberg, l'un des plus célèbres spécialistes du comportement humain, a posé les principes suivants comme moyens d'améliorer la productivité :

- supprimer certains mécanismes de contrôle tout en maintenant le principe de responsabilité ;
- responsabiliser davantage les ouvriers à l'égard de leur travail ;
- confier à une personne la totalité d'une tâche ;
- accorder des pouvoirs aux employés dans leur domaine de compétence ;
- établir des rapports périodiques et les transmettre directement à l'ouvrier visé ;
- confier aux employés des tâches nouvelles, plus difficiles ;
- assigner aux ouvriers des tâches précises ou spécialisées de manière à accroître leur compétence dans un domaine.

Ces règles s'appliquent à tous les niveaux d'activité sur un chantier de construction.

### 3.2.4 Facteurs inhibant la motivation

Ces facteurs n'ont aucun effet positif, et le fait de les éliminer ne peut en aucune manière accroître la motivation.

### 3.2.4.1 Heures supplémentaires

On considère comme heures supplémentaires celles qui s'ajoutent aux quarante heures d'une semaine normale. Selon la plupart des études, une semaine de quarante heures constitue une période de travail optimale, au-delà de laquelle on observe une baisse du taux de production. Ce ralentissement a plusieurs raisons. Tout d'abord, les travailleurs tendent à ralentir la cadence pour mieux supporter la fatigue d'une longue journée. La perte de productivité qui en résulte pourrait, selon certaines sources, dépasser la quantité de travail effectué en heures supplémentaires. En termes simples, après neuf semaines de travail supplémentaire ininterrompu, la production correspondant à

une semaine de 50 heures est inférieure à celle qui aurait été enregistrée au cours d'une semaine normale de 40 heures. Le tableau 3.1 montre la relation que l'on peut établir entre le nombre d'heures supplémentaires et la perte de productivité.

Ce tableau est tiré d'une étude effectuée en 1964 dans la région de Détroit, et les données sont dans une large mesure confirmées par d'autres études menées par la Mechanical Contractors' Association et l'Electrical Contractors' Association, par une évaluation de Proctor & Gamble et par le guide d'estimation à l'intention des grandes entreprises d'approvisionnement technique et de construction.

On peut remplacer les heures supplémentaires par des horaires de travail réaménagés, dont voici quelques exemples.

- Une semaine de quatre jours de 10 heures représente des coûts de mise en train journaliers plus faibles, une réduction des temps morts de l'équipement, un nivellement de la demande de pointe en personnel et une diminution de l'absentéisme.
- Si un projet a été mené à bien de façon satisfaisante avant l'échéance, les équipes d'ouvriers peuvent avoir droit à un congé payé en reconnaissance de leurs efforts exceptionnels. Les employés qui ont pris moins de huit heures pour terminer leur travail quotidien peuvent se voir accorder le droit de rentrer chez eux et être payés pour une journée complète.

Dans un horaire de quatre jours, la période de travail, qui représente quatre quarts de 10 heures, est suivie de quatre jours de congé. En employant des groupes d'employés différents tous les quatre jours, on peut donc réduire le nombre de personnes présentes sur le chantier, la durée totale des travaux et la demande d'équipement, et prévenir l'épuisement des ouvriers.

### 3.2.4.2 Excédent de main-d'oeuvre

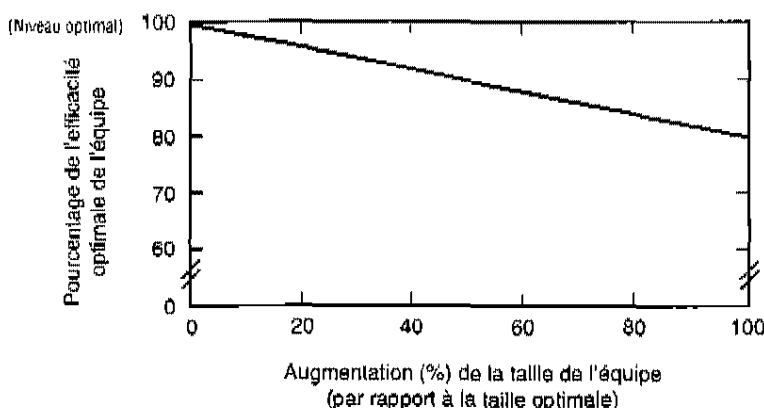
Ce problème survient lorsque l'on assigne à une tâche plus d'ouvriers qu'il n'en faut pour obtenir un travail productif. L'excédent de main-d'oeuvre peut se traduire par une équipe plus nombreuse ou par la multiplication du nombre d'équipes ; dans les deux cas, il y aura perte de productivité. La figure 3.1 montre l'effet d'une augmentation des effectifs sur la capacité d'une équipe à exécuter la tâche dans les délais prévus.

La taille optimale d'une équipe, dans le cas d'une activité donnée, doit assurer un équilibre entre un taux d'avancement des travaux qui soit acceptable et le niveau maximal de productivité. L'expérience a démontré que dans un projet où l'excédent de main-

**Tableau 3.1 Pertes de productivité attribuables aux heures supplémentaires**

Jours/ Semaine	Heures de travail par jour	Heures de travail par semaine	Coefficient d'inefficacité			
			7 jours	14 jours	21 jours	28 jours
5	9	45	1,03	1,05	1,07	1,1
5	10	50	1,06	1,08	1,12	1,14
5	11	55	1,1	1,14	1,16	1,2
6	9	54	1,05	1,07	1,1	1,12
6	10	60	1,08	1,12	1,16	1,21
6	12	72	1,13	1,2	1,26	1,32
7	8	56	1,1	1,15	1,2	1,25
7	9	63	1,12	1,19	1,24	1,31
7	10	70	1,15	1,23	1,3	1,38
7	12	84	1,21	1,32	1,42	1,53

**Figure 3.1 Effets d'une équipe en surnombre (excédent de main-d'oeuvre)**



Tiré de : U.S. Department of the Army Office of the Chief of Engineers, 1979. *Modification Impact Evaluation Guide*. Washington (D.C.), 20314, p. 4-14.

d'oeuvre est important, on peut parfois accroître le taux d'avancement des travaux en réduisant le nombre de travailleurs ou d'équipements sur le chantier. Un excédent de main-d'oeuvre nuit à la surveillance, ralentit la livraison des matériaux parce qu'on ne peut répondre simultanément à toutes les demandes et, de façon générale, a un effet défavorable sur le moral des travailleurs.

La taille optimale d'une équipe correspond au nombre minimal de travailleurs nécessaires pour accomplir une tâche au moindre coût et dans les délais prévus. Plus le nombre de travailleurs augmente ou diminue par rapport au niveau optimal, plus la productivité baisse.

### 3.2.4.3 Chevauchement des corps de métiers

Le chevauchement des corps de métiers (qui crée une congestion) est un problème qui survient lorsque plusieurs corps de métiers, qui devraient travailler les uns à la suite des autres, doivent accomplir leur tâche simultanément dans un espace de travail restreint. L'aire de travail est alors réduite (ou semble plus exiguë aux travailleurs) parce que tous les corps de métiers y apportent les matériaux dont ils ont besoin. Chacun tente de terminer son travail sans que l'ordre des opérations ne soit coordonné. Souvent, le nouvel ouvrage à peine terminé doit être démolé et repris. Cette congestion peut aussi donner lieu à des méthodes et à des conditions de travail peu sécuritaires, et entraîner une perte de productivité de tous les corps de métiers qui se trouvent dans cette situation.

période donnée ou de mener à bien une quantité donnée de travail dans un intervalle plus court. On réunit alors un nombre d'ouvriers excessif par rapport à l'aire de travail disponible.

La figure 3.2 indique la limite supérieure de la perte d'efficacité en fonction du pourcentage d'encombrement. Le sens du terme « encombrement » prête à interprétation. Dans le présent contexte, on parle d'encombrement lorsque l'espace de travail par ouvrier atteint le seuil minimal sous lequel il est impossible de travailler efficacement. Ainsi, si 18 travailleurs sont réunis dans une aire qui ne peut en recevoir que 15, le rapport d'encombrement est de 3/15, soit 20 p. 100. Si l'on considère la figure 3.2, on s'aperçoit qu'un encombrement de 20 p. 100 entraîne une perte d'efficacité de 8 p. 100, pourcentage qui équivaut à une augmentation de 8 p. 100 de la durée de toutes les activités qui se déroulent dans cette aire de travail au cours de la période d'encombrement.

(Les figures 3.1 et 3.2 ne sont présentées qu'à titre indicatif et ne devraient pas servir à établir des données précises.)

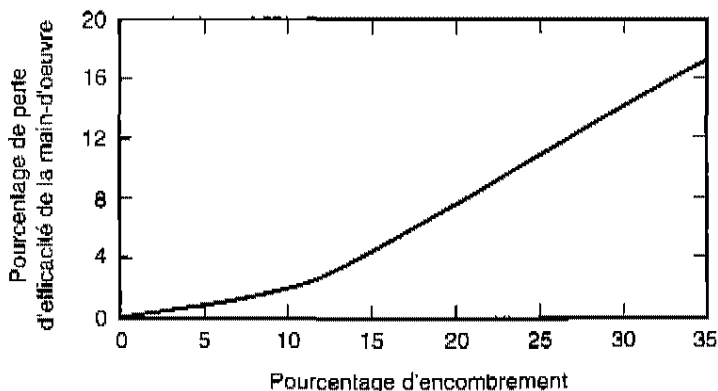
### 3.2.4.5 Multiplication des quarts de travail

La multiplication des quarts de travail est un autre moyen d'augmenter les effectifs sans interrompre les travaux. Les doubles quarts, voire les triples quarts, sont un moyen relativement économique d'augmenter la quantité de travail accompli dans une période donnée, mais il ne convient pas à tous les champs d'activité. Les tâches qui demandent une motricité fine se prêtent mal à une multiplication des postes; en effet, dans le cas de travaux de précision, on constate que la production totale de deux quarts de travail peut être plus faible que celle d'un quart. En revanche, dans les travaux qui ne requièrent essentiellement qu'une motricité globale et l'utilisation de matériel lourd, comme l'excavation ou la construction d'un barrage en terre, on peut obtenir de très bons résultats en multipliant les quarts de travail.

Un deuxième quart de travail qui suit immédiatement le quart normal, c'est-à-dire débutant à 17 h, est moins productif que le premier. Les personnes qui ont ce genre d'horaires éprouvent bien des problèmes que ne connaissent pas les autres travailleurs. Ces problèmes viennent surtout de l'instabilité des habitudes alimentaires et des heures de sommeil et de travail.

Lorsque le cycle de travail est modifié, les premiers jours constituent une période d'adaptation et les employés sont moins alertes, moins précis et risquent davantage de se bles-

**Figure 3.2 Effet de l'encombrement des aires de travail**



Tiré de : U.S. Department of the Army Office of the Chief of Engineers, 1979, *Modification Impact Evaluation Guide*, Washington (D.C.), 20314, p. 4-14.

### 3.2.4.4 Encombrement

L'encombrement du chantier peut être perçu comme un moyen pour l'entrepreneur d'accélérer les tâches afin d'achever un plus grand nombre de travaux à l'intérieur d'une

scr. On affirme parfois que le travail par postes est un moyen d'être équitable envers tous les employés, ce qui est faux. L'organisme met environ un mois à s'adapter à un nouvel horaire. Un ouvrier dont l'horaire change constamment n'est jamais vraiment adapté et ne peut donc pas donner le meilleur de lui-même.

### 3.2.4.6 Activité intermittente

On parle d'activité intermittente lorsqu'une opération doit être interrompue parce qu'un élément essentiel n'est pas disponible au moment voulu. Cet élément peut être un dessin, une décision au sujet d'une modification éventuelle, l'approbation de la qualité d'exécution, des matériaux ou de l'équipement payés d'avance. L'activité est temporairement suspendue et l'équipe, assignée à une autre tâche. Le fait de briser le rythme, de prendre une décision quant à la prochaine étape à suivre (ce qu'on appelle le temps de réaction), de ramasser les outils, de se rendre au nouveau lieu de travail, de déballer les outils, de recevoir des directives, de se procurer les matériaux nécessaires, etc., sont des activités non productives qui demandent un surcroît de travailleurs qui ne sera pas compensé par une augmentation équivalente de la production et qui entraînent donc une perte nette de productivité. Ces pertes peuvent, dans certains cas, atteindre 30 à 40 p. 100.

### 3.2.5 Absentéisme et renouvellement de la main-d'oeuvre

Voici, en ordre d'importance, les principales causes de l'absentéisme dans l'industrie de la construction :

1. le travailleur ou l'un des membres de sa famille est malade ;
2. la gestion est dans l'ensemble inefficace ;
3. la surveillance est insuffisante ;
4. la distance à parcourir pour se rendre au travail est trop grande ;
5. les retouches sont trop nombreuses ;
6. les conditions de travail ne sont pas sécuritaires.

Voici, en ordre d'importance, les principales causes de renouvellement de la main-d'oeuvre dans l'industrie de la construction :

1. les outils et l'équipement sont inadéquats ;
2. le maître d'ouvrage surveille de trop près les travaux en chantier ;
3. les travaux sont mal planifiés ;
4. la gestion est dans l'ensemble inefficace ;

5. la surveillance est médiocre ;
6. les ouvriers peuvent faire des heures supplémentaires sur un autre chantier ;
7. les relations entre les ouvriers et l'employeur sont tendues.

Bon nombre de ces facteurs peuvent être éliminés par la direction. Le simple fait de connaître ces grandes causes peut aider les surveillants à améliorer les conditions de travail sur leur chantier.

L'absentéisme et le renouvellement de la main-d'oeuvre ont sur la productivité les effets défavorables suivants :

- les équipes perdent du temps à attendre des suppléants ;
- on perd du temps à transporter les suppléants d'un lieu de travail à un autre ;
- les surveillants perdent du temps à réassigner les tâches et les suppléants.

On doit aussi considérer les pertes de productivité liées à la non-disponibilité des travailleurs, les coûts administratifs (frais de personnel, frais de gestion, etc.) liés aux départs et à l'embauche ainsi que les arrêts de travail des autres ouvriers.

On estime que chaque démission fait perdre en moyenne 24 heures-personnes.

## 3.3 Le facteur humain et la productivité

Les facteurs humains qui influent sur la productivité se divisent en deux catégories :

- les facteurs individuels comme les qualités personnelles, les limites physiques, la courbe d'apprentissage, le travail d'équipe et la motivation ;
- le milieu de travail, par exemple les conditions climatiques, l'espace de travail ou le bruit.

→ Les travaux de construction étant axés essentiellement sur la main-d'oeuvre, le personnel de chantier joue un rôle de premier plan dans ce processus. En dépit du peu d'importance qu'on leur accorde généralement, les facteurs humains ont une influence déterminante sur la productivité des travaux et sur le succès de tout projet de construction.

### 3.3.1 L'ouvrier, facteur de productivité

Les gens qui affichent une attitude optimiste et positive ont généralement le sens de l'initiative et font preuve d'imagination lorsqu'il s'agit de résoudre les problèmes. Une personne attentionnée, altruiste et amicale qui a le sens de l'humour peut contribuer à accroître la productivité. Le sens de l'humour au travail

a un effet tonique sur l'entourage, libère les tensions et prédispose au travail d'équipe.

Une personne prudente et saine est toujours productive. Il faut encourager le respect des règles de sécurité et les bonnes méthodes de travail, non seulement pour le bien-être des travailleurs mais pour réduire au minimum les temps morts dans le cadre d'un projet.

Une personne créative peut influencer sur la productivité. Ce sont souvent les ouvriers qui apportent les meilleures solutions aux problèmes. Les travailleurs qui ont des qualités de chef devraient être encouragés à développer leur potentiel car les équipes ont besoin de leadership pour être efficaces et productives. Un vrai chef doit être honnête, responsable et organisé, avoir un bon jugement et le sens de la collaboration, et savoir écouter.

Enfin, l'expérience joue un rôle important dans la productivité d'un travailleur.

### 3.3.2 Limites physiques

Les humains se comparent à des machines en ce qu'ils ont besoin de carburant pour fonctionner et produire de l'énergie (soit la capacité à fournir un travail) et se fatiguent lorsqu'on les néglige. Bon nombre des travaux de construction sont exténuants.

La nature du travail exécuté par une personne dictera la fréquence à laquelle elle doit se reposer afin de refaire le plein d'énergie. La figure 3.3 illustre le cycle travail-repos par une analogie avec un réservoir. Un jeune adulte moyen peut produire environ 21 kJ (5 kcal) d'énergie par minute, dont quelque

4,18 kJ (1 kcal) sont nécessaires à la survie, le reste pouvant être dépensé sous forme de travail. Lorsque le travail effectué est léger, le réservoir d'énergie se vide très lentement et l'activité peut se poursuivre pendant de longues périodes. Cependant, si le travail demande plus de 17 kJ (4 kcal) d'énergie par minute, ce réservoir se videra beaucoup plus rapidement et ne sera de nouveau rempli qu'au terme d'une période de repos.

« Un travail de construction moyen demandant 6 kilocalories (25 kJ) par minute, compte tenu du métabolisme basal, ne doit pas se poursuivre au-delà de 25 minutes, période au terme de laquelle le travailleur est épuisé. Un homme moyen qui exécute un travail de sciage et de clouage exigeant 8,1 kilocalories (34 kJ) par minute doit se reposer toutes les huit minutes. » (Ogelsby *et al.*, 1989)

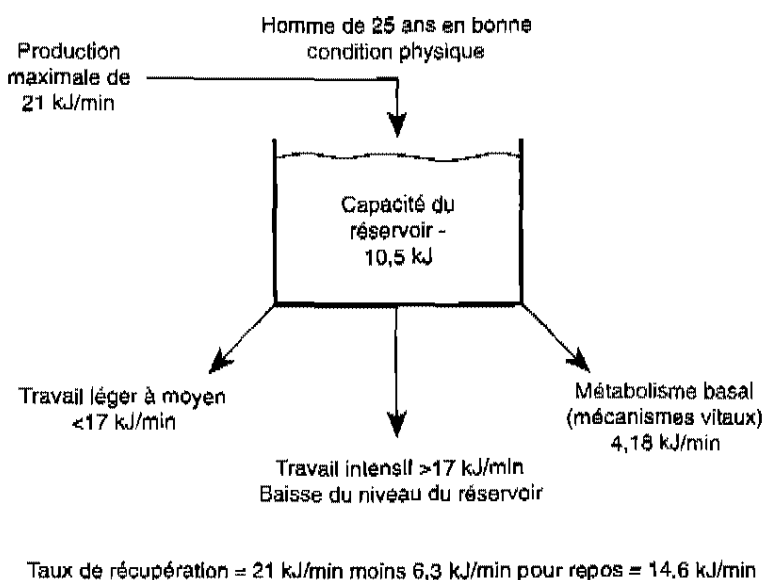
Pour prévenir l'épuisement à court terme, il faut concevoir les tâches de manière à éviter que le travailleur ait à lever de lourdes charges ou à déplacer des objets qui opposent une forte résistance. Il est préférable d'utiliser des plateaux amovibles, des supports, des étais, des gabarits, des accessoires et des outils qui allègent l'effort musculaire. Le fait de prévoir une quantité suffisante d'outils appropriés aux travaux peut aussi augmenter la productivité. Les chalumeaux coupeurs et de soudage ainsi que les porte-baguettes d'apport doivent être positionnés de manière à réduire les efforts et à offrir une visibilité optimale. Les ponceuses, les meuleuses, les perceuses, les scies à mouvements alternatifs et les autres outils semblables doivent avoir un rapport de poids équilibré et offrir une bonne prise. Les brouettes et les chariots doivent être conçus de façon que les charges soient équilibrées et que l'effort de levage soit minimal. Le matériel sur pneumatiques est plus facile à pousser et à guider.

Lorsqu'un travailleur doit adopter une position inhabituelle pour exécuter une tâche particulière, il peut être inconfortable et même se blesser. Les personnes qui travaillent dans une position inconfortable doivent généralement se reposer plus souvent et sont moins efficaces. Travailler à bout de bras peut fatiguer les membres supérieurs et forcer le dos à prendre des positions peu naturelles. Le fait de se pencher constamment met aussi le dos à dure épreuve. Les blessures au dos, très fréquentes dans l'industrie de la construction, pourraient être évitées si une plus grande part du travail se faisait à hauteur d'homme.

### 3.3.3 La courbe d'apprentissage

La première fois qu'une personne accomplit une tâche, elle travaille lentement parce qu'elle en apprend les différentes étapes. Après quelques répétitions, le temps nécessaire

**Figure 3.3 Capacité de l'humain à refaire le plein d'énergie : analogie du réservoir (Ogelsby et al., 1989)**

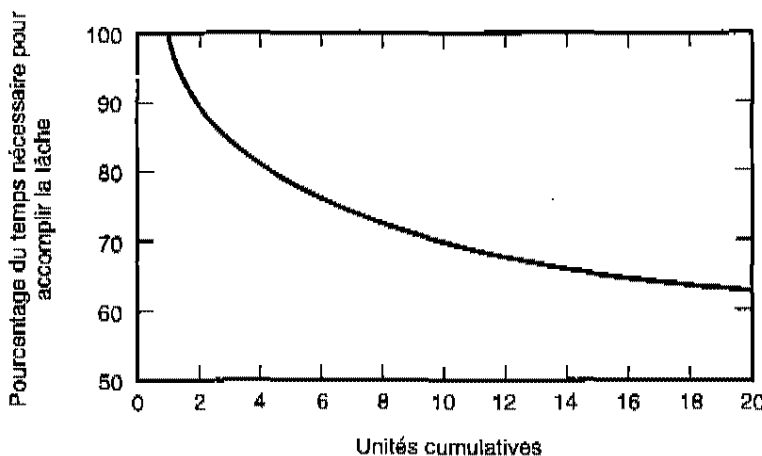




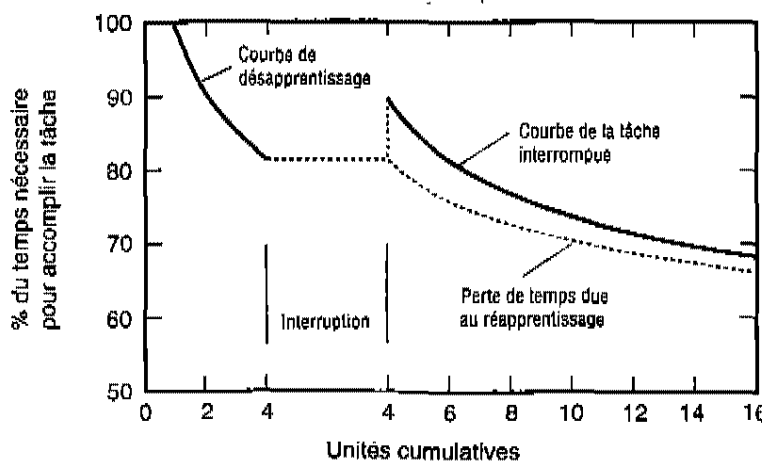
pour exécuter cette même tâche ou des travaux similaires diminue. Il est donc préférable de confier cette tâche plusieurs fois à une même personne plutôt que de changer constamment d'ouvrier. Après de nombreuses répétitions, la courbe d'apprentissage atteint un plateau qui correspond à la durée minimale de la tâche (voir la figure 3.4).

Ce principe vaut pour les opérations manuelles les plus répétitives. Lorsque les répétitions sont trop espacées, on peut observer une courbe dite de désapprentissage, qui s'accroît à mesure que l'ouvrier perd la main et qu'il n'arrive plus à donner le même rendement. Le travailleur met un certain temps à réapprendre la tâche. Cet effet peut aussi être observé lorsqu'on procède à une rotation du personnel pour permettre aux nouveaux venus d'apprendre leur travail. La courbe de désapprentissage est illustrée à la figure 3.5.

**Figure 3.4 La courbe d'apprentissage**



**Figure 3.5 Courbe de désapprentissage**



### 3.3.4 Équipes et travail d'équipe

La construction exige habituellement qu'un groupe formé d'une variété de travailleurs agisse comme une équipe tendant vers des objectifs précis. La cohésion d'une équipe peut être maintenue ou améliorée par une communication bidirectionnelle. Dans cette optique, on devrait solliciter plus souvent l'opinion des ouvriers lorsqu'il s'agit de résoudre un problème. De cette façon, non seulement les ouvriers ont l'impression que leur point de vue est écouté mais ils contribuent aussi à résoudre les problèmes.

Ce concept est né au Japon à la faveur des cercles de qualité. Des groupes d'ouvriers se réunissent pour tenter de régler les problèmes liés à leur travail. Les solutions retenues sont ensuite soumises à la direction afin que cette dernière prenne des mesures correctives. Les surveillants et les gestionnaires devraient s'employer à créer un milieu de travail productif et fixer des objectifs à leurs équipes. Les gens aiment non seulement réaliser ou dépasser des objectifs de production mais éprouvent aussi une grande satisfaction à contribuer à la solution des problèmes. Il est recommandé de fixer des objectifs de production différents pour chaque équipe ou quart de travail afin de favoriser une concurrence amicale entre les travailleurs. Les surveillants peuvent atteindre des niveaux élevés de production en faisant appel à la fierté, à la compétence, au sens du devoir et à l'esprit d'équipe des ouvriers.

### 3.3.5 Facteurs environnementaux

« Toutes choses étant par ailleurs égales, la capacité de l'être humain à effectuer un travail physique ou mental soutenu est optimale lorsque la température extérieure se situe entre 10 et 21 °C et l'humidité relative, entre 30 et 80 p. 100, donc par temps sec, lorsque l'air est exempt de poussières ou d'autres polluants et que le bruit ambiant est à un niveau acceptable. Tout écart par rapport à ces conditions idéales a un effet défavorable sur sa productivité, son confort, sa sécurité et sa santé. » (Ogelsby et al., 1989)

#### 3.3.5.1 Conditions climatiques

L'acclimatation des ouvriers à des températures élevées doit être progressive. Les effets de la chaleur commencent à se faire sentir autour de 49 °C (120 °F) pour une humidité relative de 10 p. 100 et à partir de 31 °C pour une humidité relative de 100 p. 100. Au-delà de ces températures, il y a risque de lésions ou de troubles physiologiques, notamment les coups de soleil, les crampes de chaleur, l'épuisement et les coups de chaleur. L'acclimatation, des périodes de repos appropriées, des vêtements adéquats et l'absorption d'eau et

de sel sont autant de moyens de prévenir ces problèmes.

De la même manière, on peut se prémunir contre les effets nuisibles du froid en portant des vêtements appropriés et en ayant des abris temporaires aménagés près des aires de travail : on peut aussi se servir d'appareils de chauffage si les locaux sont bien aérés. La température optimale semble être de 5 °C. À cette température, la productivité du travail effectué à l'intérieur n'est pas réduite de façon notable.

Le tableau 3.2 montre la diminution de l'efficacité des ouvriers par temps froid. On présume que l'efficacité d'un ouvrier est maximale à 21 °C (70 °F).

**Tableau 3.2 Diminution de l'efficacité des ouvriers par temps froid**

Temp. °C	Perte d'efficacité (%)	
	Motricité globale	Motricité fine
4	0	15
-2	0	20
-7	0	35
-13	5	50
-18	10	80
-23	20	80
-28	25	90-95+ (travail probablement impossible)
-34	35	—

Le tableau 3.3 montre l'effet combiné de la température et de l'humidité relative sur la productivité. On peut se servir de ce tableau, élaboré par la National Electrical Contractors' Association, pour prévoir les effets de la température sur la productivité de la plupart des tâches. Ces prévisions peuvent être utiles aux étapes de planification et évaluation des travaux et à celle de l'aménagement du chantier.

**Tableau 3.3 Effet de la température et de l'humidité sur la productivité**

h.r.	Température (°C)												
	-23	-18	-12	-7	-1	4	10	16	21	27	32	38	43
90	56	71	82	89	93	96	98	98	98	93	84	57	0
80	57	73	84	91	95	98	100	100	98	95	87	68	15
70	59	75	86	93	97	99	100	100	99	97	90	76	50
60	60	76	87	94	98	100	100	100	100	98	93	80	57
50	61	77	88	94	98	100	100	100	100	99	94	82	60
40	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	94	84	63
30	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	93	83	62
20	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	93	82	61

### 3.3.5.2 Le bruit

Le bruit peut nuire au travail et constituer un facteur de risque pour la sécurité des ouvriers en les empêchant d'entendre les avertissements ou les directives. Bien qu'il n'ait aucune incidence sur la quantité de travail effectuée, il peut agir sur sa qualité, surtout si la tâche demande de la concentration. En revanche, un bruit de fond ininterrompu d'intensité moyenne, de la musique par exemple, peut augmenter le rendement des ouvriers. Il couvre les bruits intermittents et discordants et règle la cadence du travail. Des études suggèrent qu'un niveau de bruit de 90 décibels est le seuil au-delà duquel des dommages auditifs et une baisse de rendement sont susceptibles de se produire.

Il est possible d'atténuer les effets du bruit en réduisant le bruit à la source, en isolant les ouvriers des sources de bruit ou en recommandant le port de protecteurs d'oreilles ou d'autres équipements de sécurité.

### 3.3.6 Aire de travail

L'aire de travail devrait être aménagée de façon que les ouvriers jouissent d'un milieu sécuritaire, sain et confortable ; elle devrait être organisée de manière efficace, en fonction des travaux à exécuter.

Le temps consacré au nettoyage des lieux n'est pas perdu puisqu'il contribue à maintenir l'organisation des travaux. Les ouvriers qui se sentent en sécurité sur le chantier sont plus productifs.

On doit également bien éclairer et aérer l'aire de travail et la rendre confortable afin de réduire au minimum les effets perturbateurs du milieu extérieur sur la productivité des ouvriers.

## 3.4 Planification et aménagement du chantier

L'aménagement d'un chantier et l'usage d'une utilisation optimale de toutes les installations se traduit par une amélioration générale de la productivité. Le niveau de planification sera fonction de la complexité et de l'envergure du projet. Un plan de chantier efficace, qui demande avant tout une planification minutieuse, est l'élément clé d'un milieu de travail productif, quelle que soit l'envergure du projet considéré.

### 3.4.1 Éléments de planification d'un chantier

Les dessins et les documents d'accompagnement sont les éléments de base de tout plan de chantier. Lorsqu'on dresse le plan détaillé d'un projet, c'est comme si l'on exécutait ces travaux sur papier ; il est alors facile et peu

coûteux de corriger les erreurs et de faire l'essai des solutions de rechange.

Nombreux sont les organismes gouvernementaux, les entreprises de services publics et les responsables de la circulation qui exigent que leur soient transmises les indications des plans de chantier avant de délivrer les permis de construire. Il est important que ces permis soient obtenus rapidement pour éviter les retards. L'équipe de projet tout entière doit participer à la préparation et à la révision du plan de chantier.

Les principaux corps de métiers doivent aussi être consultés au moment de préparer les plans d'excavation, d'étalement et d'assèchement. Ces plans, établis à partir de toutes les données qui figurent sur le plan de chantier préliminaire, doivent tenir compte des dispositions particulières relatives à l'empiètement sur les propriétés adjacentes et au bien-être des résidents.

Les questions environnementales doivent être traitées longtemps à l'avance. On doit, au stade de la planification du projet, mettre au point un plan pour l'enlèvement des matériaux et autres substances contaminés si les travaux prévus sont susceptibles de produire ces types de déchets.

Il faut déterminer des points d'accès provisoires aux rampes d'excavations temporaires et définitives, de manière qu'ils empiètent le moins possible sur les installations provisoires. Ces points d'accès doivent être établis en fonction du déroulement du programme de construction, des entrées permanentes dans l'enceinte du chantier et de la circulation sur le site.

### 3.4.2 Installations électriques provisoires

Les besoins en électricité et la disponibilité de cette source d'énergie doivent être examinés le plus tôt possible afin d'éviter les retards inutiles, une fois le projet de construction en branle.

De plus, pour éviter les temps morts, il est essentiel que la distribution de l'électricité soit planifiée dans les moindres détails par des personnes compétentes. Trop souvent, les ouvriers ne disposent que d'installations mal calibrées, dangereuses ou comportant un nombre insuffisant de prises. Lorsqu'il est impossible d'utiliser efficacement les outils et l'équipement électriques, il y a nécessairement perte de productivité. Des appareils d'éclairage provisoires inadéquats constituent également un danger pour les ouvriers ; ils créent un milieu de travail non productif et peuvent entraîner des arrêts de travail inutiles.

### 3.4.3 Installations de chauffage et enceintes provisoires

Le type d'enceintes, la quantité de chaleur requise et les exigences de chauffage sont fonction de la nature des travaux qui se déroulent à chaque endroit et de la phase du projet qui doit être réalisée pendant les mois d'hiver. Les besoins en chauffage varient selon le type de travail ; ainsi, les travaux de charpenterie brute ne nécessitent pas un milieu aussi chaud que les travaux de masquage et de peinture. On doit tenir compte de tous ces facteurs au moment de choisir un système de chauffage.

Tout comme la société qui assure l'alimentation provisoire en électricité, les entreprises de distribution de gaz doivent disposer d'un délai suffisant pour mettre en place leurs installations temporaires.

Un système de chauffage qui n'a pas la puissance voulue, une enceinte qui ne protège pas entièrement l'aire de travail ou qui ne convient pas aux travaux exécutés sont toujours une source de temps morts. Dans la mesure du possible, il faut choisir des appareils de chauffage à haut rendement comportant des conduits d'alimentation en air frais qui produisent de l'air chaud propre et sec et qui assurent un bon rendement énergétique.

### 3.4.4 Autres installations

On peut ordinairement améliorer l'efficacité d'un chantier :

- en intégrant à un projet convenablement organisé des systèmes de communication efficaces ;
- en prévoyant un système central d'air comprimé accessible à tous les corps de métiers ;
- en mettant en place un réseau de distribution d'eau ;
- en mettant au point un système d'enlèvement des déchets.

Le coût de ces services est minime si on le compare aux pertes de temps liées à l'absence de ces installations.

### 3.4.5 Bureaux, cantines et installations sanitaires

Les bureaux du maître d'ouvrage, de l'expert-conseil, de l'entrepreneur général et des corps d'état du second oeuvre devraient être regroupés et situés le plus près possible du chantier. Chaque chantier possède ses propres caractéristiques et exigences pour ce qui est de l'emplacement des bureaux. Au moment de dresser le plan du chantier, il faut par ailleurs déterminer l'emplacement des vestiaires des ouvriers et de la cantine en tenant compte, le cas échéant, des exigences syndicales. Les installations sanitaires devraient être situées à

une distance raisonnable des lieux de travail afin que les ouvriers ne perdent pas trop de temps pour s'y rendre.

### 3.5 Sécurité

Un milieu de travail sécuritaire profite tant au maître d'ouvrage qu'aux ouvriers. Sous l'angle de la macroproductivité, un chantier sécuritaire est un chantier productif. Selon une étude menée par la Business Roundtable Study intitulée « *Improving Construction Safety Performance* », les accidents survenus aux États-Unis ont coûté, en 1979, 8,9 milliards de dollars U.S., soit 6,5 p. 100 des 137 milliards de dollars alloués à la construction dans les secteurs industriel, commercial et des services publics. Cette estimation est probablement prudente. Si l'on applique ce pourcentage à tous les types de travaux de construction qui se déroulent aujourd'hui au Canada, on peut estimer, au bas mot, le coût des accidents à plus de 5 milliards de dollars.

Le coût apparemment élevé des accidents dans l'industrie de la construction justifie les sommes consacrées à la sécurité. Les maîtres d'ouvrage, les gestionnaires et les entrepreneurs se sont depuis longtemps imposé l'obligation morale de veiller à la sécurité du milieu de travail, mais jamais les contraintes économiques n'ont été aussi fortes qu'aujourd'hui.

#### 3.5.1 Impact économique des accidents

Il existe trois grandes catégories de coûts directement liés aux accidents : les indemnités versées aux ouvriers, les demandes en dommages et intérêts, et les pertes matérielles.

Les coûts des indemnités versées directement aux ouvriers accidentés se composent en grande partie des primes versées par l'employeur au régime d'assurance-accidents des travailleurs. Ainsi, en Ontario, un entrepreneur a été tenu en 1988 de déboursier 25,67 dollars pour chaque tranche de 100 dollars versée en salaire à un ouvrier de charpentes métalliques. Ces paiements obligatoires sont établis à partir des dossiers de pertes ou de réclamations de cette catégorie de travailleurs de la construction. Les coûts moyens des indemnités versées à des ouvriers représentent environ 1,9 p. 100 du coût total d'un projet de construction et varient entre 1 et 4 p. 100 selon les projets.

Bien que le coût des pertes matérielles soit beaucoup moins important, les pertes indirectes résultant des dommages matériels peuvent représenter une fraction substantielle des coûts directs. Une étude (*The Business Roundtable*, 1982) a révélé que le rapport coûts di-

rects-coûts indirects s'établit à environ 5:1 pour diverses catégories de coûts.

#### 3.5.2 Sécurité et productivité

La majorité des accidents surviennent au cours des périodes non productives. La malpropreté d'un chantier réduit la productivité et augmente les risques d'accidents. La direction doit veiller activement à la sécurité sur le chantier. Les travailleurs sont plus productifs lorsqu'ils savent que la direction se soucie vraiment de leur bien-être.

Les ouvriers les plus susceptibles d'avoir un accident sont ceux qui ont une attitude négative, qui s'absentent souvent, surtout le lundi et le vendredi (Hinze, 1981), et ceux qui ont déjà eu des accidents. La présélection des candidats permet d'écartier du chantier, ou à tout le moins des tâches dangereuses, ceux qui ont un mauvais dossier ou qui présentent un risque élevé. L'encadrement, qui comprend la formation et la prise en charge des nouveaux ouvriers, est particulièrement important. Vingt-quatre pour cent des accidents se produisent pendant le premier mois de travail et 46 p. 100 au cours des six premiers mois.

Il faut évaluer les nouveaux ouvriers en se renseignant sur leur expérience de travail, et les surveiller de près. Lorsque de nouveaux ouvriers sont intégrés à une équipe, le superviseur doit s'assurer qu'ils sont acceptés par le groupe. Ceux qui travaillent seuls doivent d'abord avoir éprouvé leur habileté, et le superviseur doit s'assurer qu'ils ont bien compris les méthodes de travail.

Il est recommandé d'organiser de petites réunions pour transmettre les directives préalables au travail en cours, et d'examiner les tâches sous l'angle de la sécurité. Il est bon de réunir les ouvriers lorsque les exigences de sécurité sont modifiées et d'en profiter pour souligner l'importance de la sécurité sur le chantier et informer les ouvriers que les méthodes de travail dangereuses ne seront pas tolérées.

Il ne faut pas exercer de pressions injustifiées sur les équipes ou les ouvriers lorsque la productivité est à la baisse car, en tentant d'accélérer leur rythme de travail, les travailleurs pourraient négliger de prendre les mesures de sécurité qui s'imposent. Il vaut mieux discuter des problèmes de productivité et rechercher ensemble les solutions. La sécurité est profitable : elle agit sur le moral et l'attitude des gens et a un effet certain sur la rentabilité du projet.

Les ressources humaines jouent un rôle plus important dans l'industrie de la construction que dans tout autre secteur, tout simplement parce qu'un projet de construction est

toujours unique et complexe. Ce sont d'ailleurs ces deux caractéristiques qui interdisent l'automatisation systématique des travaux, pourtant fort répandue dans d'autres industries. L'habileté de l'ouvrier, sa capacité à communiquer, à prendre des décisions, à travailler avec d'autres et à mettre en commun l'information en font une ressource exceptionnelle et irremplaçable à brève échéance. Pour tirer le maximum des ouvriers, le gestionnaire doit savoir reconnaître les facteurs qui les stimulent et ceux qui inhibent leur motivation, leur rendement et leurs limites physiques.

Il importe de bien comprendre ces mécanismes, non seulement au stade de la construction proprement dite mais aussi pendant la période de soumission ou lors de la planification, alors que le responsable doit souvent faire preuve de jugement pour évaluer la productivité dans des conditions de travail bien définies. Il doit évidemment tenir compte, dans ses estimations, des variations de température, des contraintes de sécurité et de l'encombrement du chantier. Le présent chapitre donne un aperçu des différents aspects des ressources humaines et de leur influence sur la productivité.

## Ouvrages complémentaires

Ahuja, H.A. 1984. *Project Management Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*. John Wiley and Sons, New York, N.Y.

Carlson, J.G., 1961. « How Management Can Use the Improvement Phenomenon ». *California Management Review* 3(2):83-94.

Commission économique des Nations unies pour l'Europe. 1965. *Effect of Repetition on Building Operations and Processes On Site*. ST/ECE/HOU/14.

Gates, M. et A. Scarpa, 1972. « Learning and Experience Curves ». *ASCE J. Const. Div.* 98 (CO2):79-101.

Gates, M. et A. Scarpa, 1987. « Optimum Number of Crews ». *ASCE J. Const. Div.* 104 (CO2):123-132.

Halpin, D.W. et R.W. Woodhead. 1976. *Design of Construction and Process Operations*. New York: John Wiley and Sons.

Hendrickson, C. et T. Au, 1989. *Project Management for Construction*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Hinze, J., 1981. « Biorhythm Cycles and Injury Occurrences ». *ASCE J. Const. Div.* 107 (1): p. 21.

Ogelsby, C.H., H.W. Parker et G.A. Howel, 1989. *Productivity Improvement in Construction* New York : McGraw Hill.

The Business Roundtable. 1982. Report A-3, The Business Roundtable, 200 Park Ave., New York, N.Y.

Thomas, R., C. Mathews et J. Ward. 1986. « Learning Curve Models of Construction ». *J. Const. Eng. and Management* 112 (2):245-257.

Touran, A., A. Burkhart et Z. Qabbani. 1998. « Learning Curve Application in Formwork Construction ». Dans *Proc. of 24th ASCE Annual Conference*, 20-24. San Luis, Californie.

# 4 Mesure de la productivité par l'établissement du coût de revient

## 4.1 Introduction

Dans le cadre d'un projet, de nombreuses activités peuvent être suivies de près. Les plus importantes sont généralement celles qui s'échelonnent sur les plus longues périodes. Au moment de déterminer le niveau de détail et la portée du système de contrôle des activités, il est préférable de choisir une méthode relativement simple et de n'exercer cette surveillance que dans la mesure où elle est nécessaire. Il faut donc s'attacher à contrôler les activités qui représentent la plus forte concentration d'heures de travail.

seules dont on a vraiment besoin pour évaluer le rendement d'un projet.

## 4.2 Collecte et traitement des données

Dans la présente section, on décrit sommairement les sources, la collecte et le traitement de toutes les données qui seront utilisées pour mesurer la productivité et l'avancement des travaux. Seuls seront traités les aspects les plus généraux de l'établissement du coût de revient. Le sujet est exposé plus en détail dans de nombreux ouvrages, notamment dans Halpin (1985) et Adrian (1979).

Dans le cadre des projets de construction, les données sont recueillies sur différentes formules à des fins précises. Les données destinées à alimenter le système de contrôle financier sont organisées principalement en fonction des exigences fiscales et d'autres prérogatives juridiques. Ces données ne suffisent pas pour contrôler les coûts d'un projet et doivent être complétées par d'autres renseignements. Par exemple, un système de contrôle financier peut retracer tous les frais de personnel d'un projet mais pas nécessairement le nombre d'heures-personnes consacrées à un lot donné de travaux. (Un lot de travaux ou lot technique est un groupe de tâches connexes.) Pour contrôler les coûts et calculer la productivité, il faut absolument connaître le nombre d'heures-personnes consacrées à chaque activité. C'est pourquoi les entreprises utilisent ordinairement un système double. Les données devant servir à des fins fiscales sont réunies à un niveau global, les autres, utilisées pour le contrôle des coûts et la mesure de la productivité, étant organisées de manière à en faciliter le suivi.

Le contrôle des coûts et la mesure de la productivité d'un projet de construction se rangent en trois catégories : la main-d'oeuvre, les matériaux et l'équipement. Ces catégories peuvent être adaptées aux besoins particuliers de chaque entreprise.

On recueille d'abord sur le chantier des données sur la main-d'oeuvre, les matériaux et l'équipement en prélevant l'information pertinente sur les feuilles de temps (voir la figure 4.1), les rapports quotidiens (voir la figure 4.2) et les bons de sortie. Pour que cette

Figure 4.1 Feuille de temps

**Fiche de présence**

---

Nom de l'employé : \_\_\_\_\_ N° tâche : \_\_\_\_\_  
 Numéro de l'employé : \_\_\_\_\_ Période de paye n° : \_\_\_\_\_  
 Date de la période de paye : \_\_\_\_\_

	Date	Norm.	Suppl.	Total	Date	Norm.	Suppl.	Total
Me								
J								
V								
S								
D								
L								
Ma								
Total					Total			

Vérfié  
 Employé : \_\_\_\_\_ Surveillant : \_\_\_\_\_  
 Remarques : \_\_\_\_\_

La productivité et les facteurs de productivité peuvent être évalués à tous les niveaux. Le traitement par ordinateur peut produire une quantité invraisemblable de données dont la plus grande partie sont superflues. Plus l'ordinateur traite de données, plus le processus est coûteux. Un système d'établissement du coût de revient peut, moyennant un léger supplément, produire des données qui portent uniquement sur la productivité, soit les

**Figure 4.2 Modèle de rapport quotidien**

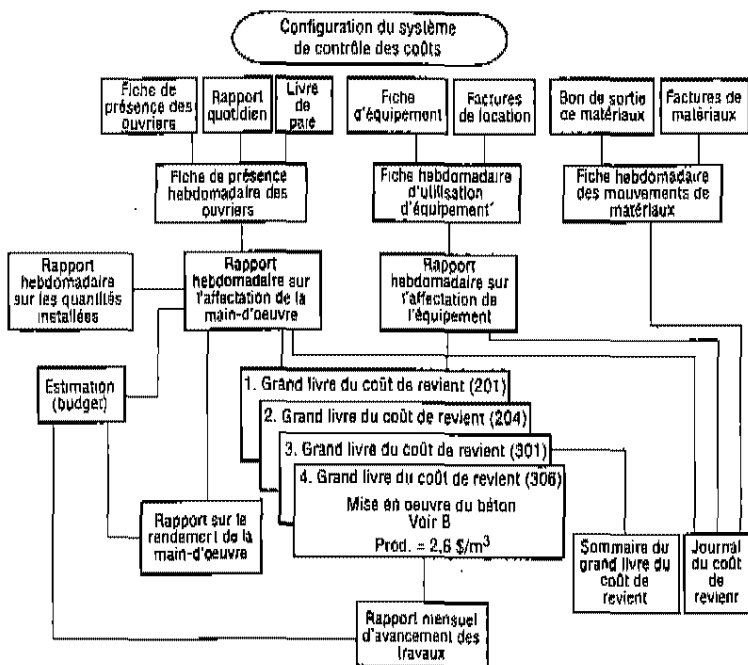
Projet:		Préparé par :					
Date:		Remarques :					
Température:							
Conditions climatiques :							
Code de lot de travaux	Description	Main-d'oeuvre (h)	Surveillance (h)	Métier-1 (h)	Métier-2 (h)	Métier-3 (h)	Total des heures
2-20	Coffrages à béton	64	8	-	-	-	72

information soit utilisable, elle doit être affinée et consolidée. Les données sont généralement organisées à l'intérieur de ce qu'on appelle un système d'établissement et de contrôle des coûts, qui peut être informatisé ou manuel. La figure 4.3 montre le cheminement de l'information dans un système simplifié d'établissement du coût de revient.

L'information qui circule dans ce système provient essentiellement de trois sources :

- les feuilles de temps des travailleurs, les rapports quotidiens et les registres de paie ;
- les rapports hebdomadaires sur les quantités installées ;

**Figure 4.3 Cheminement des données à l'intérieur d'un système type d'établissement du coût de revient**



- les estimations d'origine (le budget).

Les données provenant de la première source sont reportées dans les fiches établies chaque semaine concernant la main-d'oeuvre, les matériaux et l'équipement (voir les figures 4.4 à 4.6). Les fiches hebdomadaires résument toute l'information applicable à chaque lot de travaux identifié par un code de coût unique. Cette information renseigne plus précisément sur le nombre d'heures-personnes utilisées, les taux de rémunération et le coût total de la main-d'oeuvre pour chaque lot de travaux.

Le degré de précision du système est fonction de l'exactitude avec laquelle les heures effectuées auront été imputées aux lots de travaux correspondants, lesquels sont identifiés par un code de coût. Les fiches et rapports hebdomadaires sur l'affectation de la main-d'oeuvre, l'utilisation d'équipement et les mouvements de matériaux servent ensuite à l'établissement d'un rapport hebdomadaire sur

**Figure 4.4 Rapport hebdomadaire sur la main-d'oeuvre**

Fiche de présence quotidienne					
Employé	Type professionnel	Code de coût	Total des heures	Quantité	

RAPPORT HEBDOMADAIRE SUR LA MAIN-D'OEUVRE					
Code de coût	Heures normales	Heures supplémentaires	Taux normal	Taux majoré (heures supplémentaires)	Total
301	20	10	14	21	480
342	8	4	14	21	84

Le nombre total d'heures consacrées au lot de travaux 301 est de 30 heures-personnes pour la période de référence. Ce chiffre est reporté dans le grand livre du coût de revient pour mesurer la productivité pour ce lot.

**Figure 4.5 Fiche hebdomadaire des mouvements de matériaux**

Fournisseur	N° bon commande	Description	Conditions	Code de coût	Montant
Big Lumber Inc.	2104	Coffrages	Net 10	301	4 002 \$
Ready Mix Co.	2361	Béton	Net 10	305	6 700 \$

**Figure 4.6 Fiche hebdomadaire d'utilisation d'équipement**

Fiche quotidienne d'utilisation d'équipement				
No. Equip.	Taux quotidien	Code de coût	Heures	Montant
—	—	—	—	—

FICHE HEBDOMADAIRE D'UTILISATION D'ÉQUIPEMENT					
Code de coût	Description	Équipement	Heures	Taux	Total
234	Excav. au site B	Camion de 12 l	30	60	1 800

l'affectation des ressources (main-d'oeuvre, matériaux et équipement), comme le montre la figure 4.3. Ce rapport hebdomadaire résume, pour chaque lot de travaux, les coûts de main-d'oeuvre et les quantités installées au cours de la période de référence. Ces quantités sont tirées du rapport sur les quantités installées illustré à la figure 4.7.

**Figure 4.7 Rapport hebdomadaire sur les quantités installées**

Travaux achevés cette semaine :

Code de coût	Description	Unité de mesure	Total des travaux achevés pendant cette période	Total à ce jour
302	Béton mis en oeuvre	m <sup>3</sup>		
304		m <sup>3</sup>		

**Figure 4.8 Rapport hebdomadaire sur l'affectation de la main-d'oeuvre**

Code de coût	Description	Coût de main-d'oeuvre		Quantités		Coût estimatif	
		Semaine	Total cumulatif	Semaine	Total cumulatif	Par unité	Total
302	Coffrages à béton	1 240	5 020	400	1 200	2,5 \$	7 500 \$

**Main-d'oeuvre**  
 Dépenses totales : Période en cours = 6 200 \$  
 À ce jour = 15 400 \$

Le rapport hebdomadaire sur l'affectation de la main-d'oeuvre présenté à la figure 4.8 servira de base à une nouvelle réduction des données, comme l'indique le cheminement des données représenté à la figure 4.3.

Le rapport établi chaque semaine concernant l'affectation des ressources (main-d'oeuvre, matériaux et équipement) sert à compiler deux autres rapports, soit le grand livre et le journal du coût de revient. Le premier (voir la figure 4.9) est établi pour chaque lot de travaux et contient un résumé de toutes les dépenses affectées à la tâche à ce jour, y compris les coûts de main-d'oeuvre, d'équipement et de matériaux, ainsi que les frais de sous-traitance. Il indique également la quantité estimative installée, le coût total estimatif, le total des heures-personnes consacrées à la tâche à ce jour, ainsi que le niveau de productivité atteint pour cette tâche.

Pour chaque grand livre du coût de revient, il est possible de calculer les taux de productivité sous forme de coût ou d'heures-personnes par unité de production. Les écritures du grand livre du coût de revient de la figure 4.9 portent sur une opération de coulage de béton. Le coût total à ce jour (somme des coûts de la col. 6) est de 26 510 \$. La quantité excavée à ce jour, tirée du rapport hebdomadaire sur les quantités installées, est de 1000 mètres cubes (m<sup>3</sup>). Le rapport hebdomadaire sur la main-d'oeuvre indique qu'au total 102 heures-personnes ont été consacrées à la tâche. La productivité est estimée à 26 510 \$/1000 m<sup>3</sup>, soit 2,65 \$ par m<sup>3</sup>, et à 102 heures-personnes/1000 m<sup>3</sup>, soit 0,10 heures-personnes par m<sup>3</sup>. Si l'on compare les coûts réels aux coûts estimatifs, on constate un écart négatif au plan des coûts et un écart positif à celui des heures-personnes. Ces écarts peuvent être attribuables à un taux de rémunération moindre et à des taux de production plus élevés ou à d'autres facteurs, comme un équipement meilleur que prévu.

Les grands livres du coût de revient sont réunis sous forme résumée dans un même document, le sommaire du grand livre du coût de revient (voir la figure 4.10). Ce document permet de visualiser rapidement l'état du projet en présentant un résumé de chaque tâche.

Le journal du coût de revient (voir la figure 4.11) est un état détaillé hebdomadaire de toutes les dépenses. Il indique le coût total des matériaux, de la main-d'oeuvre, de l'équipement, etc. pour l'ensemble du projet. Ce document sert aussi à contre-vérifier les travaux effectués à ce jour. (Les totaux qui figurent dans le journal du coût de revient et dans le sommaire du grand livre du coût de revient doivent être identiques.)



**Figure 4.9 Grand livre du coût de revient**

Centre de responsabilité : Mise en oeuvre du béton code 301

Source	Description	Main-d'oeuvre	Matériaux	Equipement	Sous-traitance	Autres	Total
LD-12	Rapport sur l'affectation de la main-d'oeuvre n° 12	341					341
C-123	Quincaillerie ACE		73				73
LD-1	Excavation XYZ Inc	237			1 800		2 307
		578	73	1 800			2 451
		578	73	1 800			2 451
		578	73	1 800			2 451
					200		200
					200		200
	Totaux						26 510

Quantité estimative - \_\_\_\_\_

Productivité =  $\frac{\text{heures-personnes}}{\text{quantité}}$   
 =  $\frac{102 \text{ h-p}}{0,1 \text{ h-p/m}^3}$   
 =  $\frac{\text{Coût total en \$}}{\text{quantité}}$   
 =  $\frac{2.66 \$/\text{m}^3}{}$

Totaux du rapport hebdomadaire sur la main-d'oeuvre Dans l'exemple : 102 h-p

Tiré des rapports sur les quantités installées Dans l'exemple : 1000 m<sup>3</sup>

La productivité, telle qu'elle a été définie précédemment, soit le rapport intrants-extrants, s'exprime sous forme d'heures-personnes consacrées à l'installation d'une quantité donnée de matériaux. La productivité calculée figure au bas du journal (voir la figure 4.9).

Les dernières pièces justificatives du système d'établissement du coût de revient sont, comme le montre la figure 4.3, le rapport sur le rendement de la main-d'oeuvre et le rapport mensuel d'avancement des travaux. L'information consignée dans le premier rapport (voir la figure 4.12) est tirée des estimations et du rapport hebdomadaire sur l'affectation de la main-d'oeuvre dont les données sont réduites et présentées par tâche. Pour chaque tâche, on inscrit les quantités installées pendant la période de référence (soit une semaine dans ce cas), les quantités totales installées à ce jour pour chaque lot de travaux, ainsi que la quantité estimée au départ. Sous l'en-tête « Coût unitaire » figurent les coûts unitaires pour la période, les coûts unitaires cumulatifs à ce jour et les coûts unitaires estimatifs qui figurent au dossier de soumission. Dans la colonne « Écart », on indique si l'écart est positif (coûts inférieurs aux prévisions) ou négatif (dépassement des coûts) au cours de cette période, ainsi que le total cumulé des coûts à ce jour. La colonne « Coûts totaux » indique les coûts totaux prévus et estimatifs pour chaque tâche. La colonne située à l'extrême droite indique l'avancement des travaux en pourcentage, compte tenu des quantités installées et des dépenses engagées. Ce document donne un résumé exhaustif de l'état des coûts de main-d'oeuvre du projet pour la période de référence. Cette information permet à la direction de vérifier l'état de chaque lot technique et d'évaluer l'avancement des travaux. La productivité effective, exprimée sous forme de coût unitaire pour chaque lot de travaux, est indiquée en regard des coûts unitaires de production. Le gestionnaire peut visualiser toutes les tâches, en comparer l'état d'avancement aux estimations d'origine et, s'il y a lieu, prendre les mesures correctives qui s'imposent.

**Figure 4.10 Sommaire du grand livre du coût de revient**

Code de coût	Description	Quantité	Main-d'oeuvre	Matériaux	Sous-traitance	Autres	Total
302							
304	Sommaire de chaque compte de coûts figurant aux grands livres du coût de revient						
	Les totaux doivent être identiques à ceux du journal du coût de revient						

**Figure 4.11 Journal du coût de revient**

#	Code de coût	Période	Description	Main-d'oeuvre	Matériaux	Sous-traitance	Autres	Total
1		Semaine 1	Frais de personnel	3004				3 004
2		Semaine 1	Charges sociales				290	290
3		Semaine 1	N° bon de commande _____ Frais de transport _____		5 000		300	5 300
4								
			Tiré du rapport sur l'affectation de la main-d'oeuvre					
					Tiré de la fiche hebdomadaire des mouvements de matériaux			
				Total Main-d'oeuvre	Total Matériaux	Total Sous-traitance	Total Autres	Total

Le rapport final est le rapport mensuel de projet qui est principalement compilé à partir des grands livres du coût de revient et des estimations d'origine. Les données qui servent à l'établissement de ce rapport, présentées à la figure 4.13, se divisent en cinq catégories :

- les quantités, les coûts réels et les coûts unitaires ;
- les quantités à installer et les coûts futurs ;
- les coûts totaux prévus ;
- les quantités, les coûts unitaires et les coûts totaux estimatifs ;
- l'écart par rapport aux estimations et un aperçu de la performance.

**Figure 4.12 Rapport sur le rendement de la main-d'œuvre**

Code de coût	Description	Quantités			Coût par unité			Écart		Coût total		Achèvement des travaux en %	
		Per	Cum.	Est	Per	Cum.	Est	Période	Cum.	Pravu	Est.	Quantité	Coût
302	Coffrages	300	600	3 300	0.2	0.25	0.3	30	30	825	990	18.2	15.2
304													

Tiré du rapport sur l'allocation de la main-d'œuvre	Tiré des estimations	$(0.2 - 0.3) \times 300 = -30$	$(0.25 - 0.30) \times 600 = -30$	$0.25 \times 3300 = 825$	$600/3300 = 18.2\%$	$0.25 \times 600 = 150$ $0.3 \times 2300 = 690$ $= 15.2\%$
---	----------------------	--------------------------------	----------------------------------	--------------------------	---------------------	--

Ce rapport mensuel de projet, produit par le système d'établissement du coût de revient, résume l'avancement des travaux et la productivité pour le mois de référence.

### 4.3 Système d'établissement du coût de revient utilisant le suivi des heures-personnes plutôt que des coûts

L'unité de base du contrôle des coûts est le dollar dépensé pour une tâche donnée. La mesure de la productivité s'exprime aussi sous forme de coût unitaire. Bien qu'il soit possible de calculer le nombre d'heures-personnes pour chaque lot de travaux, le système n'est pas fondé sur cette mesure. Le système de contrôle des coûts peut néanmoins retracer les dépenses en heures-personnes plutôt qu'en dollars. Les deux méthodes offrent des avantages. Un système axé sur les heures-personnes permet d'obtenir trois mesures de la production :

la comptabilisation en fonction de l'avancement des travaux, l'inventaire matériel et la valeur comptabilisée.

#### 4.3.1 Comptabilisation en fonction de l'avancement des travaux

La comptabilisation en fonction de l'avancement des travaux est une mesure simple et relativement peu coûteuse utilisée pour calculer la quantité installée et elle peut être obtenue comme suit :

Quantité installée estimative = quantité totale x pourcentage estimatif d'avancement des travaux.

Cette mesure présente deux inconvénients :

- La comptabilisation en fonction de l'avancement est subjective puisqu'elle est faite au jugé ;
- Cette méthode ne tient pas compte d'une modification éventuelle de la portée des travaux.

Par conséquent, cette méthode est réservée aux travaux les plus simples, comme la maçonnerie.

#### 4.3.2 Inventaire matériel

Un inventaire matériel exige un dénombrement ou un mesurage des unités de travail achevées. Les unités de travail peuvent s'exprimer en centimètres de diamètre de soudure de tuyaux, en nombre de portes installées ou en mètres carrés de coffrages mis en place. Cette méthode est objective et détaillée et elle tient compte du moindre changement apporté à la portée des travaux. L'inventaire matériel coûte cher en temps et en argent et n'est généralement utilisé que pour le suivi des quantités de matériaux en vrac, en particulier dans les ateliers de fabrication.

**Figure 4.13 Sommaire mensuel des coûts**

Code de coût	Description	Coûts et quantités réels			Coûts et quantités futurs		Coûts prévus (CP)	Coûts et quantités estimatifs			Écart	Indice
		Quantité réelle à ce jour (QR)	Coûts réels à ce jour (CR)	Coût unitaire à ce jour (CUR)	Quantité non installée (QNI)	Coût des quantités à installer (CQI)		Quantité (QE)	Coût unitaire (CUE)	Total (CE)		
				CR / QR	QE - QR	QNI x CUR	CR + CQI				CE - CP	CE / CP

Tiré du grand livre du coût de revient pour ce compte

**Table 4.1 Rapport type de rendement des heures-personnes**

Activité	N° compte	H-p réelles		Quantités				H-p par unité			H-p budgétées	H-p comptabilisées		Coefficient de rendement		H-p prévues
		Période en cours	À ce jour	Budget de fonct.	Période en cours	À ce jour	Unité de mes.	Budget	Période en cours	À ce jour		Période en cours	À ce jour	Période en cours	À ce jour	
Coffrages	3.03100	680	37,100	82,000	620	34,000	m <sup>2</sup>	1.04	1.10	1.09	85,200	645	36,380	0.95	0.98	86,940

**Remarques****Colonne**

- 1 Heures-personnes réelles pour la dernière période de référence, tirées des feuilles de temps (voir la figure 4.4)
- 2 Somme des heures-personnes réelles
- 3 Quantité estimative totale au compte
- 4 Quantité installée comptabilisée pour la dernière période de référence, tirée de la fiche hebdomadaire d'avancement des travaux (voir la figure 4.7)
- 5 Somme des quantités installées comptabilisées
- 6 Unité de mesure
- 7 Taux de productivité budgété
- 8 Col. 8 = Col. 1 ÷ col. 4
- 9 Col. 9 = Col. 2 ÷ col. 5
- 10 Col. 10 = Col. 3 ÷ col. 7
- 11 Col. 11 = Col. 4 ÷ col. 7
- 12 Col. 12 = Col. 5 ÷ col. 7
- 13 Col. 13 = Col. 11 ÷ col. 1
- 14 Col. 14 = Col. 12 ÷ col. 2
- 15 Col. 15 = Col. 10 ÷ col. 14

**4.3.3 Valeur comptabilisée**

La valeur comptabilisée, une mesure fort répandue dans le domaine de la construction, sert à calculer l'avancement des travaux inscrits à un compte collectif. Cette méthode est plus objective que celle de la comptabilisation en fonction de l'avancement mais moins détaillée et moins coûteuse que l'inventaire matériel. Elle constitue d'une certaine manière un compromis entre les deux mesures. Le nombre d'heures-personnes est tiré des feuilles de temps des ouvriers, et seule la tâche principale est considérée aux fins du calcul de la productivité.

Pour chaque code de compte, le contremaître indique les quantités réelles installées. En se servant de certaines règles d'imputation ou de la méthode de l'avancement des travaux, on crédite le compte et l'on calcule comme suit la valeur comptabilisée :

Valeur comptabilisée = quantités réelles x productivité estimative (ou budgétée) par unité produite

Par exemple, la valeur comptabilisée des heures-personnes sera égale au nombre de mètres cubes installés multiplié par le nombre estimatif d'heures-personnes par mètre cube.

Les règles d'imputation sont une méthode structurée qui permet de créditer un compte pour les étapes intermédiaires ou un achèvement partiel. Dans le cas des coffrages, par exemple, on peut s'entendre à l'avance sur le pourcentage des travaux qui sera imputé, par exemple :

- fabrication 60 %
- construction 20 %
- enlèvement 15 %
- nettoyage des coffrages 5 %

Au tableau 4.1, on présente un rapport de rendement type. À la colonne 11, on indique une valeur comptabilisée de 645 heures-personnes, calculées à l'aide des règles d'imputation.

**4.3.4 Facteurs de rendement**

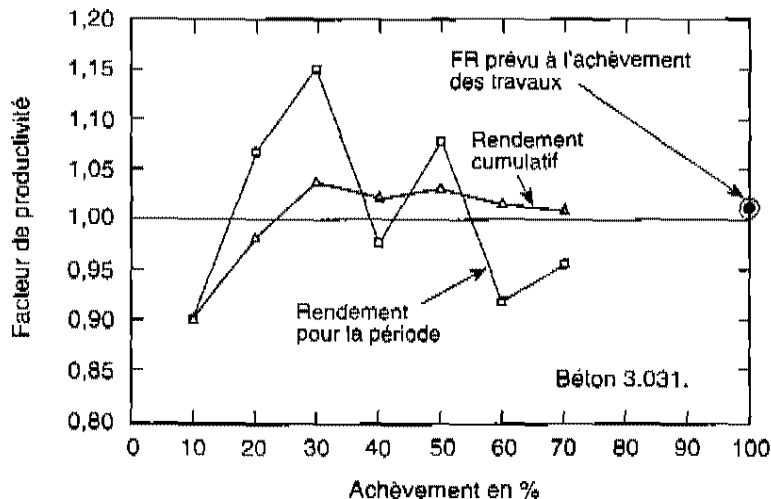
Des deux méthodes utilisées pour mesurer la productivité en chantier, la plus répandue fait appel à des facteurs de rendement (FR) qui peuvent être établis à partir des données produites par le système d'établissement du coût de revient et la mesure de la valeur comptabilisée. Par définition,

$$FR = \text{H-p comptabilisées} / \text{h-p réelles}$$
  
(voir les colonnes 13 et 14 du tableau 4.1).

Les heures-personnes comptabilisées sont calculées à partir d'une estimation des heures-personnes par unité de production, par exemple h-p/tonne. L'utilisation d'heures-personnes réelles (col. 1 et 2 du tableau 4.1) et d'une estimation des heures-personnes (col. 7 du tableau 4.1) peut entraîner des inexactitudes parce que l'estimation peut être erronée, les heures effectuées peuvent avoir été passées en charge au mauvais compte et la mesure de l'avancement des travaux peut être inexacte.

Les facteurs de rendement sont un outil de surveillance des travaux. La figure 4.14 est une représentation graphique de la productivité cumulative et pour la période de

**Figure 4.14 Tendances indiquées par les facteurs de rendement**



référence. Le rendement de l'ensemble du projet ou d'un compte particulier est facile à visualiser. Outre la valeur réelle du facteur de rendement, il faut aussi interpréter les tendances illustrées par ces courbes. On doit s'attendre à ce que la productivité soit faible (0,9) au début des travaux car les activités de démarrage sont celles qui prennent le plus de temps. Avec le temps, le travail devient plus répétitif et le personnel, plus familier avec ses tâches ; le nombre d'heures-personnes par unité de production diminue et la productivité augmente.

Il existe deux types de facteurs de rendement : le FR applicable à la période de référence et le FR cumulatif. Le premier est une mesure à court terme utilisée à des fins de contrôle immédiat et qui permet au gestionnaire de prendre des mesures pour corriger les tendances indésirables. Le FR cumulatif est une mesure à long terme de la productivité dont on se sert pour déterminer ce que le projet aura coûté à l'achèvement des travaux.

Les méthodes les moins répandues pour mesurer la productivité sont celles qui visent à mesurer le taux d'utilisation des ressources, c'est-à-dire l'évaluation du niveau d'activité ou les mesures temporelles, comme l'échantillonnage du travail, l'évaluation des temps morts par le contremaître et le questionnaire de l'ouvrier. Malheureusement, lorsqu'on a recours à ces techniques, il faut obtenir, en plus des données fournies par le système d'établissement du coût de revient, d'autres données sur le rendement des ouvriers, ce qui ajoute au coût du projet.

#### 4.4 Établissement et analyse du coût de revient à l'aide du logiciel de gestion de projet

Aux sections précédentes, on a abordé les principes de base d'un système manuel d'établissement du coût de revient afin de montrer au lecteur comment on doit s'y prendre pour présenter et compiler les données, introduire l'information dans les divers programmes informatiques et interpréter les résultats.

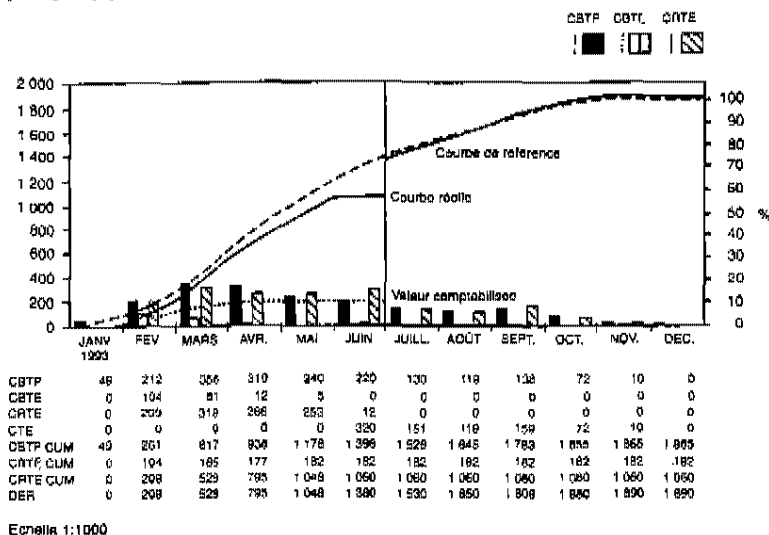
Pour illustrer l'applicabilité d'un progiciel commercial au cas qui nous occupe, on présente à la figure 4.15 un rapport produit par le logiciel PARADE (un produit Primavera Systems Inc.), qui représente sous forme graphique l'avancement d'un projet qui comprend un certain nombre de lots techniques. Les courbes de rendement montrent les dépenses réelles, et l'avancement des travaux se situe sous la courbe prévisionnelle (ligne de référence). Manifestement, il y a retard d'exécution et dépassement des coûts.

Le sommaire des coûts qui figure en bas de page est exprimé en fonction des paramètres de contrôle des coûts et de l'avancement (PCCA). Le coût budgété des travaux prévus (CBTP) est le coût de référence, soit le coût prévu à l'origine et inscrit au budget d'exploitation. Le coût budgété des travaux exécutés (CBTE) correspond à la valeur réelle des travaux achevés et est tiré des rapports et fiches compilés en chantier, qui reflètent l'avancement réel des travaux et les sommes budgétées affectées à chaque tâche. Le coût réel des travaux exécutés (CRTE) représente les sommes qui ont réellement été dépensées, sans égard à la valeur du travail. Aux fins de l'analyse du rendement d'un projet, on a défini différents écarts : l'écart d'avancement (ÉA), que l'on obtient par l'équation  $\text{ÉA} = \text{CBTE} - \text{CBTP}$ , ainsi que l'écart de coût (ÉC), donné par la formule  $\text{ÉC} = \text{CBTE} - \text{CRTE}$ , où ÉC est la différence entre la valeur monétaire des travaux effectués et leur coût réel.

#### Sommaire des abréviations

CRTE	= Coût réel des travaux exécutés
CBTE	= Coût budgété des travaux exécutés
CBTP	= Coût budgété des travaux prévus
PCCA	= Paramètres de contrôle des coûts et de l'avancement
ÉC	= Écart de coût
VC	= Valeur comptabilisée
FR	= Facteur de rendement
h-p	= Heure-personne
IRC	= Indice de rendement des coûts

**Figure 4.15 Exemple de rapport de rendement d'un projet, produit par PARADE**



IRT = Indice de rendement des travaux  
ÉA = Écart d'avancement

L'indice de rendement des travaux (IRT) est donné par la formule suivante :

$$\text{IRT} = (\text{CBTE}/\text{CBTP}) \times 100$$

L'IRT exprime l'efficacité d'une tâche en pourcentage de la valeur comptabilisée. Un IRT faible demande qu'on prenne des mesures correctives immédiates, car il peut entraîner des retards d'exécution. Un IRT supérieur à 100 indique que la tâche est en avance sur le calendrier.

L'indice de rendement des coûts (IRC) est donné par la formule suivante :

$$\text{CPI} = (\text{CBTE}/\text{CRTE}) \times 100$$

L'IRC exprime le rendement d'un coût en pourcentage de la valeur comptabilisée. Un IRC inférieur à 100 indique un dépassement des coûts et un IRC supérieur à 100, un coût inférieur aux prévisions.

En se servant de programmes comme PARADE, les gestionnaires de projet peuvent introduire chaque mois les données relatives à l'avancement des travaux et obtenir des rapports de rendement qui les aideront à contrôler les coûts et l'avancement des travaux. Le rapport informatique de la figure 4.15 est présenté sous forme graphique, tandis qu'à la figure 4.16 on trouve un rapport établi sous la forme d'un tableau accompagné des divers indices applicables. Le rapport comprend les facteurs de production cumulatifs, pour la période et à l'achèvement des travaux.

Si l'on examine la figure 4.16, on constate que l'on a prévu des travaux d'une valeur de 1 140 000 \$ pour cette période. On n'a exécuté que 182 000 \$ de travaux à un coût réel de 1 059 500 \$, ce qui nous donne un écart d'avancement de -958 000 \$ et un écart de coût de -877 500 \$. La situation est donc nettement défavorable.

Enfin, les rapports peuvent être établis par tâche, par lot de travaux ou pour l'ensemble du projet. Ils permettent au gestionnaire de repérer les points névralgiques du projet. À titre d'exemple, on présente un rapport pour le lot technique 1.1 du projet (composé de quatre grands lots contenant chacun 10 petits lots). Le rapport de la figure 4.17 montre que les courbes de rendement pour un lot précis sont défavorables et ont le même aspect que les courbes correspondant à l'ensemble du projet.

Outre l'expert comptable industriel ou le gestionnaire du projet, d'autres personnes devraient s'intéresser à la productivité et être bien informées sur le sujet. Lorsque l'ingénieur de projet, le surintendant et le contremaître connaissent les méthodes de mesure de la productivité et peuvent en interpréter les résultats, ils sont davantage en mesure d'intervenir dans le processus de contrôle. Après tout, ces gens sont ceux qui connaissent le mieux le chantier et les opérations qui s'y déroulent. Ils peuvent utiliser l'information pour prendre les mesures qui s'imposent pour améliorer la productivité. Lorsque celle-ci, exprimée en coût unitaire, est plus faible que les prévisions de la direction pour un lot technique donné, le surintendant peut fournir les renseignements qui permettront d'évaluer la situation. Une augmentation du coût unitaire peut être attribuable à des facteurs étrangers aux équipes et à leur efficacité. Elle peut résulter des techniques utilisées, du taux horaire exceptionnellement élevé des travailleurs au cours de la saison de construction, ou tout simplement des méthodes inefficaces de gestion, notamment une mauvaise planification. Pour que les cadres intermédiaires puissent jouer un rôle réel dans le processus de redressement et le plan d'intervention, ils doivent connaître les grands principes du système d'établissement du coût de revient. Le cheminement, l'origine et le mode d'évaluation des données, ainsi que les renseignements qui en sont tirés, sont des aspects essentiels de la présentation et du contrôle des coûts.



# 5 La direction

## 5.1 Introduction

On peut diviser en deux catégories les facteurs qui influent sur la productivité dans le domaine de la construction : les facteurs humains et les facteurs liés à la direction. Tous ont des répercussions sur le moral et la motivation des personnes.

La qualité de la surveillance, la gestion du matériel, l'aménagement du chantier, la constructibilité et la gestion des modifications sont les principaux facteurs qui relèvent de la direction et qui ont une incidence directe sur la productivité.

## 5.2 Qualité de la surveillance

Une surveillance efficace repose sur les qualités de chef du surveillant et l'esprit d'équipe des ouvriers. Ces deux aspects contribuent à créer un milieu de travail positif pour l'ouvrier. Tout le monde veut faire partie d'une équipe gagnante. Une bonne surveillance a un impact direct évident sur la productivité, tandis qu'une surveillance insuffisante, peu judicieuse ou inefficace peut, en raison d'une disproportion entre le nombre de surveillants et d'ouvriers, inhiber la motivation des travailleurs. Dans un projet de construction, on consacre environ 10 p. 100 du temps à la transmission de directives, processus qui peut être optimisé par une surveillance efficace. Les ouvriers jugent sévèrement les gestionnaires et les surveillants qui ne sont pas suffisamment compétents, renseignés et sérieux. Une opinion favorable a un effet heureux sur le comportement et ne peut qu'être profitable sur le plan de la productivité.

## 5.3 Gestion du matériel

« Pour ce qui est d'appliquer les principes de la gestion des matériaux, le secteur de la fabrication devance de beaucoup l'industrie de la construction. » (The Business Roundtable, 1983)

Au cours des dernières années, l'industrie de la construction a enfin saisi toute l'importance de la gestion des matériaux et de l'équipement, dont les coûts peuvent représenter jusqu'à 50 p. 100 des coûts de construction. On estime qu'une meilleure gestion du matériel peut accroître de 6 p. 100 la productivité de la

main-d'oeuvre. Cette question a toujours reçu la plus grande attention parce qu'il est relativement peu coûteux de mesurer la productivité des tâches principales. Au sein même de l'industrie de la construction, la gestion du matériel se pratique à des niveaux qui varient énormément d'un projet à l'autre. Il n'existe pas de méthode universelle pour en mesurer l'efficacité.

Certaines entreprises, comme les grandes sociétés d'approvisionnement technique et de génie de la construction, conscientes de l'importance de la gestion du matériel, ont mis en place des systèmes informatisés de suivi du matériel. Elles se sont aperçues qu'il était essentiel de mieux gérer le matériel, surtout dans le cadre de grands projets qui font intervenir des milliers de composants et d'éléments. La majoration des coûts imputable aux délais de livraison et à un approvisionnement mal planifié ayant pris des proportions inquiétantes dans les projets d'envergure, ces entreprises se devaient d'innover en intégrant à leurs opérations des systèmes éprouvés de gestion du matériel.

Dans l'ensemble, l'industrie de la construction commence à comprendre à quel point une bonne gestion du matériel permet d'améliorer la productivité et la sécurité sur les chantiers. S'il est vrai que les petits chantiers n'ont pas besoin de systèmes compliqués de gestion du matériel, il n'en demeure pas moins que tous les chantiers, quelle que soit leur taille, devraient se doter d'un quelconque système de gestion, informatisé ou non.

Certaines bases de données, intégrées au système central de gestion du matériel, peuvent retracer les principales pièces d'équipement et les articles essentiels. Les tableurs électroniques sont d'excellents outils informatiques qui facilitent ce suivi. Des systèmes intégrés plus complets prennent en charge toutes les fonctions de gestion du matériel, qu'il s'agisse d'éléments préfabriqués ou de matériaux en vrac. Les coûts varient d'un système à l'autre. Les coûts du matériel, des logiciels et de la formation dépendent de la taille et de la complexité du système choisi. On prendra soin de choisir un système qui n'entraînera pas des frais d'exploitation et de personnel qui soient disproportionnés par rapport à la taille de l'installation ou de l'entreprise. Les grands projets qui nécessitent des milliers

d'éléments exigent un niveau d'informatisation plus poussé que les projets de moindre envergure, qui peuvent être efficacement soutenus par des procédés manuels ou de simples tableurs.

La manutention est un élément important de la gestion du matériel ; des études ont démontré qu'elle représente un pourcentage élevé du travail sur un chantier. Une série de 22 études sur la productivité menées en Ontario (O'Brien, 1989) a révélé que les mécaniciens et les électriciens consacraient à peine 32 p. 100 de leur temps aux travaux d'installation proprement dits, 20 p. 100 à des tâches de manutention, 15 p. 100 à des tâches de soutien, et les derniers 33 p. 100 à des activités diverses et non productives. Manifestement, plusieurs aspects de leur travail pourraient être améliorés mais il convient de souligner l'importance démesurée accordée aux activités de manutention. Un programme visant à accroître la productivité a permis de faire passer à 52 p. 100 le temps consacré à la mise en oeuvre des matériaux et à ramener à 12 p. 100 le temps de manutention.

D'autres études ont indiqué des rapports similaires entre la tâche principale et le travail de soutien, les temps de manutention et d'attente des matériaux représentant une fraction importante des heures-personnes. Ces études de macroproductivité font ressortir le fait que la manutention et la gestion du matériel constituent des moyens d'améliorer la productivité. On tente généralement de mesurer la productivité en analysant les tâches principales, comme le découpage, l'assemblage et le liaison-

nement des éléments. Il serait plus efficace de réduire les heures-personnes affectées aux travaux de soutien, comme l'attente et la manutention des matériaux. Un ouvrier devrait pouvoir se procurer les matériaux dont il a besoin au moment voulu. À cette fin, une bonne organisation des activités de manutention ne suffit pas : il faut une bonne gestion du matériel.

La manutention et le transport des matériaux présentent des dangers. La plupart des ouvriers de métier ne savent pas comment manipuler, soulever ou transporter les matériaux. Une bonne gestion du matériel, comportant une planification et un contrôle efficaces, améliorera la productivité et réduira les risques puisque la manutention des matériaux sera confiée uniquement à du personnel qualifié. La productivité doit toujours être évaluée en fonction d'un certain niveau de sécurité. La productivité et la sécurité sont à toutes fins utiles inséparables.

### 5.3.1 Étapes de la gestion du matériel

La présente section traite surtout de la qualité de la gestion du matériel et des responsabilités des personnes qui en ont la charge. Il est nécessaire de bien connaître les caractéristiques de toutes les fonctions pour en comprendre les interrelations. On retrouve dans chaque système de gestion du matériel les grandes fonctions suivantes : identification, approvisionnement, distribution et élimination des matériaux du chantier de construction (CII, 1988).

Par définition, la gestion du matériel est l'activité qui consiste à planifier et à contrôler tous les efforts déployés pour garantir que les quantités requises de matériaux de la qualité prescrite sont commandées à temps, achetées à un prix raisonnable et livrées sur les lieux d'utilisation au moment voulu (The Business Roundtable, 1983).

Chaque entreprise possède son propre système de gestion du matériel. En général, la responsabilité des diverses activités est partagée entre les services de génie, d'approvisionnement et de construction. Dans certains cas, toute la responsabilité incombe à un seul gestionnaire, mais le plus souvent cette charge est partagée, ce qui tend à multiplier les problèmes. En fait, plus elle est divisée, plus la probabilité de défaillances est élevée.

La figure 5.1 montre les grandes étapes de la gestion du matériel, de la détermination des besoins jusqu'à la livraison des matériaux sur les lieux d'utilisation.

### 5.3.2 Responsabilités

Les responsabilités et les pouvoirs des personnes engagées dans le processus de gestion du matériel doivent être clairement définis.

**Figure 5.1 Étapes de la gestion du matériel**

Séquence	Activités/documents
1. Demande de prix	Dessins, devis descriptif Devis quantitatif Modalités
2. Soumissions	Approbation de la liste des soumissionnaires Pré-homologation des soumissionnaires Évaluation des soumissions
3. Bons de commande	Étude des soumissions Avis d'attribution du marché
4. Expédition	Données aux fournisseurs Enquête sur le fabricant Livraison Routage
5. Transport	Transporteur et route Droit de propriété Douanes
6. Réception	Inspection et réception Rapport de réception Entreposage
7. Inventaire	Distribution (manutention) Niveau des stocks Élimination des surplus



## CIMFP Exhibit P-03243

Un système efficace de gestion du matériel améliore la productivité et doit nécessairement faire intervenir tous les responsables. La nature de la participation de chacun d'eux doit être bien indiquée dans les documents contractuels, à défaut de quoi la correction des erreurs de quantité, de qualité et de prix demandera un surcroît de travail. Toute surcharge fortuite de travail diminue la productivité. Une mauvaise gestion du matériel transparait immédiatement sur les lieux d'utilisation. Il est nettement plus difficile de se rendre compte de la piètre qualité des études techniques.

43

Page 97

La figure 5.2 montre les liens contractuels et les principaux documents utilisés pour définir le rôle de chacun des responsables de la gestion du matériel.

Lorsqu'un maître d'ouvrage achète un article à long délai de livraison et remet par la suite le bon de commande à l'entrepreneur, ce dernier doit comprendre la portée de ce document ainsi que de tout document connexe afin de s'assurer que rien ne lui échappe.

### 5.3.3 Interfaces fonctionnelles et incidences sur la productivité

Un système de gestion du matériel se compose de nombreux éléments logiques, comme le montre la figure 5.3. Comme pour tout autre système, la majorité des problèmes surviennent à l'interface des fonctions, et les responsables doivent être conscients de cette vulnérabilité. Les documents d'appui et les méthodes de travail, de même que le personnel spécialisé qui exécute les fonctions, font également partie du système.

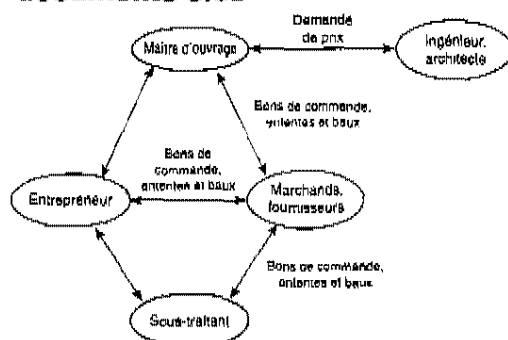
Bien que tous les principaux services participent à la gestion du matériel, les plus importants sont les services de génie, d'approvisionnement et de construction. Il revient habituellement au service de génie de déterminer les besoins du projet, les caractéristiques techniques des produits et les quantités. Ce service établit une demande de prix qui est traitée par le service d'approvisionnement.

Ce dernier dresse une liste de soumissionnaires, demande des prix ou des soumissions, en évalue les aspects techniques à l'aide du service de génie et établit un bon d'achat. D'autres divisions du service d'approvisionnement veillent à l'expédition, à l'inspection et au transport des produits.

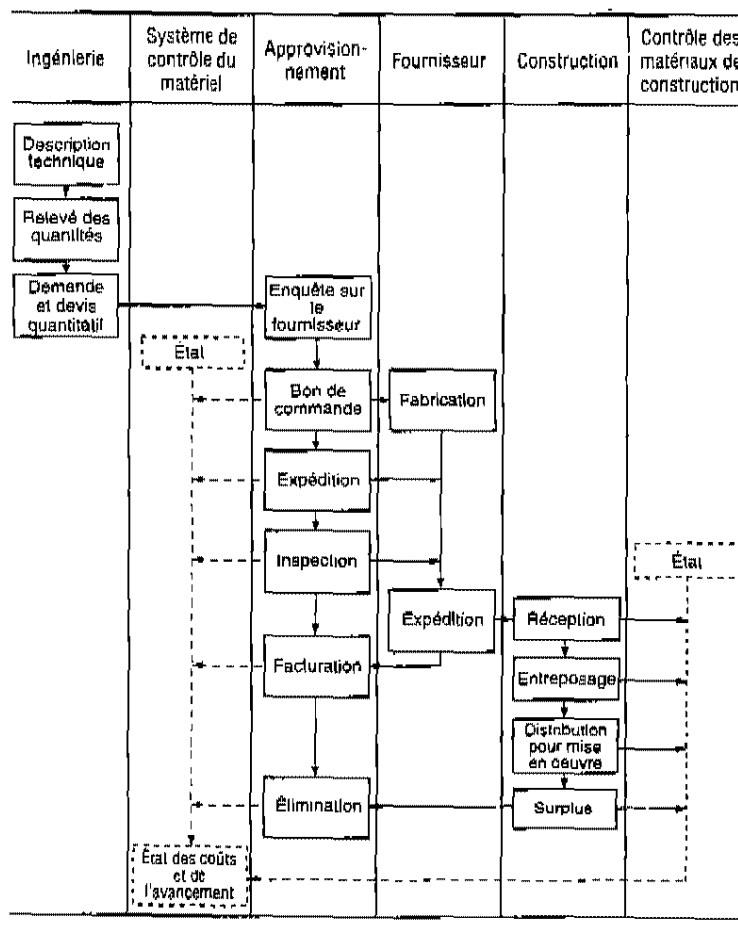
Le service de construction reçoit les matériaux, les inspecte, les entrepose et les distribue aux différents postes de travail.

Les grands projets de construction font de plus en plus appel à des systèmes informatisés. Ces systèmes servent avant tout d'instruments de communication et permettent d'accélérer certaines tâches comme la préparation des relevés et des listes de matériaux. Tout outil capable de répondre à ces besoins améliore la productivité en réduisant au minimum le coût d'acquisition des matériaux et en améliorant l'efficacité sur le chantier, grâce surtout à la livraison ponctuelle des matériaux demandés. Le degré de perfectionnement du système dépend de plusieurs paramètres, notamment la taille de l'entreprise ainsi que l'envergure et la complexité du projet. Un programme de gestion bien organisé influence favorablement le personnel et les clients.

**Figure 5.2 Liens contractuels et documents clés**



**Figure 5.3 Gestion du matériel de chantier**



## CIMFP Exhibit P-03243

Page 98

Les problèmes de gestion du matériel se traduisent parfois par des erreurs de quantité et de qualité. Les ruptures de stock entraînent des arrêts de travail, et l'on doit alors planifier de nouveau les travaux en tenant compte de ces pénuries. Lorsque le système est incapable de prévoir suffisamment à l'avance les pénuries de matériaux, il faut réorganiser en vitesse les équipes de travail. Si les matériaux livrés sont de qualité inférieure, on peut les refuser ou les utiliser, mais leur mise en oeuvre demande généralement des heures-personnes supplémentaires. Les matériaux refusés doivent être enlevés et remplacés par des matériaux neufs dont la manutention représente aussi des heures-personnes non prévues. La mise en oeuvre de produits de qualité inférieure nécessite l'affectation d'heures-personnes supplémentaires, notamment lorsqu'il s'agit de bois de construction dont il faut surveiller la fâcheuse tendance au gauchissement. (Méfiez-vous des produits dits économiques ; le dollar économisé à l'achat n'est pas nécessairement un dollar économisé sur le chantier).

Les délais de livraison sont la conséquence la plus manifeste d'une mauvaise gestion du matériel. Ces retards ont un peu le même effet que les erreurs de quantité, car ils interrompent le travail et demandent une nouvelle planification. Les interruptions se traduisent par des pertes de temps et par des activités non productives visant essentiellement à redresser la situation.

Ceux qui ont participé à des projets où tout se déroule comme prévu se souviendront peut-être que les matériaux demandés étaient livrés à temps et que toutes les personnes travaillant au projet étaient conscientes de l'efficacité de la planification. Une bonne gestion a un effet tonique sur le moral des troupes. L'inverse est aussi vrai ; la négligence de la direction (ou des ingénieurs) engendre inévitablement un laisser-aller chez les ouvriers. Résultat : la productivité en prend un coup.

Dans un système intégré de gestion du matériel, les matériaux sont généralement disponibles au moment voulu et les surveillants peuvent organiser le travail en fonction de la disponibilité des matériaux. Le va-et-vient entre les aires de travail pour remplacer des éléments manquants est un gaspillage d'heures-personnes ; cette activité est aussi peu productive que les retouches. On sait que les contremaîtres passent jusqu'à 20 p. 100 de leur temps à la recherche de matériaux et quelque 10 p. 100 à retracer et à expédier les bons de commande (Bell et Stackhardt, 1987). La performance d'un système de gestion du matériel est fonction de la quantité et de la qualité des efforts investis.

### 5.3.4 Planification préliminaire

La planification préliminaire est probablement le facteur déterminant de la réussite d'un programme de gestion du matériel (CII, 1988). Celle-ci doit être une activité intégrée dans laquelle les attributions du maître d'ouvrage, de l'ingénieur ou de l'entrepreneur sont clairement définies. Les décisions importantes concernant notamment l'accès au chantier et les dépôts de matériel, la compression du calendrier d'exécution, les mouvements de caisse, l'approbation des dépenses et les exigences de vérification, sont prises dès les premières phases du projet et se répercutent sur les coûts et sur la productivité.

### 5.3.5 Contrôle du matériel

Le contrôle du matériel comprend le calcul des quantités ainsi que l'achat et la distribution des matériaux. Il consiste essentiellement à acquérir le matériel au moment voulu afin d'éviter les frais supplémentaires de main-d'oeuvre découlant de la non-disponibilité des matériaux.

Les quantités et la qualité des matériaux sont définies dans les devis quantitatifs et descriptifs. On devrait établir un calendrier approximatif des livraisons des éléments essentiels de manière à fournir un plan d'ensemble du projet (voir la figure 5.4) comprenant la date de livraison des matériaux au chantier, la date de présentation des dessins définitifs et des données destinés aux fournisseurs, les données des fournisseurs, le calendrier de fabrication et les délais de livraison.

Le contrôle sur place permet de planifier l'entreposage et la distribution des matériaux. Le système de gestion du matériel devrait pouvoir signaler à l'avance les ruptures de stock. Le contrôle des stocks sert à prévenir le vol et la distribution non autorisée des matériaux, et à protéger les produits contre certaines conditions environnementales.

Plusieurs méthodes d'ordonnement peuvent être adoptées. La livraison juste à temps exige une planification minutieuse et une bonne organisation. Elle consiste à acheter les matériaux de manière qu'ils soient livrés peu de temps avant leur utilisation ; les dépenses sont engagées uniquement au moment voulu, pas avant. C'est une méthode qui comporte des avantages non négligeables au plan des mouvements de caisse et qui convient surtout aux gros achats, bien qu'elle puisse aussi être appliquée à l'achat de matériaux en vrac, comme le béton préfabriqué et l'asphalte.

Il y a aussi la méthode des stocks de réserve, qui est plus coûteuse au niveau des mouvements de caisse et des pertes dues au vol.



- le déplacement dans le plan horizontal ;
- le hissage et la manutention dans le plan vertical.

#### **La conteneurisation et l'emballage.**

Ces deux activités exigent une planification et une organisation minutieuses. Il existe plusieurs types de palettes, de conteneurs et d'emballage de protection. L'ordre dans lequel les matériaux sont emballés ou chargés est important, surtout lorsqu'ils sont destinés à des chantiers congestionnés ou à des projets de construction de bâtiments de grande hauteur.

L'utilisation d'équipement sur patins et d'éléments modulaires permet de réduire la main-d'oeuvre en chantier. Les éléments modulaires demandent une planification préliminaire importante, et leur conception et leur fabrication exigent le transfert du chantier à l'atelier d'un grand nombre d'heures-personnes. Le résultat est une meilleure productivité de la main-d'oeuvre de chantier et une diminution des coûts du projet.

**Transport vers le chantier.** Le transport des matériaux et de l'équipement s'effectue habituellement par camion, mais aussi par train, par bateau ou par avion. La planification de la réception des marchandises est importante afin que l'on puisse disposer des hommes et de l'équipement nécessaires au moment voulu. Des expéditions inattendues occasionnent des temps d'attente pour les conducteurs ou l'affectation d'ouvriers à la réception des marchandises. Les méthodes les plus efficaces de transport du matériel exigent parfois des routes d'hiver, des permis pour surlargeur de charge ou des limites de charge. Pour les charges de dimensions spéciales, on doit planifier l'itinéraire afin d'éviter un ralentissement des expéditions.

**Déchargement et entreposage.** Le déchargement du matériel doit être effectué par des équipes spécialisées qui disposent d'un équipement approprié. Il faut éviter de déplacer plusieurs fois les matériaux.

**Déplacement dans le plan horizontal.** Les méthodes employées pour déplacer les matériaux dans le plan horizontal varient selon la nature des matériaux. Les camions et les remorques sont les moyens habituellement employés, quoique l'on ait aussi recours à des convoyeurs et à des grues. Des équipements de manutention dont la capacité ou les dimensions sont inadéquates entraîneront des baisses de productivité.

**Hissage et manutention dans le plan vertical.** Pour déplacer les matériaux à la verticale et les hisser, il faut des monte-charges et des ascenseurs, des grues et autres appareils de levage. Le choix de ces dispositifs procède de

multiples facteurs, comme la capacité nominale, le type recommandé, c'est-à-dire mobile, à chenilles ou fixe, l'emplacement idéal sur le chantier. Tous ces facteurs ont un impact direct sur la productivité du projet.

Quel est le meilleur procédé pour mettre en oeuvre le béton : une pompe à béton ou une grue à tour? Le meilleur choix serait la grue à tour car elle peut également servir à l'installation des coffrages.

Pour construire un pont, on a installé des monte-charge au coût de 200 000 dollars afin de pouvoir se rendre plus rapidement sur les lieux de travail. On a estimé à neuf mois la période de récupération, soit la moitié de la durée du projet. Les exemples d'amélioration de la productivité grâce à un équipement approprié abondent. Au moment de planifier les travaux de construction de la tour de 72 étages de la First Bank, à Toronto (ASCE, 1976), les maîtres d'ouvrage et promoteurs ont visité plusieurs chantiers pour examiner les systèmes en place, bons et mauvais. Les ouvriers prendaient de trois à quatre heures par jour en déplacements. Ils ont donc imaginé et mis en place un système de transport pour les ouvriers et les matériaux, inspiré des systèmes en usage dans les usines. On a prévu des ascenseurs fonctionnant jour et nuit, et l'on a établi l'ordre des priorités. Grâce à ces mesures, l'efficacité de la manutention des matériaux a augmenté de 600 p. 100 pour la mise en oeuvre du marbre, de 400 p. 100 pour le câblage électrique, de 260 p. 100 pour le vitrage et de 800 p. 100 pour les plaques de plâtre. Cette innovation a permis d'économiser 1,33 million d'heures-personnes.

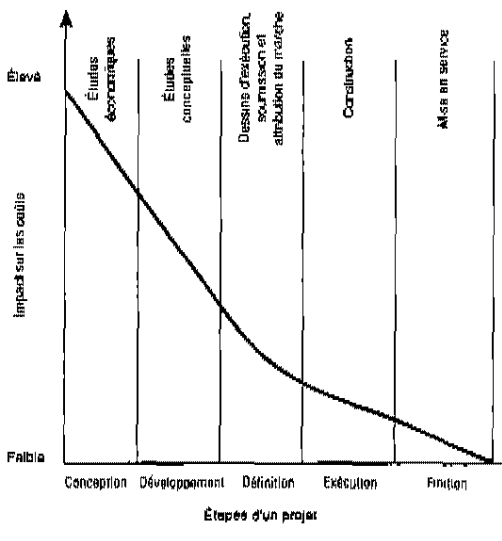
L'espace est un bien précieux sur un chantier de construction, car le même espace peut être convoité par plusieurs corps de métiers. Au fil de l'avancement des travaux, des décisions importantes sont prises concernant l'espace, les voies de sortie et d'accès, et toutes influent sur la productivité. Ainsi, on doit tenir compte de la circulation sur le chantier, de la proximité de bâtiments et d'obstacles, du type de routes, de l'espace de manoeuvre et de stationnement pour les véhicules.

Les principes de gestion du matériel demeurent essentiellement les mêmes, quelle que soit la taille du projet, et ne diffèrent que par la complexité de l'organisation des tâches et de la dotation en personnel, de la documentation et des relations avec les fournisseurs, ainsi que par le niveau d'informatisation. La gestion du matériel s'est considérablement améliorée au cours des dix dernières années grâce à la mise au point d'outils et de méthodes plus efficaces qui, en augmentant la productivité, ont permis d'accroître la rentabilité.

## 5.4 La capacité de construire

La capacité de construire est la capacité d'exploiter au maximum ses connaissances et son expérience pour planifier, calculer, s'approvisionner et organiser les activités d'un chantier dans le but d'atteindre les objectifs globaux d'un projet de construction (CII, 1986). C'est aussi la capacité d'intégrer dès les premiers stades du projet les ressources et la technologie à l'endroit et au moment appropriés, et de s'assurer la participation des gens tout au long du projet.

**Figure 5.5 Répercussions des décisions sur les coûts des différentes phases d'un projet de construction**

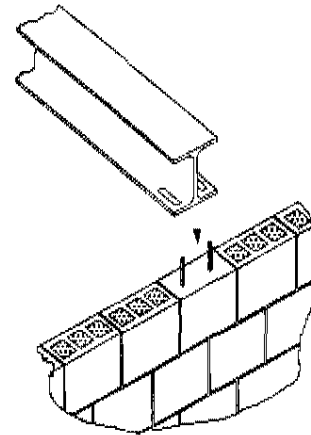


Pour qu'un projet soit vraiment rentable, tous les intéressés, y compris le maître d'ouvrage et l'entrepreneur, qui possèdent l'expérience et les connaissances doivent apporter leur contribution dès le coup d'envoi et maintenir leur participation par la suite. La figure 5.5 montre que les décisions prises aux étapes initiales sont celles qui ont le plus d'impact sur les coûts.

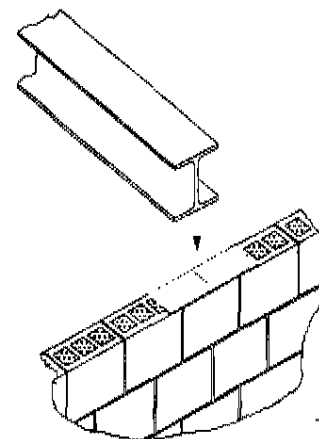
La capacité de construire améliore l'efficacité de la construction. C'est un facteur de productivité globale qui devrait chapeauter toute l'organisation d'un projet. Ce sont les mesures prises par la direction, à tous les niveaux, qui créent cette culture, non pas en tant que fonction distincte mais comme processus continu. Les méthodes ou les détails de construction « astucieux » sont appréciés des ouvriers et contribuent à les motiver.

À titre d'exemple, la figure 5.6 (a) montre le détail de l'assemblage d'une poutre d'acier sur un mur de maçonnerie. Les tolérances étant faibles, les trous pratiqués dans la poutre pour recevoir les boulons d'ancrage exigent une précision coûteuse et difficile à garantir. La figure 5.6 (b) illustre une solution de rechange qui permet de respecter les tolérances tout en coûtant moins cher au niveau de la mise en oeuvre.

**Figure 5.6 Détail d'assemblage d'une poutre**



(a) Boulons d'ancrage noyés dans le mortier



(b) Plaque d'appui retenue au moyen de boulons noyés dans le mortier et à laquelle la poutre est soudée

### 5.4.1 Un problème familier

L'évolution et le perfectionnement des processus de construction ont mené progressivement à la scission des fonctions de conception et de construction dans le cadre des projets traditionnels. Le maître d'ouvrage retient les services d'un ingénieur ou d'un architecte qui fait le plan de l'installation, dont il confie ensuite la construction à un entrepreneur qui doit se procurer les matériaux et l'équipement, engager la main-d'oeuvre et exécuter les conditions du con-

trat. Cette façon de procéder, où les fonctions sont nettement séparées, se traduit en bout de ligne par une dégradation de la capacité de construire. Nous préconisons le retour au concept du constructeur principal comme moyen de réaliser des projets de façon efficace et économique.

#### 5.4.2 Principes inhérents à la capacité de construire

À l'étape de l'étude conceptuelle d'un projet, on doit établir les objectifs, choisir les méthodes de construction et les emplacements, et élaborer une stratégie visant les contrats.

Les calendriers généraux de projet doivent être adaptés aux exigences de la construction. Il faut fixer des délais réalistes pour l'exécution des tâches afin d'éviter d'avoir recours aux heures supplémentaires coûteuses, d'accélérer les travaux ou d'abaisser la productivité des ouvriers par un excédent de main-d'oeuvre.

Les principales méthodes de construction sont étudiées au stade de la conception initiale. Les procédés spéciaux sont la préfabrication, le pré-assemblage et la construction par modules.

Des chantiers bien aménagés peuvent faciliter les activités de construction et réduire les coûts. Les aires d'entreposage, les voies d'accès et les routes doivent être bien adaptées et offrir surtout suffisamment d'espace pour la manoeuvre et la circulation de l'équipement. On devrait examiner la possibilité d'utiliser des installations et des services permanents.

Pour assurer l'efficacité d'un projet de construction, on doit éviter les détails et les formes complexes de façon à ce que les dessins permettent une certaine souplesse dans le choix des méthodes de construction et des matériaux de remplacement. Le calendrier de conception doit être compatible avec l'ordre des travaux exécutés en chantier. Des dessins de qualité, des devis et des données sur le chantier améliorent la productivité.

On déplore souvent le manque de clarté des dessins, ce qui oblige les équipes à trouver eux-mêmes des solutions. Le travail de conception se déplace ainsi vers le chantier, processus coûteux et inefficace qui tend à provoquer des interruptions indésirables. Les dessinateurs qui préparent les plans de dimensionnement devraient tenir compte des besoins des ouvriers et éviter de répartir sur plusieurs dessins les dimensions d'un même élément.

Dans les relations avec les fournisseurs, la fourniture des données techniques au moment voulu, le pré-assemblage et l'essai

en atelier des éléments, ainsi que l'incorporation d'anneaux de levage aux éléments, sont autant de moyens d'améliorer la capacité de construire.

La normalisation a aussi un rôle à jouer : ainsi, la tâche est grandement simplifiée lorsqu'on utilise les mêmes dimensions que les fabricants, des raccords pour les éléments en acier et des tuyauteries normalisés, ainsi que de l'équipement électrique et mécanique d'emploi courant. Les dessins peuvent aussi être normalisés afin de pouvoir profiter des avantages de la duplication, de la symétrie et de la répétition. Lorsqu'on doit construire des coffrages différents pour chaque élément, les coûts sont astronomiques. Le stade olympique de Montréal et la maison de l'opéra de Sydney, en Australie, sont des exemples classiques de grands projets où les coûts des coffrages ont rapidement atteint des proportions incontrôlables. De nombreux cas ont montré que l'utilisation d'éléments modulaires est économique. Les coffrages pour le béton et la construction domiciliaire sont deux domaines où la modularisation pourrait réduire au minimum le gaspillage.

L'utilisation d'éléments préfabriqués, par exemple les escaliers dans les noyaux des bâtiments de grande hauteur, est recommandée pour améliorer la constructibilité des charpentes. L'emploi de barres d'armature droites, la préfabrication des cages et les détails des armatures en fonction de la hauteur de coulée sont des procédés efficaces et économiques.

Une conception et une construction efficaces exigent que les connaissances techniques pertinentes soient exploitées dès les premiers instants d'un projet. Il est possible d'améliorer la constructibilité par une conception adaptée aux exigences de construction, et des calendriers réalistes.

## 5.5 Gestion des modifications

Les modifications sont caractéristiques de tout projet de construction. Elles résultent le plus souvent de la révision de la portée des travaux ou des détails de construction, et des retouches nécessaires pour corriger les erreurs.

Leurs répercussions se font sentir à tous les niveaux du projet parce qu'elles provoquent des interruptions et des retards. Voyons la suite d'événements qui découlent d'une modification. On communique d'abord l'information au gestionnaire du projet, qui en avise le contremaître. Ce dernier interrompt alors son travail de surveillance ou de planification et en informe les ouvriers concernés. Il leur confie ensuite une autre tâche. Lorsque tous les détails et les nouveaux plans sont disponibles, la

tâche interrompue peut être poursuivie. Au cours de ce cycle, le contremaître, les directeurs et le personnel de soutien doivent fournir des efforts supplémentaires.

Lorsqu'il s'agit par exemple de déplacer une porte, le travail exigé est facilement quantifiable. Il a par contre des répercussions moins visibles qui perturbent le travail et causent des pertes de temps. Ces pertes se produisent au moment de réaffecter les ouvriers à des tâches de remplacement et de leur donner de nouvelles directives.

Étant donné l'interdépendance des activités de construction, les modifications apportées aux unes agissent sur la productivité des autres même si elles ne sont pas directement touchées par ces changements. Ces modifications ont aussi un effet sur la productivité de la main-d'œuvre parce qu'elles modifient les processus d'apprentissage et de désapprentissage, comme nous l'avons vu au chapitre 3.

La figure 5.7 (Rapport Revay, 1991) montre la perte de productivité attribuable aux ordres de modification des travaux de mécanique et d'électricité. Des statistiques analogues existent pour les travaux de génie civil et d'architecture.

La figure 5.7 comporte trois courbes ; celle du bas est la courbe des pertes de productivité attribuables aux seules modifications. Les autres grandes causes de perte de productivité ont, comme on le voit, un effet cumulatif négatif.

Les interruptions et les retards ont un effet sur la productivité parce qu'il y a interruption du rythme du travail, bouleversement de l'ordre des tâches, répétition du cycle d'apprentissage, déséquilibre des effectifs des équipes et fluctuation des affectations du personnel. Ces

situations risquent de miner la motivation des ouvriers, qui percevront les gestionnaires et les surveillants comme incompetents et peu soucieux de leur bien-être.

Plus le nombre de modifications augmente, plus il est difficile de planifier et d'ordonner les tâches. L'introduction d'une modification équivaut à ajouter une nouvelle tâche à l'ensemble des travaux, ce qui nécessite souvent une compression du calendrier. Certains impacts sont manifestes, d'autres le sont beaucoup moins. La gestion des modifications a un impact majeur sur la productivité.

## Ouvrages complémentaires

ASCE. 1976. *Civil Engineering*, American Society of Civil Engineering, août 1976.

Barric, D.S. et B.C. Paulson, 1992. *Professional Construction Management*. 3<sup>e</sup> édition. New York : McGraw Hill.

Bell, L.C. et G. Stukhart. Juin 1987. « Cost and Benefits of Materials Management ». ASCE 113 (2).

Construction Industry Institute (CII). 1985. *Attributes of Material Management*. The University of Texas at Austin, SD-1.

Construction Industry Institute (CII). 1986. « Constructability: A Primer ». The University of Texas at Austin, Publication 3-1, juillet 1986.

Construction Industry Institute (CII). 1988. *Project Materials Management Primer*. The University of Texas at Austin, Publication 7-2.

Drucker, P.F., 1974. *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*. New York : Harper and Row.

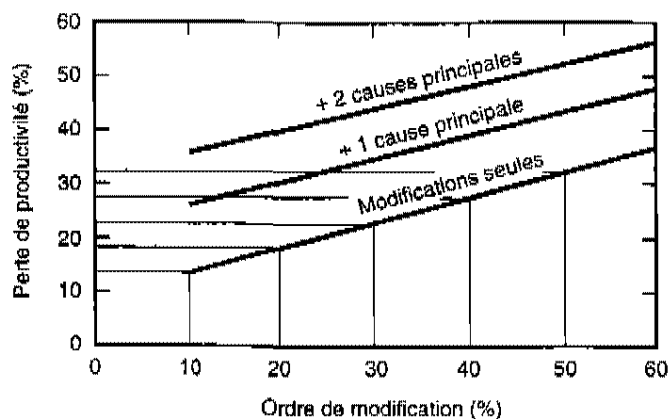
Leonard, C.A., O. Moselhi, et P. Fazio, 1991. « Impact of Change Orders on Construction Productivity ». *Revue canadienne de génie civil* 18 (3).

O'Brien, K.E., 1989. *Improvement of On-Site Productivity*. K.E. O'Brien and Associates, Toronto, Canada.

Revay and Associates. Janvier 1991. *The Revay Report* 10 (1), Toronto, Canada.

The Business Roundtable. 1989. « Modern Management Systems ». Report A-6. BRT 200 Park Ave., New York, N.Y. 10166.

**Figure 5.7 Perte de productivité due aux modifications des travaux de mécanique et d'électricité**



## 6 Conclusion

### 6.1 La macroproductivité et la microproductivité

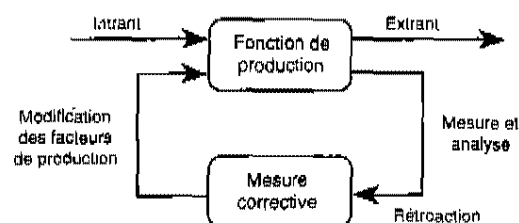
Il est important d'établir une distinction entre les facteurs de macroproductivité et de microproductivité lorsqu'on analyse les relations de cause à effet en vue de prendre des mesures correctives. Les premiers, qui influent sur l'efficacité du processus de construction, sont ceux qui donnent davantage lieu à des discussions interminables qu'à des interventions concrètes ou à l'affectation des fonds nécessaires. On parle beaucoup d'améliorer la productivité car cette dernière est, en quelque sorte, la clé de la survie économique. Le champ d'action de l'industrie et du gouvernement est très étendu lorsqu'il s'agit d'améliorer et de promouvoir un climat propice au progrès. Les industries japonaises ont mis au point un modèle efficace de coopération et de soutien. L'ouvrier japonais n'est pas plus productif que le travailleur nord-américain ; c'est le système dans lequel il évolue qui est plus productif. Le gouvernement, l'industrie et les établissements financiers doivent collaborer pour offrir un soutien synergique au niveau de la macroproductivité. Au Canada, on investit relativement peu dans la recherche de moyens visant à augmenter la productivité dans l'industrie de la construction. Seules les industries qui réinvestissent suffisamment pour demeurer concurrentielles survivront ; il est donc impératif que l'industrie et les entreprises de construction augmentent leurs contributions à un niveau global. Si l'industrie de la construction, qui représente quelque 15 p. 100 du produit intérieur brut, ne reprend pas bientôt son essor, la concurrence étrangère continuera à faire des percées dans les marchés traditionnellement occupés par le Canada.

Voilà le type de problèmes de macroproductivité qui doivent être résolus, mais qui débordent le cadre de la présente étude. Néanmoins, chaque entreprise de construction et chaque travailleur ont le devoir d'améliorer la microproductivité. L'efficacité de la main-d'œuvre et des méthodes employées est le fondement de la compétitivité, et l'on doit accorder davantage d'attention à la mesure de la productivité. Il est parfois difficile, voire impossible, d'isoler l'effet particulier de chaque facteur sur l'efficacité des processus de con-

struction, mais cela ne devrait pas entraver les efforts déployés en ce sens. L'amélioration de la productivité et la mesure des effets des facteurs relationnels doivent être intégrées aux tâches quotidiennes.

L'amélioration de la productivité est un processus continu (voir la figure 6.1) et, en tant que tel, doit faire partie intégrante des opérations de gestion de la qualité totale. Une qualité et une productivité améliorées profitent tant à l'entrepreneur qu'au consommateur.

**Figure 6.1 L'amélioration de la qualité : un processus continu**



La fonction de production génère des données qui, après analyse, fournissent une information en retour quant aux mesures à prendre pour améliorer la productivité. Le cycle recommence jusqu'à ce que le niveau souhaité soit atteint. Une analyse de la productivité n'est vraiment complète que lorsqu'elle englobe la qualité et la sécurité. L'industrie de la construction doit faire preuve de beaucoup de rigueur si elle veut agir à la fois sur la qualité, la sécurité et la productivité. Les surveillants et les ouvriers doivent fournir un effort soutenu en vue d'améliorer leur efficacité, ce qui est bien entendu l'objectif premier du présent ouvrage.

### 6.2 Quelques suggestions pour améliorer la productivité dans le domaine de la construction

La construction est une industrie unique et le maintien de hauts niveaux de productivité repose en grande partie sur l'expérience pratique de son personnel. Les qualités de



l'équipe travailleurs-gestionnaires détermineront en fin de compte les niveaux de productivité qui seront atteints dans le cadre d'un projet. Une personne expérimentée peut juger du niveau d'activité d'un projet de différentes manières. Par exemple, une technique unique et peu coûteuse pour mesurer la productivité consiste à observer le niveau de bruit d'un chantier. Si un niveau sonore élevé n'est absolument pas un indice de productivité, il n'en demeure pas moins que le silence est un signe indiscutable de non-productivité. Une oreille entraînée et expérimentée peut déterminer, par le bourdonnement ou le rythme qui marque infailliblement un travail productif, si un travail se déroule normalement : vrômbissement de la grue toutes les cinq ou six minutes, grésillement des lampes à arc, ou bruit fugace d'un treuil pneumatique.

Parmi les sujets qui n'ont pas été abordés dans les pages qui précèdent mais qui peuvent néanmoins influencer sur la productivité, mentionnons la sécurité d'emploi, la sécurité au travail et les télécommunications. Toutes les entreprises de construction florissantes, qu'elles soient grandes, moyennes ou petites, appliquent les préceptes de la sécurité d'emploi, car c'est un aspect qui pour des raisons évidentes aura un effet important sur l'efficacité des travailleurs.

Les questions de sécurité au travail ont été traitées sommairement au chapitre 3. Un aspect dont on ne saisit pas toujours toute la portée est l'effet d'un accident grave sur la productivité des ouvriers. Un projet qui se déroule comme prévu et qui est interrompu par un accident grave ou un décès ne reprendra jamais son rythme normal. Le fait de mettre sur pied un programme et des mesures de sécurité appropriés peut contribuer à prévenir une telle situation.

Les nouvelles technologies peuvent être utilement appliquées à un projet de construction et contribuer à en accroître la productivité dans la mesure où elles permettent de transmettre rapidement une information à jour, de réduire les déplacements entre les emplacements distants et de faciliter les interventions

d'urgence. Ainsi, on utilise des systèmes de communication par télévision en circuit fermé pour la tenue de réunions entre des ingénieurs travaillant à un emplacement distant et le bureau central. En plus de permettre la transmission de l'information en temps voulu et une communication avec les experts du bureau central, ce système élimine les déplacements par avion, qui constituent souvent un gaspillage de temps, d'énergie et d'argent. Les télécommunications permettent de résoudre plus facilement les problèmes de réception en assurant une liaison informatique entre le personnel de chantier et l'ingénieur ou l'architecte. On utilise des systèmes comparables pour étudier les dessins et d'autres documents contractuels parce qu'ils sont capables de produire des décisions instantanées aux fins de l'amélioration de la productivité et de la réduction des coûts. Cette technologie comprend aussi les systèmes CAO de planification des opérations de grutage, qui augmentent la productivité des activités de construction en accélérant les processus de planification et de conception technique. On a de plus en plus recours aux multimédias pour former le personnel, parce qu'il est ainsi plus facile d'expliquer au personnel de chantier la mise en oeuvre des matériaux ou l'installation des équipements. Par ailleurs, on conçoit aujourd'hui des programmes d'inspection à vue tournant sur ordinateur personnel. Grâce à ces programmes, on peut vérifier, avant le début de la construction, la constructibilité d'un plan tridimensionnel complexe, éliminer bon nombre de retouches et accroître la productivité de l'ensemble du projet.

Au moment de mesurer la productivité, il est important de connaître la situation du projet. L'amélioration de la productivité repose sur une démarche scientifique visant à éliminer les défaillances à la source, ainsi que sur une bonne expérience pratique du travail.

L'industrie de la construction aurait tout intérêt à utiliser intelligemment l'automatisation pour améliorer les processus de planification et de contrôle afin de demeurer concurrentielle, en particulier sur le marché international.



# Productivity in Construction

Dozzi, S.P.; AbouRizk, S.M.

---

NRCC-37001

The material in this document is covered by the provisions of the Copyright Act, by Canadian laws, policies, regulations and international agreements. Such provisions serve to identify the information source and, in specific instances, to prohibit reproduction of materials without written permission. For more information visit <http://laws.justice.gc.ca/en/showtdm/cs/C-42>

Les renseignements dans ce document sont protégés par la Loi sur le droit d'auteur, par les lois, les politiques et les règlements du Canada et des accords internationaux. Ces dispositions permettent d'identifier la source de l'information et, dans certains cas, d'interdire la copie de documents sans permission écrite. Pour obtenir de plus amples renseignements : <http://lois.justice.gc.ca/fr/showtdm/cs/C-42>





# Productivity in Construction

---

S.P. Dozzi, P.Eng. and S.M. AbouRizk, Ph.D., P.Eng.  
Construction Engineering and Management  
Civil Engineering Department  
University of Alberta

Institute for Research in Construction  
National Research Council  
Ottawa, Ontario, Canada

---

IRC-P-3547  
NRCC 37001  
NR16-24/1993E  
ISBN 0-662-21134-0  
Ottawa, December 1993  
© National Research Council Canada 1993

---

# Preface

---

NRC's Institute for Research in Construction is delighted to be instrumental in bringing this important guidebook to the construction professionals of Canada. This CSCE-NRC project is a good example of the kind of alliance that is increasingly important in support of the Canadian construction industry as it strives to find internationally competitive ways to do business. The pairing of the country's leading source for construction technologies with the senior national professional association in civil engineering has produced a definitive statement on the subject of productivity, which I commend to all readers.

G. Seaden, Director General  
Institute for Research in Construction



# Foreword

Contractors have often been heard to say, "As long as we are as aggressive and efficient as our usual competitors, we will always get our share of work." But in today's marketplace, being as efficient as one's neighbour does not suffice. Competition is no longer limited to contractors working in well defined geographical areas. The available work is being sought by firms from other parts of the country or even of the globe.

Canadian competitiveness, or rather the lack of it, has been in the headlines now for several years. For example, a report in the 25 June 1991 issue of *The Economist*, entitled "A Survey of Canada," claims that:

*"In general, the growth of Canadian productivity is declining; yet if Canada is to remain a high-wage economy, it has to be a high-productivity one. Annual productivity growth, which has been 2.3% in 1946-73, fell to 0.9% in 1973-90. And the growth of Canadian manufacturing productivity has slowed relative to all other members of the Group of Seven rich countries. Cost competitiveness relative to the United States has declined particularly sharply...."*

There are also signs of slowed productivity in Canada relative to Japan. Between 1986 and 1990, the productivity of construction labour in Japan increased by 6.6% a year, while Canadian construction productivity rose by only 1.6%.

In response to this dilemma, the Construction Division of the Canadian Society for Civil Engineering (CSCE) developed and implemented a program with a view to improving productivity. CSCE, with the assistance of the National Research Council, formed an alliance with the Construction Technology Centre Atlantic Inc. (CTCA), according to which CSCE would produce a manual about ways to improve productivity and CTCA would organize seminars. Such seminars on productivity improvement have taken place across Canada since September 1990, usually in collaboration with the local construction association.

The Institute for Research in Construction has now decided to draw on the experience gained from the preparation of the manual and presentations, and publish this document, "Productivity in Construction." I hope that it receives the attention it deserves and that every supervisor of construction projects refers to it frequently for guidance.

Stephen G. Revay, F.EIC, F.CSCE  
Past President (1989-90) CSCE







# Table of Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	3.3.4	Crews and teamwork .....	23
1.1	Productivity: More Achievement per Resource .....	3.3.5	Environmental factors .....	23
1.2	What is Productivity? .....	3.3.6	Workspace .....	24
1.3	Framework for Productivity Improvement in Construction .....	3.4	Job Site Planning .....	24
1.4	Organization of this Publication .....	3.4.1	Job site planning considerations .....	24
		3.4.2	Temporary electrical service .....	24
		3.4.3	Temporary heating and hoarding .....	25
		3.4.4	Miscellaneous systems .....	25
		3.4.6	Offices, lunchrooms, and sanitary facilities .....	25
		3.5	Safety Issues .....	25
		3.5.1	Economic impact of accidents .....	25
		3.5.2	Safety and productivity .....	25
<b>2</b>	<b>Techniques for Measuring and Improving Productivity at Construction Sites</b>	<b>4</b>	<b>Measuring Productivity from the Cost-Reporting System</b>	
2.1	Introduction .....	4.1	Introduction .....	27
2.2	Measuring and Interpreting Work and Crew Effectiveness .....	4.2	Data Collection and Processing .....	27
2.2.1	Field rating .....	4.3	Tracking Person-hours instead of Costs in the Cost-reporting System .....	30
2.2.2	Work sampling .....	4.3.1	Estimated 'percent complete' .....	30
2.2.3	Five-minute rating .....	4.3.2	Physical measurement .....	31
2.3	Field Surveys .....	4.3.3	Earned value .....	31
2.3.1	Foreman delay survey .....	4.3.4	Performance factors .....	31
2.3.2	Craftsman questionnaire .....	4.4	Cost Reporting and Analysis Using Project Management Software .....	32
2.4	The Method Productivity Delay Model .....	<b>5</b>	<b>Management Issues</b>	
2.5	Charting Techniques: Crew-Balance Charts .....	5.1	Introduction .....	35
2.6	Simulation Modelling and Analysis .....	5.2	Quality of Supervision .....	35
2.6.1	The basic phases of construction process simulation .....	5.3	Material Management .....	35
2.6.2	Building a CYCLONE model .....	5.3.1	Material management steps .....	36
2.6.3	Experimenting, analyzing, and simulating .....	5.3.2	Responsibilities .....	36
2.6.4	Simulation and productivity .....	5.3.3	Interfaces and their implications for productivity .....	37
<b>3</b>	<b>Human Factors and Productivity Improvement</b>	5.3.4	Preplanning .....	38
3.1	Introduction .....	5.3.5	Material control .....	38
3.2	Motivation .....	5.3.6	Procurement .....	39
3.2.1	Motivation and the construction industry .....	5.3.7	Material handling .....	39
3.2.2	Factors affecting motivation .....	5.4	Constructability .....	40
3.2.3	Motivators .....	5.4.1	A traditional problem .....	41
3.2.4	Demotivators .....	5.4.2	Constructability concepts .....	41
3.2.5	Absenteeism and turnover .....	5.5	Change Management .....	41
3.3	Human Factors Related to Productivity .....	<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	
3.3.1	The individual as a factor affecting productivity .....	6.1	Macro- Versus Micro-Productivity .....	43
3.3.2	Physical limitations .....	6.2	Miscellaneous Ideas for Improving Productivity in Construction .....	43
3.3.3	The learning curve .....			



# 1 Introduction

## 1.1 Productivity: More Achievement per Resource

Economists have been saying it, so have constructors, organized labour – everybody: to remain competitive, we have to produce more for each dollar spent on construction. And “we” is everybody – every worker at a job site can contribute to improved productivity.

Productivity issues can be divided into macro- and micro-level. At the macro-level, one deals with contracting methods, labour legislation, and labour organization; at the micro-level, with the management and operation of a project, mainly at the job site.

To improve productivity, we must be able to measure it. And we must be able to measure the effect of changes adopted on methods, effort, and systems. The measured values of productivity can then be compared either to those used to compile the estimate or to some production standards. Although no formal industry standards exist in North America, many sources of published productivity data, as well as the databases of various companies, can serve as production standards.

A number of complex and interdependent factors can influence productivity on a con-

struction site. A Construction Industry Development Council task force developed a questionnaire of factors impairing construction productivity (CIDC, 1984). It lists seven categories and 95 factors. Table 1.1 lists the most serious factors within each of the seven categories.

Research findings by social scientists and construction researchers can be contentious, due to the difficulty in accounting for the many interdependencies. The impact of such factors as morale and satisfaction may be debatable, but that should not keep us from thinking seriously about improvements in productivity. (The idea of improved productivity is too important to be allowed to stumble over academic arguments.) Although we may not know the precise effects of many of these factors, we can observe the effects of combinations of them.

## 1.2 What is Productivity?

Many terms are used to describe productivity in the construction industry: performance factor, production rate, unit person-hour (p-h) rate and others. Traditionally, productivity has been defined as the ratio of input/output, i.e., the ratio of the input of an associated resource (usually, but not necessarily, expressed in p-hs) to real output (in creating economic value). To restate this definition for use in the construction industry: labour productivity is the physical progress achieved per p-h, e.g., p-hs per linear metre of conduit laid or p-hs per cubic metre of concrete poured.

The two most important measures of labour productivity are:

- the effectiveness with which labour is used in the construction process;
- the relative efficiency of labour doing what it is required to do at a given time and place.

Examples of the first measure are the labour dollars required to produce a square metre or square foot of living area, or the labour cost of providing one bed in a hospital. Another example is the labour content required, per barrel of output, to build an oil refinery. In these cases, technological innovations or design improvements have the most significant impact because it is the effectiveness with which labour is used in the building process that is being measured.

**Table 1.1 factors seriously impairing construction productivity**

Category	Factors
Project Conditions	Weather variability
Market Conditions	Material shortages Lack of experienced design and project management personnel
Design and Procurement	Large number of changes
Construction Management	Ineffective communications Inadequate planning and scheduling Lack of sufficient supervisory training
Labour	Restrictive union rules
Government Policy	Slow approvals and issue of permits
Education and Training	Lack of management training for supervision, project management

Contractors and organized labour are, however, more interested in the second measure, the relative efficiency of labour. Examples include the number of square metres of formwork or linear metres of conduit that can be installed per p-h at a given time and place.

Labour efficiency is the basis of most tender estimates, as well as the yardstick by which performance is measured and monitored.

For example, it was reported that 837.4 p-hs were required to construct a house in 1930. By 1965, the requirement was reduced to 283.2 person-hours. The reduction in p-hs is equal to an impressive average annual growth rate of 3.2%.

It is not surprising that some analysts have tried to explain this as the result of steadily improving labour efficiency. The real improvement, however, had little to do with improved efficiency but was due to such technological changes as improved construction excavating equipment and the introduction of drywall to replace wet plaster.

When relative growth in labour productivity was equated with real improvement in labour efficiency, the construction industry was led to believe that no problem in declining productivity existed. Apparently lack of motivation is not seen as a problem, and the ever frequent financial losses were blamed either on poor estimating or on the impact of accelerated schedule performance. Construction supervisors eventually had to face up to reality and admit that labour efficiency has been steadily declining for some time. By accepting the reality and trying to understand both the magnitude

of and the causes behind this decline, the construction industry is making strides toward improving productivity.

### 1.3 Framework for Productivity Improvement in Construction

Productivity improvement in construction is best understood when the construction process is visualized as a complete system as shown in Figure 1.1. The system is made up of the construction project to which material, personnel, equipment, management, and money are inputs. They are consumed by the system in the process of producing the construction unit. Control of the system is achieved by collecting and processing information about the rates at which production is attained.

To measure input/output, the parameter defined as productivity, two types of input to the system are used: the person-hour/unit and the cost/unit. The first focuses only on labour and is used for labour-intensive operations. The second, cost/unit, combines all effects. The productivity of an operation is measured and compared to the values in the estimate or budget.

If the actual productivity does not compare favourably with the estimated values, the input categories affecting productivity in the system – namely material timeliness, labour effectiveness, and management practices – need to be examined.

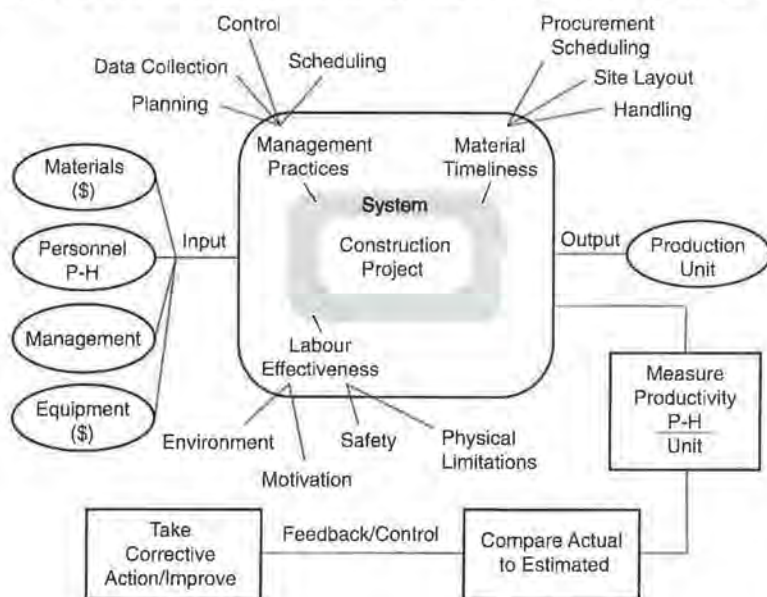
To improve labour effectiveness, various factors can be addressed, including motivation, job safety, environmental factors, and physical limitations. Management practices include scheduling, planning, data collection, job analysis, and control. Material timeliness is ensured by proper procurement scheduling, site layout, and other issues.

### 1.4 Organization of this Publication

The purpose of this publication is to introduce the subject of productivity in construction. Each topic can be expanded and dealt with in more detail at every level of the construction process. The reader can pursue the topics further by referring to the books and papers listed at the end of each chapter. Some of these documents are cited in the text.

The subject matter, aimed at such construction practitioners as project engineers, superintendents or foremen, is presented in a format that can be easily read and understood. It gives practitioners the insights needed to gain an appreciation of productivity in con-

**Figure 1.1 Framework for productivity improvement**



struction. The publication, although an overview of the subject, covers each topic adequately and comprehensively.

### **Acknowledgment**

The authors have drawn freely from written contributions to a seminar series jointly sponsored by the Canadian Society for Civil Engineering and the Construction Technology Centre Atlantic Inc. The seminars were entitled "Productivity on Canadian Construction Sites: An Overview. What Supervisors Should Know and Do."

The contributors were C. Fear, R. French, J. Gibson, G. Jergeas, K. Lemon, S. Perfect, K. Pressnail, S. Revay, A. Russel, L. Tardif, C. Trembley, L. Waugh, and S.P. Dozzi, who also served as the editor.

### **Additional Readings**

Adrian, J.J. 1987. *Construction Productivity Improvement*. New York: Elsevier Science Publishing Company.

Alfeld, L.E. 1988. *Construction Productivity, On-Site Measurement and Management*. New York: McGraw Hill.

CIDC, 1984. Canada Construction Industry Development Council, 235 Queen Street, Ottawa, Ontario K1A 0H5.

Halpin, D.W. 1985. *Financial and Cost Control Concepts for Construction Management*. New York: John Wiley and Sons.

Oglesby, C.H., H.W. Parker, and G.A. Howel. 1989. *Productivity Improvement in Construction*. New York: McGraw Hill.

Warren, R.H. 1989. *Motivation and Productivity in the Construction Industry*. New York: Van Nostrand Reinhold.



# 2 Techniques for Measuring and Improving Productivity at Construction Sites

## 2.1 Introduction

The management of site-related issues in construction projects is often complex and difficult. The main problem is the quantification of all factors involved on site. The most accurate measure of productivity in construction is the number of units produced per person-hour (p-h) consumed, or its reciprocal, the number of p-hs consumed per unit produced. The productivity of a process can be measured indirectly by observing the level of activity of its resources.

Work studies and surveys may have a demotivating effect on the workforce. Special precautions must be taken to avoid the perception that the company is spying on its workers. Education and information sessions are recommended to create a team approach to productivity improvement. At a micro-level, workers are a valuable source of information concerning their performance or efficiency. Participation by the tradesmen<sup>1</sup> or supervisors can be expected only if requested.

This chapter deals first with proven techniques that are more widely used to measure the effectiveness (and, indirectly, the productivity) of construction workers and crews. Also discussed is the use of the data collected to improve the productivity of a construction process. A discussion on a method for measuring both effectiveness and productivity at the same time, the Method Productivity Delay Model, (Adrian and Boyer, 1976) follows. The second part of this chapter deals with more advanced methods to study and improve the productivity of a given construction process. With the increased use of computers, simulation is one of the more advanced techniques that could improve productivity. The idea of using systems simulation in planning and analyzing construction processes is introduced. To make this as practical as possible, the discussion is limited to the CYCLONE methodology (Halpin and Riggs, 1992) that has been developed specifically for construction operations analysis.

## 2.2 Measuring and Interpreting Work and Crew Effectiveness

### 2.2.1 Field rating

Field rating can be used to estimate crudely the level of activity of a construction operation. The method simply categorizes the observed worker as either "working" or "non-working" and uses the "working" fraction as a measure of effectiveness. To collect a random sample, an observer on site observes the workers. Once a sample has been collected, the field rating is calculated as total observations in the "working" category divided by the total number of observations, plus 10% to account for foreman and supervisory activity as follows:

$$\text{Field rating} = \frac{\text{total observations of working}}{\text{total number of observations}} + 10\%$$

The number should be roughly over 60% for a job to be satisfactory. For example, if a foreman made 100 observations of workers and only 40 were classified as working at the time, then the field rating would be 50%, i.e.,  $40/100 + 10$ . The job would, therefore, be considered unsatisfactory. The method does not tell the analyzer anything about the sources of problems or inefficiencies. It merely suggests that there is something wrong.

### 2.2.2 Work sampling

Work sampling is based on statistical sampling theory and is a slightly more sophisticated method than field rating. The basic objective is to observe an operation for a limited time and from the observations infer how productive the operation is. Statistical sampling theory is applied because the amount of time spent collecting data has to be limited. In addition, the number of workers observed is normally a small sample taken from the entire population of possible observations (every glance at the worker is considered an observation and therefore, every work sample can result in a multitude of observations). Instead of dealing with the whole population, the procedure is to collect a sample, analyze it, and build a confidence limit around it.

Work sampling estimates the percentage of time a labourer is productive relative to

<sup>1</sup>The words, foreman, craftsman, and tradesman, are meant in a gender-neutral sense; likewise the word, workmanship.



the total time the person is involved in the operation. To accomplish this, the following approach can be adopted:

1. Classify the worker's activity as one of three modes of activity: productive, semi-productive (involved in supporting the main activity), and non-productive.

**Note:** There are a number of possible variations for this classification and readers can develop their own, once familiar with the concept. Flexibility can be enhanced by manipulating the semi-productive classification. One can easily define various modes of semi-productive activity, as shown in Table 2.1. For example, support work can be of the form "material handling," "instruction and decision making," "equipment maintenance," and others. However, more than a handful of classifications can make it difficult to collect data on site.

2. Develop a data collection form that will facilitate tallying the observations on site, as shown in Figure 2.1, for example.
3. Take random observations of workers involved in a given operation in the field. The observation should indicate the workers' activity mode, i.e., productive, non-productive, or semi-productive. Random, for all practical purposes, means without any bias as to who is being observed and that each worker will have the same chance of being observed as any other worker.
4. Record all observations on the form. Enter a checkmark under the appropriate mode of activity observed.
5. Add up all the checkmarks under each mode and calculate the percentage of activity. In the example (Figure 2.1), the 'percent productive' is calculated as 4/9 (= 45%), the 'percent non-productive' is 3/9 (= 33%), and the balance of 22%, semi-productive.

Research indicates that the productive work category should normally be over 30%. Results of different work sampling studies vary from the low of 9.4% at Isle of Grain to a high of 64.4% measured by the National Association of Home Builders Research Foundation in 1973. Other representative samples reported are:

- 32% by the *Civil Engineering* magazine in 1977, measured at various nuclear power sites
- 34.7% by S.B. Palmater, measured at 13 nuclear power sites
- 46.5% measured by the University of Texas at random sites.

Improving the productivity of the process involves identifying the current activity rating and the sources of non-productive or semi-productive modes. This can be subjectively analyzed and depends heavily on the level of detail of the classification scheme adopted and the project being analyzed. A sample set of recommendations is given in Table 2.2.

**Figure 2.1 Sample work sampling data collection form**

**Work Sampling Sheet**

**Project:** \_\_\_\_\_

**Date:** \_\_\_\_\_ **Observer:** \_\_\_\_\_

**Notes:** \_\_\_\_\_

Observation No.	Productive (Direct work)	Semi-Productive (Support work)	Non-Productive (Delay)
1	√		
2		√	
3	√		
4			√
5			√
6			√
7		√	
8	√		
9	√		
Total	4	2	3
Percentage	45%	22%	33%

**Table 2.1 Examples of activity classification**

Classification (equivalent classification)	Productive (Direct Work) (Working)	Semi-Productive (Indirect Work) (Support Work)	Non-Productive (Delay) (Non-Working)
Description	Using trade tools	Supporting the main activity	Not contributing to the activity
Examples	mason laying brick, labourer mixing mortar, electrician pulling wire, welder welding pipe	tradesman getting material, travelling to work location, taking instructions	personal breaks, waiting for equipment to be fixed, waiting for more instructions, late start or early departure

**Table 2.2 Sample causes of delay and recommended remedial actions**

Causes of Delay (Excessive percentage of time spent on this factor)	Suggested remedial action (Each of these actions will require a detailed analysis)
Waiting for instruction	Pre-plan and pre-assign work duties.
Finding material	Improve site layout.
Getting material	Examine material handling and site layout.
Personal breaks	Examine human resource management and discipline.
Waiting for equipment repair	Use stand-by equipment where possible, pre-plan to reassign crews to other activities, schedule equipment maintenance to keep it in good working condition.
Waiting or queuing for service	Resolve resource allocation problems, possibly by balancing the resources.
Material handling difficulties	Improve site layout and address safety concerns.

For work sampling to be effective, the observer must make a large number of observations, a number that must be determined from statistical sampling theory. The minimum number generally accepted is 384<sup>2</sup> observations. This number is derived from a sampling error of 5% and a level of confidence of 95%. Tables, nomographs, and computer programs can be used to calculate the required number of observations for different sets of error limit or confidence levels.

Work sampling only attempts to indirectly measure productivity. It is difficult to determine the productivity of a carpenter, for example, by observing how many hammer blows it takes to drive a nail.

In decision-making, the results should be viewed with caution and used with discretion. They cannot be used to measure real labour efficiency, yet they are extremely useful to gain a better insight into motivation, and at the same time help explain the reasons behind drastic variations in production rates.

**2.2.3 Five-minute rating**

The five-minute rating technique, unlike work sampling, is not based on statistical sampling theory. The method relies on simply observing an operation for a short time. The observation does not result in a large enough sample to support work sampling. The method does, however, provide some insight as to the effectiveness of the crew and can identify areas where more observation is required.

The following procedure can be used to implement the 5-minute rating technique:

1. Identify the members of the crew to be observed and structure a form similar to that shown in Table 2.3, with the crew to be observed noted in the column headings and the time of observation listed in the rows of the first column.
2. Observe the crews as they are working. For the observation interval (in Table 2.3 the interval equals 5 minutes), determine whether the crew member has been active for over half the interval. If so, mark the observation cell with an "x"; if not, leave the cell empty.
3. Add the "x" observations for the entire table and divide the sum by the total number of observations. In the example of Table 2.3, 22 observations were positive out of a total of 32; therefore, the effectiveness is 22/32 or 68%.

**Table 2.3 Sample five-minute rating data collection form**

Time	Spreader	Screeder	Grader	Bull-Floater
9:50	x	x	x	
9:55	x	x	x	
10:00				x
10:05	x	x	x	x
10:10	x		x	
10:15	x	x		x
10:20	x	x	x	x
10:25		x		x
Effective observations	6	6	5	5
Total observations = 32		Effectiveness = 22/32		
Observed effective = 22		5-Minute Rating = 68%		

**2.3 Field Surveys**

The work sampling methods covered in Section 2.2 measure efficiencies in the site operation, but do not go far enough in identifying the leading cause for the inefficiency. For example, work sampling might indicate that a craftsman spent 25% of the time being delayed because the required material was not available. The method cannot, however, pinpoint the real cause of the delay or what can be done to reduce it.

Field surveys and questionnaires are organized ways of involving the foreman or craftsman in the site evaluation and productivity improvement process. Craftsmen are probably the persons most familiar with their work activity. They can easily identify sources of delay and obstacles in their progress. Likewise, a foreman is the person most familiar with the crew and the problems that restrict improvement in their productivity.

<sup>2</sup>Although this seems to be a large number, in actual applications, every glance at the work in progress is an observation. Therefore, 384 observations is not excessive.



**Figure 2.3 Sample craftsman questionnaire**

Personal data	Check <input checked="" type="checkbox"/> the appropriate box for YES or NO, or fill the box with the required information.	
Craft		
Location		
Type of work		
Other		
	YES	NO
<b>Material</b>		
Is material always available when you need it?		
How many hours do you estimate are lost per week due to material not being available?	_____ h	
<b>Tools</b>		
Are tools always available when needed?		
Are tools in acceptable shape?		
Are tools supplied always the right ones for the job?		
Are there any specific tools in short supply (please name)		
How many hours do you estimate are lost per week due to tools not being available or acceptable for the job?	_____ h	
<b>Equipment</b>		
Question 1 (Add more questions as under material and tools)		
Question 2 (Add more questions as under material and tools)		
How many hours do you estimate are lost per week due to . . .	_____ h	
<b>Rework</b>		
Question 1 (Add more questions as under material and tools)		
Question 2 (Add more questions as under material and tools)		
How many hours do you estimate are lost per week due to . . .	_____ h	
<b>Safety Concerns</b>		
Question 1 (Add more questions as under material and tools)		
Question 2 (Add more questions as under material and tools)		
How many hours do you estimate are lost per week due to . . .	_____ h	
<b>Others</b>		
Question 1 (Add more questions as under material and tools)		
Question 2 (Add more questions as under material and tools)		

The report in Table 2.5 implies that material availability (13%) and redoing work (12%) are areas of major concern: they contribute 25% of the time lost by a craftsman in a week. From the answers in the questionnaire itself, the reasons for the time loss could probably be identified.

The ability to improve the productivity of an operation from the conclusions drawn from the CQ greatly depends on how well the questionnaire is structured, detailed, and stylized, and on how serious the craftsmen's participation is.

### 2.4 The Method Productivity Delay Model

The method productivity delay model (MPDM) was proposed as a way to combine both time study and productivity measurement (Adrian and Boyer, 1976). MPDM relies on having an observer collect data, on a special form, pertaining to the cycle time of a leading resource on the operation. The observer also notes the nature of the delays during the period of observation. Once the data collection is complete, a set of computations is carried out that measures the productivity of the operation, indicates the major sources of delay, and gives other useful statistics.

MPDM can be an effective way of measuring productivity on site and the delays that undermine it. Experience with the technique has shown that it can be less confusing when implemented on an electronic spreadsheet. For the example presented in this section, Microsoft Excel was used. Any spreadsheet can be easily automated and generalized with macros, so that the computations are automatic, once the observations have been entered.

MPDM provides more information than other work sampling techniques. In addition to providing the user with a measure of productivity, it can also identify sources of delay and their relative contribution to the lack of productivity.

MPDM consists of the following phases:

- 1 Identification of the production unit, and the production cycle

The production unit is defined as a measurable amount of work that can be visually identified by the observer without much effort. Examples of this would be a bucket of concrete, a truck-load of dirt, or a row of bricks. The production cycle is the total time that it takes the crew to place one production unit.

**Table 2.5 Results from a CQ**

Problem/Cause	P-hs lost per week	Percentage per week
Material not available or poorly located	5.2	13.0
Tools not available or suitable	3.2	8.0
Equipment not available or down for repair	2.0	5.0
Work redone	4.8	12.0
Management interference	2.1	5.3
Other	2.5	6.3
Total	19.8	49.5

**Table 2.6 Sample type of delays identified during MPDM data collection**

Environmental	Equipment	Labour	Material	Management
Change in soil conditions	Equipment being positioned	Personal break	Not available when needed	Poor planning
Change in wall section	Temporary breakdown	Finding materials or tools	Defective and has to be replaced	Undecided as to what should be done
	Unscheduled maintenance	Getting instructions	Improperly located on site	Unavailable for instructions
		Late arrival, early departure		Interfering with other operations

**Figure 2.4 MPDM data collection sheet**

MPDM Data Collection Sheet							
				Date: June 6, 1992			
Operation: Roof truss installation				Observer: SMA			
Production unit: One truss				Unit of time: Second			
Prod. Cycle	Cycle Time	Enviro. Delay	Equip. Delay	Labour Delay	Mat. Delay	Mngt. Delay	Processing column*
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	354						12.83
2	465		x				98.17
3	343						23.83
4	445	x					78.17
5	504				x		137.17
6	470		x				103.17
7	395						28.17
8	345						21.83
9	360						6.83
10	400						33.17
11	460		x				93.17
12	385						18.17
13	360						6.83
14	353						13.83
15	372						5.17
16	505			50%**		50%	138.17
17	465					x	98.17
18	440					x	73.17
19	430	x					63.17
20	360						6.83
21	375						8.17
22	405		x				38.17
23	475		x				108.17

\* This column is not part of the data collection. It is inserted in the Table to facilitate processing.  
To fill out this column take column (1) minus the average of the cycle times where no delay occurred.

\*\* To attribute delay to more than one source, use percentages.

2 Identification of the leading resource

The leading resource is that resource involved in the operation with the most impact on the productivity. In other words, the operation will come to a halt if the resource stops producing. An example would be a crane in a concrete placement operation, the mason in brick-laying, or a dozer in an earth moving operation. This resource will be the centre of observation and cycle time determination.

3 Identification of the types of delay that can be encountered in the process

Five possible types of delay include those caused by environment, equipment, labour, material and management. Experience shows that users should define their own types of delay.

4 Data collection

MPDM requires that the observer time the production cycle for each production unit placed. The observer must also determine whether a delay took place during a given cycle. If a delay occurs, the observer must indicate its nature based on the categories of delays given in Phase 3. Examples of the types of delay under each category are given in Table 2.6.

5 Data processing, model analysis and recommendations

The processing of the MPDM data is carried out by filling out the MPDM data collection sheet (Figure 2.4), and Tables 2.7 and 2.8, which are meant to be self-explanatory. First, column (7) in Figure 2.4 has to be completed. This is simply column (1) minus the average cycle time of cycles where no delay has occurred. This is also given in Table 2.7, column (3) for a non-delayed production cycle.

The observer can use the form given in Figure 2.4 to facilitate the data collection. Sometimes MPDM fails to work because the cycle time is too short to observe, or too long to keep track of. In such cases, the method is not recommended. If time-lapse film is available, short processing cycles can be captured.

To illustrate the data collection procedure, consider a simple process involving the installation of a roof truss. The production unit identified for the roof truss process (Figure 2.4) was the actual placement of a wooden roof truss. The production cycle began with the lifting of one truss and concluded when that same truss was permanently braced. The leading resource was the mobile crane used to place the truss members. The cycle times were timed by reviewing the time-lapse film of the operation.

Potential sources of delay were also recorded whenever noticed. If more than one delay is observed during the same cycle, then the share attributed to the delay should be noted

**Table 2.7 Summary of MPDM computation**

	Production Total Time	Number of Cycles	Mean Cycle Time	$\Sigma[(\text{Cycle time}-\text{Non-delay cycle time})/n]$
	(1)	(2)	(3)	(4)
Non-delayed production cycles	Sum of all cycles (in Col. 1 of Fig. 2.4) where no delay was observed	No. of cycles where no delay occurred	Col. 1 ÷ Col. 2	Col. 7 from Fig. 2.4 for non-delayed cycles ÷ Col.2
Overall production cycles	Sum of all cycles (sum of Col. 1 of Fig. 2.4)	Total number of cycles	Col. 1 ÷ Col. 2	Col. 8 from Fig. 2.4 for non-delayed cycles ÷ Col.2

**Table 2.8 MPDM delay information**

Time Variance	Environment	Equipment	Labour	Material	Management
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
No. of occurrences	Total x's in Col. 2, Figure 2.4 for this type of delay				
Total added time	Sum of this type of delay from Col. 7, Fig. 2.4				
	<b>Note:</b> When percentages are used in Fig. 2.4, then the sum should be prorated to the source of delay.				
Probability of occurrence	Row a ÷ total number of cycles				
Relative severity	Row b ÷ Row a x mean cycle time for overall cycles, i.e., Row b, Col. 3 of Table 2.7				
Expected percentage of delay time	Row c x Row d x 100				

**Table 2.9 MPDM processing for sample applications**

	Production Total Time	Number of Cycles	Mean Cycle Time	$\Sigma[(\text{Cycle Time}-\text{Non-Delay Cycle Time})/n]$
	(1)	(2)	(3)	(4)
Non-delayed production cycles	4 402	12	366.83	15.47
Overall production cycles	9 466	23	411.57	52.81

**Table 2.10 Delay information for sample**

Time Variance	Environment	Equipment	Labour	Material	Management
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
No. of occurrences	2	5	1	1	3
Total added time	141.3	440.8	69.1	137.2	240.4
Probability of occurrence	0.09	0.22	0.04	0.04	0.13
Relative severity	0.17	0.21	0.17	0.33	0.19
Expected percentage of delay	0.01	0.05	0.01	0.01	0.03

as a percentage (Row 16 in Figure 2.4, for example). On the first observation of the crane's cycle time, it took 354 seconds to place one truss; no delays were observed. The entry in Figure 2.4, Row 1 is recorded under Col. 1. On the second cycle, which took 465 seconds, an equipment delay was noticed. The entry in Row 2 Col. 1 records the cycle time, and an "x" was entered under Col. 3 to indicate an equipment delay. The remainder of the data collection form was filled in similarly.

Upon completion of the calculations performed according to Table 2.8, the MPDM equations can be used to compute the productivity of the operation.

Overall Method Productivity  
 = (Ideal Productivity)(1 -  $\Sigma$  expected % of delay time)

**Note:**  $\Sigma$  expected % of delay time is the sum of Row e in Table 2.8.

Ideal Productivity  
 = 1/Mean cycle time for non-delayed cycles

**Note:** Mean cycle time for non-delayed cycles is obtained from Row a, Col. 3 in Table 2.7.

The last step in the MPDM computations requires the development of the variability of the ideal and overall production rates. These rates must first be analyzed to assess the variability of method productivity. Adrian and Boyer (1976) state that the higher the overall cycle variability and the ideal cycle variability, the less dependable the productivity prediction. Ideally, these ratios should be small. The variability of the productivity indicators are calculated from Table 2.7 as follows:

Ideal cycle variability = Value of Row a, Col. 4 ÷ value from Row a, Col. 3

Overall cycle variability = Value of Row b, Col. 4 ÷ value from Row b, Col. 3

To illustrate the computations for MPDM, an example is given in Figure 2.4. The cycles that were identified as 'non-delayed' totalled 12 cycles with an accumulated cycle time of 4 402 seconds. The result is a mean cycle time of 366.83 seconds (6.1 minutes). The processing is then performed and the results are shown in Tables 2.9 and 2.10.

The ideal productivity would then be (60 hours/min)/(6.1 minutes/cycle) = 9.81 trusses/hour. The real productivity, however, is the ideal productivity adjusted for the expected percentage of delay time per production cycle. The real productivity is calculated to be 8.75 trusses per hour.

The variability rates would be:

Ideal cycle variability = 15.47/366.83 = 0.04 (or 4%)

Overall cycle variability =  $65.281/411.57 = 0.13$  (or 13%)

Such variability is considered to be relatively minor and would indicate that the productivity rates obtained are realistic values.

The results of the analysis can be used to determine what the productivity rate is and what can be done to improve the productivity. Table 2.10 indicates that the most expected delay can occur from equipment (5%), but the most severe (lengthiest) delay has occurred from material. The 22% probability of an equipment delay indicates that management should concentrate on solving the problems associated with equipment.

### 2.5 Charting Techniques: Crew-Balance Charts

Crew balance charts are a method of comparing interrelationships among various crew members and equipment required to carry out a task. This method is applicable to such cyclical tasks as placing concrete.

Vertical bars, as shown in Figure 2.5, represent each person or machine element involved in the task at hand. The ordinate of the chart expresses time either as a percentage of the total cycle time or the actual time of day. Each bar is subdivided vertically to show the time required for each activity involved in the task cycle, including idle, non-productive, and ineffective time.

To construct a crew balance chart, the time for each activity in the cycle is recorded for every worker or machine involved in the task. This may be done using a stopwatch or time-lapse film. The use of time-lapse film has many advantages over a stopwatch in that ac-

tivity times for each element may be determined during one cycle. Conversely, the use of a stopwatch requires sampling from many cycles in order to record the activity times of each crew member. It is best to show only those elements that are pertinent to the problem at hand, because a crew balance chart may become cluttered with useless information, which reduces its effectiveness.

From a crew balance chart, the user may determine interrelationships by comparing activities along a horizontal line since the time scale is the same for each crew member. In this manner, inefficient crew size or organization is identified and remedial action can be taken. By analyzing a crew balance chart, the user is stimulated to devise more efficient methods of performing the task. Reorganization of the crew may be all that is required or a different method may be in order.

### 2.6 Simulation Modelling and Analysis

Simulation in the context of this discussion is defined as "building a mathematical/logical model of a system and experimenting with it on a computer" (Pritsker 1986). This publication addresses simulation only with regard to the CYCLONE methodology. Although other techniques exist, none has shown so much promise in construction as the CYCLONE methodology.

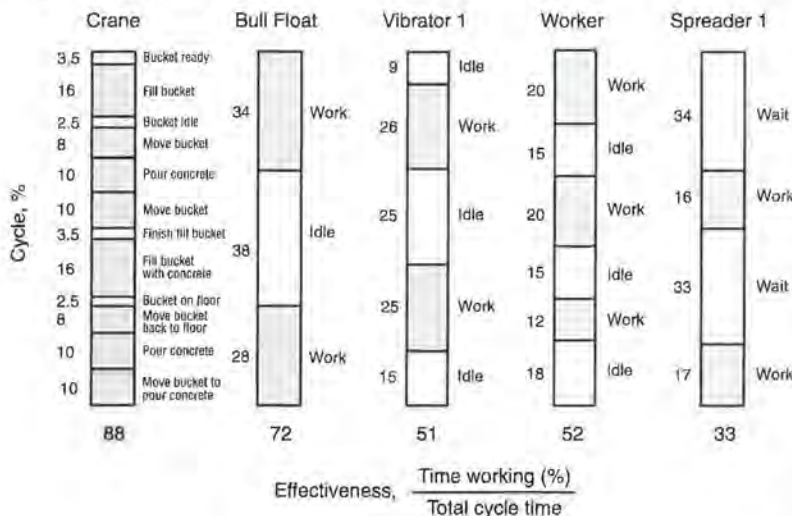
#### 2.6.1 The basic phases of construction process simulation

The simulation process consists of two basic phases: modelling and experimentation. CYCLONE provides the modelling elements and methods that a modeller can use to represent a construction operation in much the same way as a scheduler would build a Critical Path Method (CPM) network for a construction project, i.e., by specifying activities, and their logical relationships, durations and resource requirements. To model an operation using CYCLONE, the modeller focusses on the resources involved and their interactions. A resource can be in one of two states: active or idle. An active state of a resource is represented by a square; the idle state, by a circle. In the model, the resource can move between the two states and thus from one activity to the other. The whole idea of simulation revolves around the dynamic movement of resources. It is essential to distinguish between this method and a static system like CPM.

#### 2.6.2 Building a CYCLONE model

A CYCLONE model is constructed by using the CYCLONE elements shown in Table 2.11.

**Figure 2.5 Sample crew balance chart for a concreting operation (Cycle time = 4 minutes)**



The rules for structuring CYCLONE network models using these elements are summarized in Table 2.11.

The CYCLONE modelling procedure uses the following steps:






1. Identify all resources involved in the operation to be modelled.
2. Define the tasks (active states of a resource) composing the process to be modelled. Represent them with CYCLONE square elements (a task that is constrained by the availability of more than one resource is represented by a COMBINATION element and a non-constrained task by a NORMAL element).
3. Define the resource requirement in the tasks and decide where they should wait when a constrained task is not available for service, i.e., it is waiting for other resources before it can proceed. This defines circle elements known as QUEUE nodes in CYCLONE terminology.

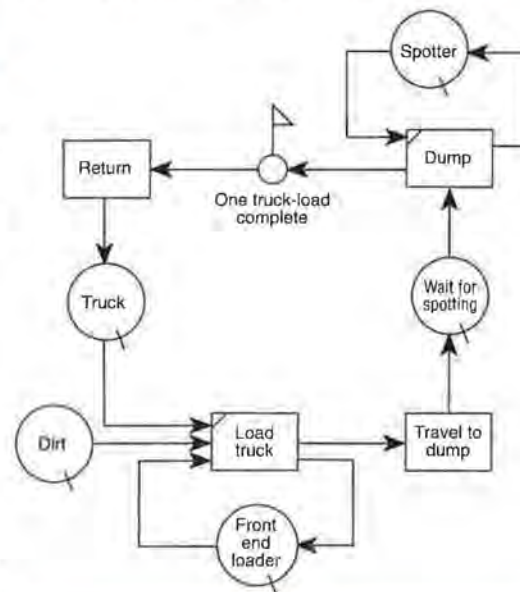
4. Establish the logical relationships between these tasks (i.e., precedence and sequencing of the tasks) by connecting the COMBI, NORMAL, and QUEUE nodes with directional flow arrows indicating where the resource would be moving from and to upon completion of a task. This makes up the CYCLONE network.

A simple example of a CYCLONE network model of an earth-moving operation is given in Figure 2.6. A stockpile of dirt has to be moved from one location to another. The dirt would have to be *loaded* into hauling units first, the hauling units would *transport* the dirt to the required location where it will be *dumped*. After dumping its load, the hauling unit *returns* for another load.

**Figure 2.6 CYCLONE model of an earth-moving operation**

**Table 2.11 Rules for structuring CYCLONE models**

CYCLONE Element	Description and Rules for Model Building
NORMAL 	The NORMAL is not a restrained task. Any resource that arrives at a NORMAL is given access and is immediately processed. It is like a serving station with an infinite number of servers. Can be preceded by all other CYCLONE elements except for a QUEUE node. Can be followed by all other elements except for a COMBI.
COMBI 	A task that is restrained by the availability of more than one type of resource. A resource arriving at a COMBI will have to wait until all other required resources are available before it is given access to the task. Can be preceded by QUEUE nodes only. Can be followed by all other elements except COMBIs.
QUEUE 	A QUEUE node is a waiting area for a resource. Therefore it is used only when a task is restrained. A resource arriving at a QUEUE node will stay in the node until a COMBI is ready to process it. A QUEUE node has one other function in the MicroCYCLONE implementation, namely to multiply resources when specified. In other words, a modeller can specify that once a resource enters a specified QUEUE node, it will multiply into a finite number of duplicate resources. Can be preceded by any element except a QUEUE node. Can be followed by COMBIs only.
FUNCTION 	The FUNCTION element was devised to provide some flexibility. Different computer implementations of CYCLONE have somewhat different functions. In MicroCYCLONE, one type of function is allowed, namely the consolidate function. Its job is to take units and consolidate them into a specified number. Any unit arriving at this function will accumulate until a threshold value is reached, at which point only one unit is released from the function (all others are destroyed). Can be preceded by all elements except QUEUE nodes. Can be followed by all elements except COMBIs.
COUNTER 	The counter keeps track of the number of times units pass it. It does not alter any of the resources or their properties. It just adds increments and keeps track of cycles and a few other statistics. Can be preceded by all elements except QUEUE nodes. Can be followed by all elements except COMBIs.



Assume that this simple operation will be accomplished by one front-end loader (FEL), three trucks, and one labourer to spot the dump location. This completes Step 1. In the previous paragraph, the words that describe the tasks required to complete the operation have been italicized. This completes Step 2. The equivalent CYCLONE elements are then matched with the proper task and arranged as shown in Figure 2.6. The loading task was restrained by the availability of both the truck and the FEL and therefore it is modelled by a COMBI node (similarly the dumping task, which requires the truck and the spotter, was modelled with the COMBI node). The travel to dump location requires the truck only and therefore was modelled by a NORMAL node. The truck-returning task was a NORMAL node for the same reason. When the task was restrained, it is preceded by two QUEUE nodes where the respective resources



wait. Loading was preceded by the FEL QUEUE where the FEL waits until a truck is available. The dirt was modelled with a QUEUE node and the truck waiting for loading also with a QUEUE node. The truck waiting for the dumping was modelled by another QUEUE node. This emphasizes that the state of the resource is modelled in CYCLONE methodology, rather than the resource itself.

**2.6.3 Experimenting, analyzing, and simulating**

Once a model has been built, it can be entered into a computer program such as MicroCYCLONE for processing and performing the simulation study. The results of the simulation study are:

- an estimate for completing the operation
- the hourly production rate
- other measures of equipment utilization.

Figure 2.7 presents another model of an earth-moving operation. It is somewhat different from the one in Figure 2.6. The model can be used to balance resources, maximize

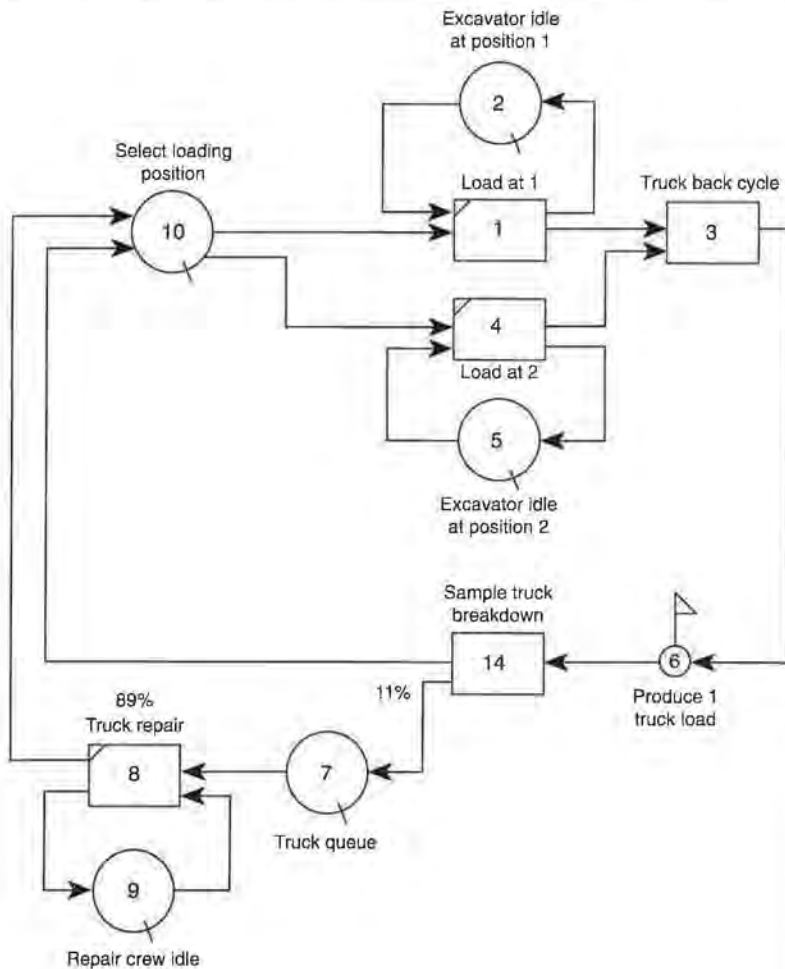
productivity or achieve minimum unit cost, as well as to deal with uncertainty and risk.

The operation considered in this model involves earth moving for a sports training facility in a university area. The earth is to be moved from the location of the training facility to the dump location about 3 km away. Two excavators remove earth at the job site at two different locations. A number of trucks carry the dirt, dump it, and return for another cycle. The truck would normally wait until one of the excavators is freed up before proceeding for loading. The operation was observed and data collected on the cycle times of the various equipment using a stopwatch. The observer also noted that the trucks break down on almost 5% of the cycles due to overloading (e.g., from flat tires).

The CYCLONE model of the operation was prepared as discussed previously. One main difference is the modelling of truck breakdown. The branch coming out of dummy NORMAL node (No. 14) indicates that every time a truck passes this task, it has 5 chances in 100 of ending up being tied in the repair task (No. 8); 95 times in 100 it continues in its cycle. Upon repair, it is released back to its original cycle. This is how equipment breakdowns are modelled in CYCLONE to simulate actual breakdown in the operation.

Now the model can be entered into MicroCYCLONE. The MicroCYCLONE user manual (Halpin, 1990) gives the reader all the required information. The first step is to transfer the graphical model into a written text file in the MicroCYCLONE syntax. The model in Figure 2.7 translates into the file shown in Figure 2.8.

**Figure 2.7 Another CYCLONE model of an earth-moving operation**



**Figure 2.8. Simulation input file**

```

NAME 'Earth-Moving' LENGTH 5000 CYCLE 100
NETWORK INPUT
1 COMBI SET 'LOAD @ 1' FOL 2 3 PRE 2 10
2 QUE 'EXCAVATOR1 IDLE'
3 NOR SET 2 'TRK BACK CYC' FOL 6
4 COMBI SET 3 'LOAD @ 2' FOL 3 5 PRE 5 10
5 QUE 'EXCAVATOR2 IDLE'
6 FUN COU FOL 14 QUA 1
7 QUE 'TRK QUEUE'
8 COMBI SET 4 'TRUCK REP' FOL 9 10 PRE 7 9
9 QUE 'REPAIR CREW'
10 QUE SEL LOAD POSITION'
14 NOR SET 5 'TRK BREAKDOWN' FOL 7 10
   PRO 0.05 0.95 SEED 101
RESOURCE INPUT
1 'EXCAVATOR' AT 2 FIX 129.38
4 'TRUCKS' AT 10 FIX 50.86
1 'EXCAVATOR' AT 5 FIX 129.38
1 'REPAIR CREW' AT 9 FIX 28
DURATION INPUT
SET 1 5
SET 2 35
SET 3 9
SET 4 60
SET 5 0
ENDDATA
    
```

This is entered into MicroCYCLONE and the simulation is started from the program. We started with four trucks working with the two dozers. The program outputs a productivity curve as shown in Figure 2.9.

Now a multiple simulation scenario is run to find the best combination of trucks and dozers. The assumption is that two bulldozers and 25 trucks are available. The simulation is performed and the results of production per hour versus number of trucks as well as the cost/unit versus the number of trucks are given in Figure 2.10. The combination yielding the

highest productivity in truck-loads/hour is about 16 trucks. The best cost/unit value is for 12 to 16 trucks and jumps slightly with 10 and 18 trucks.

The possibilities of analysis are almost endless, once the simulation model has been constructed. The modeller can, for example, try different combinations of equipment, check what happens to the system if the dump location is changed, estimate the time required to move a specific quantity of dirt, and so on.

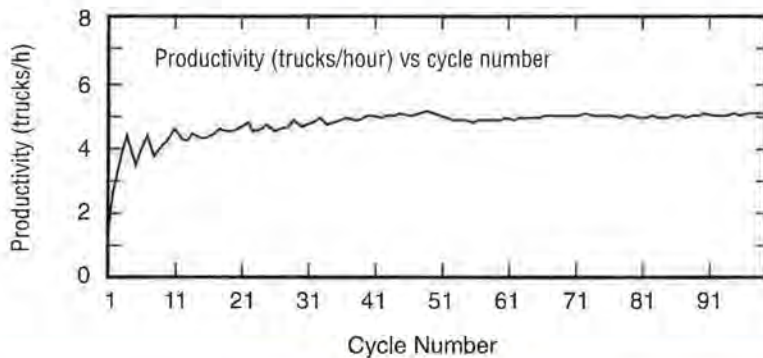
**2.6.4 Simulation and Productivity**

Simulation can be a very effective tool to plan for productivity. Moreover, simulation studies have been conducted to understand better the effect of various factors on productivity. Simulation can also be used to support claims due to loss of productivity from bad weather, unexpected delays, changed conditions, changes in the contract, and other factors. Similar studies can be conducted to analyze the effect of particular human factors on productivity.

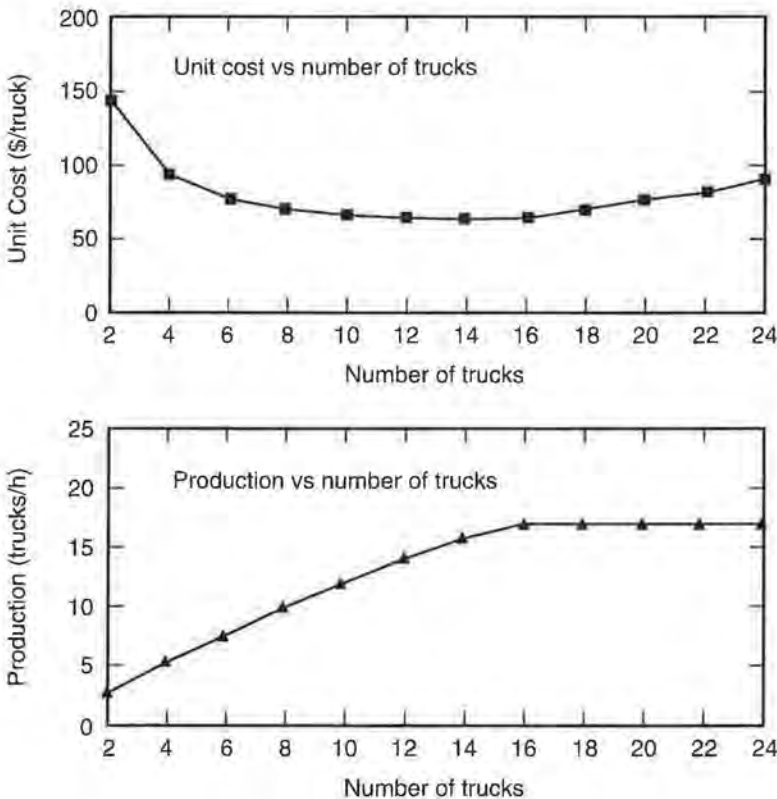
The construction industry is far more complex than the service and industrial sector. Construction projects often take place in an open environment that changes with every project. Repetition is not obvious and the workforce is diversified. Construction is a unique industry and we should view it as such when we examine a technique used for managing it.

The methods described here have been tried on numerous projects. Unfortunately, the construction industry, which is traditionally craft-oriented, has not taken the steps required to use more advanced tools in its attempts to improve productivity. Initiatives to use new methods and techniques for measuring and improving productivity should be taken at the individual level.

**Figure 2.9 Productivity curve for the simulated process**



**Figure 2.10 Summary of the simulation results**



### **Additional Readings**

Adrian, J. and L.T. Boyer. 1976. "Modeling Method - Productivity." *ASCE J. Const. Div.* 103 (3):154-168.

Halpin, D.W. 1977. "CYCLONE: Method for Modeling of Job Site Processes." *ASCE J. Const. Div.* 103 (3):489-499.

Halpin, D.W. and R.W. Woodhead. 1976. *Design of Construction and Process Operations*. New York: John Wiley and Sons.

Halpin, D.W. 1990. *MicroCYCLONE User's Manual*. Division of Construction Engineering and Management, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Halpin, D.W. and L.S. Riggs. 1992. *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York: John Wiley and Sons.

Pritsker, A. 1986. *Introduction to Simulation and SLAM II*. New York: John Wiley and Sons.

Tucker, R.L., D.F. Rogge, W.R. Hayes, and F.P. Hendrickson. 1982. "Implementing Foreman Delay Surveys." *ASCE J. Const. Div.* 108 (4):577-591.

# 3 Human Factors and Productivity Improvement

## 3.1 Introduction

The motivation of workers can be enhanced through job enrichment (increasing the things that satisfy workers about a job) and by lessening the demotivators (the things that workers dislike). Reducing demotivators only, the predominant practice of North-American management, is not enough; it should be supplemented with job enrichment.

Workers are motivated by completing productive quality work, creating or building something, and social relations at work. Productive work can be produced by good planning and communications. Satisfactory social relations are simply working with other workers who are friendly and respectful. Individuals and organizations need goals to try to meet or exceed. Workers can often be motivated through goal-setting. Goals must be clearly established to elicit maximum performance and provide a feeling of maximum individual achievement. Individuals need a system or method by which to measure their achievements and compare their standings against a given target.

Construction work is varied, which can be satisfying. Workers are often motivated because they see the progress and results of their work. There are also many demotivators. The most common include:

- non-availability of the right material, tools, or equipment
- poor relations between workers and management
- poorly organized projects
- breakdown in communication
- lack of recognition of outstanding efforts
- disrespectful treatment
- unfair work assignments
- incomplete engineering/design work
- lack of cooperation between different crafts
- poor supervision
- rework
- no participation in the decision-making process
- restrictive or burdensome procedures.

Worker satisfaction and motivation can be increased by removing or reducing these problems. Questionnaires of the type described in Chapter 2 and suggestion boxes can be useful in bringing these problems to the surface.

## 3.2 Motivation

When applying motivational theories to everyday problems, three questions arise:

- What energizes human behaviour?
- What directs such behaviour?
- How is this behaviour sustained?

The answers given by various social scientists have been expressed in different words; nevertheless, they all seem to agree that human beings are energized by their physiological needs, and that their behaviour is directed by their expectations and sustained by obtaining just reward.

### 3.2.1 Motivation and the construction industry

The July 10, 1980 issue of *The Listener*, a magazine published by the British Broadcasting Corporation, contained an article describing the British experience in constructing nuclear power plants. The following is an excerpt from that article:

“In recent years, no big plant has been put up on time. No big plant now being built is on schedule. The delay ranges from two to two and a half years for a chemical plant to four years for something as big as Grain (Nuclear Power Plant, Isle of Grain, G.B.). The rot is not solely or even mainly due to strikes; it is the result of almost unbelievably low levels of productivity. Do you believe that a man can spend eight hours on a site but do only 45 minutes' work in the whole day?

No? But he can, and this is how they do it. In a standard eight-hour day, clocking on, walking to and from the job, tea-breaks, bad weather, union business, leave less than four hours available for actual work. Inefficiency, overmanning, and other bad habits will eat into another two or more hours, and you are left on a good British site with, at best, one hour and 40 minutes of actual working-time. On a bad site, where ten-minute tea-breaks have been known to stretch to an hour, the figure comes down to 40 minutes. Shop stewards can tell tales of awkward jobs that take hours to set up or high chimneys that take half an hour to climb up and thus explain away the little time a man spends with tools actually in his hands. There is, however, only one such chimney at the Grain.

These are all actual, audited figures and they reflect deterioration; productivity at the Grain is about 30 percent worse than it was at two earlier and comparable power stations built....”

The technique used to measure ‘productivity’ at the Isle of Grain site was ‘work sampling’ (see Chapter 2). One measures through random observations the ratio of productive time to total available time. For the purposes of such studies, productive time is defined as the time spent on cutting material, hoisting equipment, installing components, or erecting formwork, in general, working with tools in hand.

To understand the influence of motivation one must analyze all factors that affect efficiency. Labour efficiency is the rate at which workers do what they are required to do at a given time and place. To the extent that the terms ‘labour efficiency’ and ‘labour productivity’ are used interchangeably, labour productivity in this context means the rate of physical progress of a single task per p-h, where the added value has resulted from the input of human efforts only. In simplistic terms, labour efficiency is governed by both workers’ attitude toward their assigned task and their ability to perform it. Unfortunately, this definition tends to put the entire responsibility for efficiency, or the lack of it, onto the shoulders of labour, which is obviously wrong, because management has as much, if not more, control over efficiency than labour has.

The factors that control labour efficiency include extraneous constraints, such as governmental regulations, climatic conditions, union rules, skill or inherent attitude of labour, and management practices.

Motivation is divided into two components, namely:

- Attitude possessed by the individual when arriving at the site. This attitude may be the result of the individual’s social background, family relations, religion, or even political affiliation.
- Motivation resulting from the various job-related factors controlled by management.

### **3.2.2 Factors affecting motivation**

Based on the experience gained from work sampling studies, management practices that affect motivation can be good planning, efficient communication, and a good work environment. Cleanliness, safety, adequate sanitary facilities, protection from inclement weather, fair but firm discipline, and provisions to apportion and distribute just rewards are the attributes of a good work environment.

### **3.2.2.1 Planning**

Planning includes both overall job organization and work distribution at site level. Higher-level planning must provide for efficient sequencing of the various phases, e.g., design must precede the preparation of construction drawings and on-site construction should not start until adequate drawings are available. Similarly, subsequent trades should not be called to the site until the preceding trade has made enough progress to allow an uninterrupted work flow. Site management must ensure that required material is available in sufficient quantity for continuous progress. Good planning motivates workers because they can build up and maintain momentum toward completing their assigned task without interruption.

Good planning practices include proper use of scheduling techniques, site-layout planning, procurement scheduling, work assignment and organization, and proper approaches to crisis management. Good planning also involves feedback and control mechanisms. (For further information about these planning issues, consult such project management textbooks as Abuja, 1984; Halpin and Woodhead, 1976; and Hendrickson and Au, 1989.)

### **3.2.2.2 Communication**

To be able to contribute to the success of a project, a worker must be told exactly what tasks are expected of him. Therefore clear explanations of tasks and expectations are required. Employees must also know where their instructions come from, i.e., there must be a visible communication chain on the job. Instructions from an unknown source will be disregarded. Moreover, to be totally successful, the communications should flow both ways. The ‘bottoms-up’ management system practised in Japan does improve productivity. The system works because it nurtures the idea of communicating ideas both upward and downward.

Instructions and drawings are two methods of communication. Each must be complete and timely to allow good planning. Recent developments in scheduling and control software allow stylizing reports for individuals. In other words, a foreman in charge of formwork can get a report which only addresses activities of concern to his or her particular line of work and responsibilities. Foremen can thus focus on the required resources, and the start and progress of each activity for which they are responsible. This can greatly enhance the instructions provided to personnel responsible on site and enhance the communication process.

### **3.2.2.3 Work environment**

Creating the proper climate for the motivation of construction workers depends to a great extent on the attention given to the basic

personal comforts. This issue, when neglected by management, can be devastating to the attitude of labour and becomes a demotivator.

Basic personal comforts on a construction job represent the conveniences which a human being has come to expect in today's environment. They should include drinking water, proper sanitary facilities, site access, parking and protective gear.

**3.2.2.4 Discipline**

In addition to remaining alert for uneven application of the rules, a manager should be prepared to recognize and praise exemplary performance. Failure by supervisors to enforce discipline or take corrective action can demotivate the entire labour force. Favouritism must be avoided.

**3.2.2.5 Rewards**

Rewards can mean advancement in the chain of command, social recognition, or monetary compensation. They may take the form of a pat on the shoulder or the satisfaction of a job well done, depending on the circumstances and the character of the individual. But in all cases, the worker should be aware of both the reason and the nature of the reward. Moreover, the size of the reward should be commensurate with the reason for it. Unearned or unduly large rewards can have the opposite effect. Finally, rewards alone, without the other motivating factors being satisfied, are of little value on construction jobs.

**3.2.3 Motivators**

Frederick Herzberg, one of the best-known researchers of human behaviour, proposed the following principles as the means of enhancing motivation:

- remove some controls while retaining accountability

- increase the accountability of individuals for their own work
- give a person a complete natural unit of work
- grant additional authority to an employee in his or her activity
- make periodic reports directly available to the worker
- introduce new and more difficult tasks
- assign individuals specific or specialized tasks, enabling them to become experts.

The principles can be applied at any level on a construction site.

**3.2.4 Demotivators**

Demotivators have only a negative effect. Eliminating them does not result in enhanced motivation.

**3.2.4.1 Overtime**

Overtime generally means working in excess of 40 hours a week. Most studies indicate that 40 hours a week is the optimum work period and that working more hours reduces the rate of output. There are several reasons for this slowdown. Workers tend to pace themselves by slowing down to accommodate the longer day. The resulting productivity loss, according to some sources, may exceed the time worked beyond the normal 40-hour week. Simply stated, after nine weeks of continuous overtime, the output achieved in a 50-hour week is less than that which could have been achieved in a 40-hour week. Table 3.1 illustrates the resulting loss in productivity with overtime.

This table has been derived principally from a Detroit-area study performed in 1964. It fits quite well with other studies by the Mechanical Contractor's Association, and the Electrical Contractor's Association, a Proctor and Gamble evaluation and a major Engineering Procurement and Construction contractor's estimating guide.

An alternative to overtime is alternate work hours. Here are some examples of alternate work hours:

- Four 10-hour days have lower daily start-up costs, reduced equipment downtime, levelled peak staffing demands, and decreased absenteeism.
- If a project has been satisfactorily completed ahead of schedule, the construction crew might receive some time off – with pay – for their extra effort. Or if workers satisfactorily complete their assigned amount of work, commensurate with an 8-hour workday, they can go home, yet still receive a full day's pay.

With rolling fours, workers work 10-hour shifts: on 4 days, off 4 days. This type of

**Table 3.1 Loss of productivity with overtime**

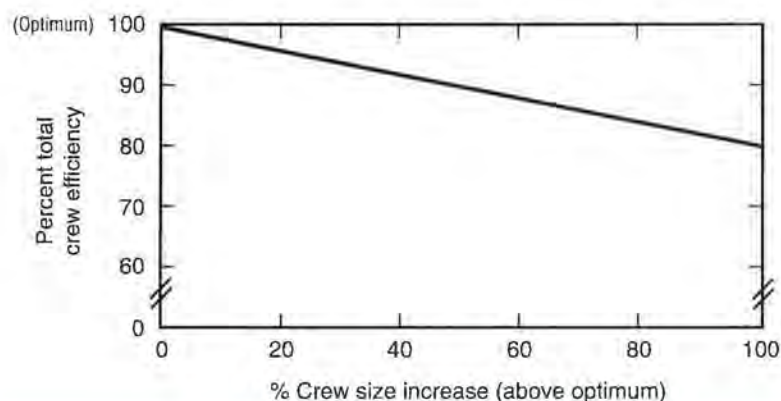
Days/ Week	Daily Hours	Weekly Hours	Inefficiency Factor			
			7 Days	14 Days	21 Days	28 Days
5	9	45	1.03	1.05	1.07	1.1
5	10	50	1.06	1.08	1.12	1.14
5	11	55	1.1	1.14	1.16	1.2
6	9	54	1.05	1.07	1.1	1.12
6	10	60	1.08	1.12	1.16	1.21
6	12	72	1.13	1.2	1.26	1.32
7	8	56	1.1	1.15	1.2	1.25
7	9	63	1.12	1.19	1.24	1.31
7	10	70	1.15	1.23	1.3	1.38
7	12	84	1.21	1.32	1.42	1.53

work week reduces on-site population, decreases overall time for completion, reduces equipment demands, and avoids fatigue by cycling different groups of employees every 4 days.

### 3.2.4.2 Overstaffing

Overstaffing occurs when more workers are assigned to a task than are required to work productively. Overstaffing may take the form of increased crew size (for a given operation) or the deployment of multiple crews; in either case, a loss of productivity will occur. Figure 3.1 shows the effect of increasing crew size over the number required to perform a task within the allocated time.

**Figure 3.1. Effect of crew overloading (overstaffing)**



Adapted from: U.S. Department of the Army Office of the Chief of Engineers, 1979. *Modification Impact Evaluation Guide*. Washington, D.C. 20314, p. 4-14.

Optimum crew size for an activity represents a balance between an acceptable rate of progress and the highest possible level of productivity. Experience shows that on a greatly overstaffed project, the rate of progress may, at times, be improved by reducing the number of workers or equipment on the site. Overstaffing dilutes supervision, slows down material delivery because of competing demands and, in general, affects the morale of the workers.

The optimum crew size is the minimum number of workers required to economically complete a task within the scheduled time frame. As the number of workers is increased or decreased from optimal level, productivity will vary proportionally.

### 3.2.4.3 Stacking of trades

Stacking of trades (creating congestion) is a problem that develops when different trades, which should be working sequentially, are obliged to work simultaneously in a limited work space. When this occurs, the work area becomes smaller (or at least, appears so) because all trades are trying to bring in the material required for their work. Each trade tries to complete its work but the sequence of their ac-

tivities is not coordinated. As a result, newly completed work often has to be torn out. Such congestion can also give rise to unsafe practices and conditions and leads to lost productivity in all trades involved.

### 3.2.4.4 Crowding

Crowding can be considered in a manner similar to the scheduled acceleration of tasks because the contractor attempts to complete more work activities in the same period of time or a designated amount of work in a shorter period of time. More workers are placed in a given space than can function effectively.

Figure 3.2 illustrates the upper limit of the loss in efficiency with the percentage of crowding. The meaning of crowding is subject to a wide interpretation. Crowding occurs when the work space per worker is reduced below a minimum required to work effectively. For example, if 18 workers are in an area that can only accommodate 15, the overcrowding is  $3/15 = 20\%$ . According to Figure 3.2, 20% overcrowding results in an 8% efficiency loss, which is equivalent to an 8% increase in the normal duration of all activities being performed in the work area during the period of overcrowding.

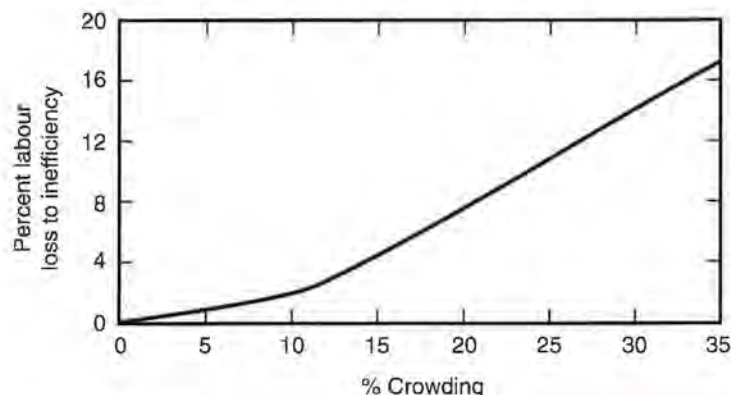
(Figures 3.1 and 3.2 are meant to serve only as a general guide; no precise information should be derived from them.)

### 3.2.4.5 Multiple shifts

Introducing multiple shifts is another less distracting way of adding more workers to the workforce. Double- or even triple- shifting can be a reasonably economical method of accomplishing more work within the same period of time, but depending on the type of work, it can also give rise to a chaotic situation. Trades requiring fine motor skills are ill-suited for double-shifting; where activities require high precision, overall output may be even lower with a double shift than it would have been with a single. Gross motor skill trades, on the other hand, and equipment operation, such as bulk excavation or building an earth-fill dam, can be double-shifted very effectively.

A second shift, one that starts after the regular shift (i.e., after 5:00 p.m.) is less productive than the regular shift. People who work shifts face many problems that other workers do not. These problems come from changing eating, sleeping, and working patterns.

When shift cycles are changed, the first several days are periods of change and employees will be less alert, less accurate, and less safe. Sometimes shift rotation is invoked as a means to be fair to all workers, but it is actually unfair. It takes almost a month for the human body to

**Figure 3.2 Effect of congestion of trades (crowding)**

Adapted from: U.S. Department of the Army Office of the Chief of Engineers, 1979. *Modification Impact Evaluation Guide*. Washington, D.C. 20314, p. 4-14.

adjust to a different schedule. Moving workers back and forth from shift to shift does not let them adjust to a schedule and consequently they will not perform at their best.

#### 3.2.4.6 Stop-and-go operation

Stop-and-go operation occurs when an essential component of an activity is not available when it is required. The component might be a drawing, a decision about a contemplated change, the acceptability of workmanship, pre-purchased material, or equipment. The activity is halted temporarily and the crew moved elsewhere to a new task. Breaking the rhythm, taking time to make a decision on the next step (usually referred to as reaction time), packing up tools, moving to the next activity, unpacking, orientation, and obtaining the required supplies, are all non-productive activities. Additional labour input is required without a corresponding increase in output, resulting in a net loss of productivity. At times, losses can be in the order of 30 to 40%.

#### 3.2.5 Absenteeism and turnover

The major reasons for absenteeism, listed here in order of importance in the construction industry, are:

1. personal or family illnesses
2. poor overall management
3. poor supervision
4. excessive travel distance to the job site
5. excessive rework
6. unsafe working conditions.

The major reasons for turnover in the construction industry, also listed in order of importance, are:

1. inadequate tools and equipment
2. excessive owner surveys of on-site work
3. poor planning
4. poor overall management
5. mediocre supervision
6. overtime available on another job site
7. unsatisfactory relationship with boss.

Many of the reasons for absenteeism and turnover can be affected by management. By simply being aware of their major causes, supervisors may be able to make improvements on their sites.

Absenteeism and turnover have the following negative effects on productivity:

- Crew members waste time waiting for replacements.
- Time is spent transporting replacements to and from other work locations.
- Supervisors lose time in reassigning work activities and in locating replacements.

Other losses are incurred from not having the workers available, administrative costs (payroll, personnel, etc.) for terminating and hiring people and the disruption to fellow workers.

On average, it is estimated that 24 p-hs of paid time are wasted for each resignation.

### 3.3 Human Factors Related to Productivity

Human factors related to productivity fall into two groups:

- Individual factors, such as personal attributes, physical limitations, the learning curve, teamwork and motivation;
- The worker's environment, such as climate, work space, and noise.

Since construction work is labour-intensive, site workers clearly play a major role in the construction process. Although human factors are often not given much consideration, they strongly influence job site productivity and are key to the success of any project.

#### 3.3.1 The individual as a factor affecting productivity

Persons with an optimistic and positive attitude are likely to have more initiative and think of imaginative solutions to various problems. A caring, considerate, and friendly person with a sense of humour can help increase productivity. Humour in the workplace puts people in good spirits, relieves stress, and develops teamwork.



A safe and healthy person is more productive. Respect for safety and safe practices must be encouraged, not only for the well-being of the workers, but to minimize 'downtime' on a project.

A creatively thinking person can contribute to increased productivity. Often it is the workers who come up with the best solution to a problem. Workers who demonstrate leadership skills should be encouraged to develop their potential because construction crews need good leaders to be successful and productive. Leadership skills include such characteristics as honesty, responsibility, good judgment, co-operation, being organized, and being a good listener.

Finally, experience plays an important role in the productivity of a worker.

### 3.3.2 Physical limitations

Humans are somewhat like machines in the sense that they require fuel to operate and produce energy (the capacity to do work), and they become exhausted if they are not looked after properly. Many construction tasks are physically demanding.

The type of work that persons are performing will dictate how frequently they need to rest and regain energy to continue working. Figure 3.3 illustrates this with a water reservoir analogy. An average young male adult can develop approximately 21 kJ (5 kcal.) of energy per minute, of which approximately 4.18 kJ (1 kcal.) per minute is needed to sustain life and the rest is available for expenditure in the form of work. If workers perform light work, then the energy reservoir remains full and they can

continue working for long periods of time. However, if the work requires more than 17 kJ (4 kcal.) of energy per minute, the reservoir will drain and when it empties, they require rest to refill it with energy.

"For an average construction task requiring 6 kilocalories [25 kJ] per minute including basic metabolism, work at this pace could continue for no longer than 25 minutes before the worker becomes exhausted. An average male, sawing and hammering with an energy demand of 8.1 kilocalories [34 kJ] per minute, must rest after about 8 minutes." (Ogelsby *et al.*, 1989)

To avoid short-term fatigue, tasks should be designed to avoid activities such as holding heavy loads or pushing hard against non-moving objects. Use tables, supports, props, jigs, fixtures and tools or other devices as a substitute for muscular effort.

The right amount and type of tools can increase productivity. Cutting and welding torches and welding-rod holders should be positioned to reduce effort and make work more visible. Sanders, grinders, drills, hacksaws and similar tools should have good weight balance and handgrips. Wheelbarrows and buggies should be designed so weights are balanced, thus requiring little lifting. Pneumatic tires increase ease in pushing and guiding.

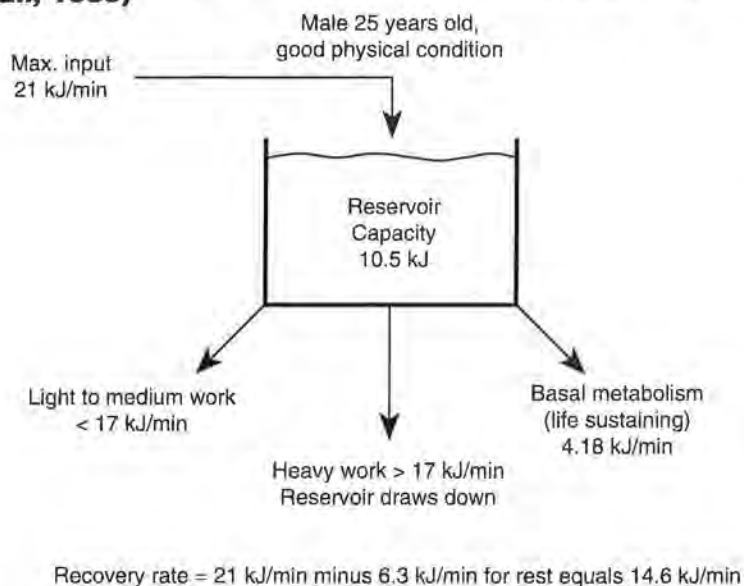
If a worker has to put himself in an awkward position to perform a particular task, it can lead to discomfort and even injury. Persons working in an uncomfortable position are more likely to take breaks and work less productively. Working overhead tires the arms and can put the back in odd positions. Constant bending also puts unnecessary strain on the back. Back injuries are very common in the construction industry and these could be avoided if more work were done at waist-height.

### 3.3.3 The learning curve

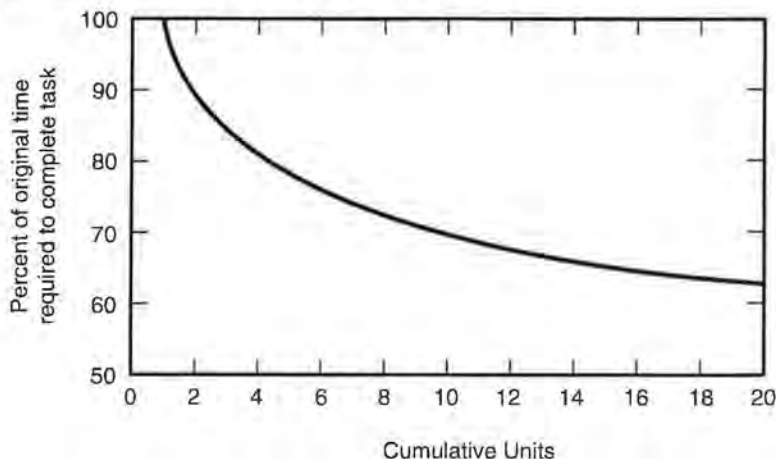
The first time any person performs a certain task, they will work slowly because they are learning how to do it. With additional repetitions, the time needed to perform the same or similar tasks will decrease. It is therefore desirable, where possible, to have the same person perform a task several times rather than making personnel changes along the way. After a considerable number of repetitions, the learning curve approaches a plateau that reflects the minimum time required to perform a task (Figure 3.4).

This principle applies to highly repetitive manual operations. If delays occur between repetitions, the 'unlearning curve' effect can be noted as the worker gets out of practice and can no longer perform the task as well. It

**Figure 3.3 Water-tank analogy of the human body's energy storage-replenishment capacity (Ogelsby *et al.*, 1989)**



**Figure 3.4 The learning curve**

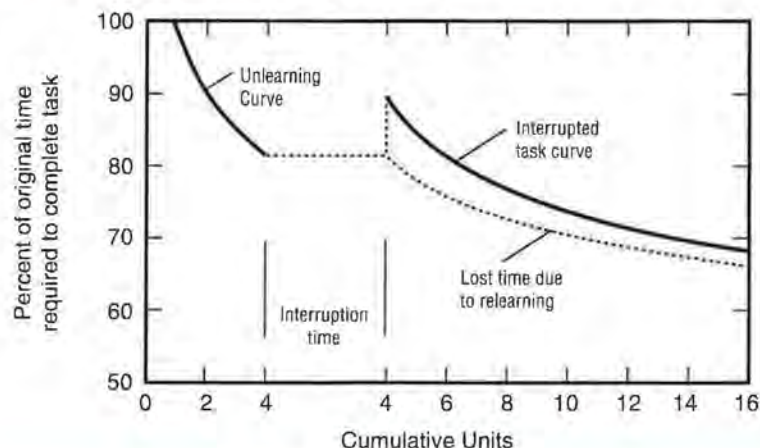


takes time for the worker to re-learn how to do the task. The same effect will be noted after personnel changes are made as the new workers must learn what to do. The unlearning curve is illustrated in Figure 3.5.

**3.3.4 Crews and teamwork**

Construction usually requires that a group of diverse workers act as a team with specific objectives. Teamwork can be main-

**Figure 3.5 'Unlearning' curve**



tained or improved by good, open, two-way communication. In that vein, workers should be asked for suggestions and solutions. Not only does this make workers feel that their opinions are valued and important, but it usually results in a solution to the problem.

This idea was developed in Japan through the use of quality circles. Groups of workers would meet and develop solutions to problems in their work, which would then be presented for management action. Supervisors and managers should aim to produce a productive environment and set goals for the team.

People enjoy not only the challenge of meeting and exceeding production targets but also contributing to solutions to problems. Mild competition in production objectives is also healthy and useful, i.e., productivity competitions between crews or between shifts. Supervisors can achieve higher levels of productivity by appealing to a worker's pride, competence, sense of duty, and team play.

**3.3.5 Environmental factors**

"Other things being equal, human beings perform relatively continuous physical or mental work most effectively when the temperature falls between 10 and 21°C at a relative humidity (R.H.) of 30 to 80%, under dry conditions, with the atmosphere clear of dust and other atmospheric pollutants, and without excessive noise. Departures from these conditions have adverse effects on productivity, comfort, safety and health" (Ogelsby *et al.*, 1989).

**3.3.5.1 Weather conditions**

Workers must slowly become acclimatized to working in hot weather. Heat stress occurs at temperatures above 49°C (120°F) at an R.H. of 10% and 31°C (88°F) at an R.H. of 100%. Above these temperatures, heat injuries can occur, which include sunburn, heat cramps, heat exhaustion, and heat stroke. These illnesses can be prevented by using acclimatization, adequate rest periods, proper clothing, and adequate water and salt intake.

Similarly, the ill effects of cold weather can be warded off by wearing proper clothing and having temporary shelters near the work area; heaters may be installed as long as they are well ventilated. The optimal temperature appears to be 5°C. At this temperature the productivity of indoor work is not greatly affected.

Table 3.2 shows the reduction of work efficiency in cold weather. It is assumed that efficiency is 100% at 21°C (70°F).

**Table 3.2 Reduction in work efficiency in cold weather**

Temp. °C	Loss in Efficiency (%)	
	Gross Skills	Fine Skills
4	0	15
-2	0	20
-7	0	35
-13	5	50
-18	10	60
-23	20	80
-28	25	90-95+ (probably can't work)
-34	35	—

**Table 3.3 Relationship of temperature and humidity to productivity**

R.H.	Temperature (°C)												
	-23	-18	-12	-7	-1	4	10	16	21	27	32	38	43
90	56	71	82	89	93	96	98	98	96	93	84	57	0
80	57	73	84	91	95	98	100	100	98	95	87	68	15
70	59	75	86	93	97	99	100	100	99	97	90	76	50
60	60	76	87	94	98	100	100	100	100	98	93	80	57
50	61	77	88	94	98	100	100	100	100	99	94	82	60
40	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	94	84	63
30	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	93	83	62
20	62	78	88	94	98	100	100	100	100	99	93	82	61

Table 3.3 shows the combined effect of temperature and relative humidity on productivity. This table, developed by the National Electrical Contractors' Association, can be used to predict the effects of weather on productivity for most construction tasks. This information can be useful when planning and estimating work and preparing construction claims.

**3.3.5.2 Noise**

Noise can interfere with work. It may create a safety hazard by not letting workers hear warnings or instructions. Noise may not affect the amount of work accomplished, but it will affect the quality, especially if concentration is required. Moderate, steady background noise, such as music, may actually increase performance. It covers up random, disruptive sounds and sets a pace to work by. Studies suggest that 90 decibels is the noise level at which possible hearing damage and decreased work performance result.

Effects of noise can be mitigated by reducing the noise at the source, separating noise sources from the workers, or having workers wear ear-plugs or other protective gear.

**3.3.6 Workspace**

The workspace should be set up so that it provides workers with a safe, healthy, and comfortable environment. It should be organized in an efficient and appropriate manner for the nature of the work being done.

Spending the time to keep the site clean is worth the effort, because it helps keep the project organized. Workers who feel that the worksite is safe will be more productive.

The workspace should also be well lit and well ventilated, and comfortable, so that

the ill effects of the environment on the workers' productivity are minimized.

**3.4 Job Site Planning**

Planning a site for the most efficient use of all construction facilities leads to improved productivity for everyone. The degree of planning will depend on the complexity and size of the job. A good job site plan, the result of good job site planning, is of utmost importance to ensuring a productive workplace, regardless of project size.

**3.4.1 Job site planning considerations**

The preparation of one or more drawings with accompanying text should form the basis of the job site plan. A documented plan is equivalent to building the project on paper, where mistakes can easily be corrected and alternatives can be tested at little cost.

Many government agencies, utilities, and traffic planners require the information indicated on a site plan before issuing various construction-related permits. Timely receipt of these permits is required in order to avoid delays. Completion of the plan with subsequent revisions will require input from the entire project team.

In conjunction with the key trades, a plan for excavation, shoring, and de-watering should be developed. In the development of this plan, all previously established information from the preliminary site plan, with particular consideration to adjacent property encroachments and living restrictions, is used.

Considerable lead time is required to address environmental concerns properly. A plan has to be established at the project planning stage for the removal of contaminated materials and other substances, if such work has been identified.

Temporary access points for initial and final excavation ramps should be established to minimize interference with temporary construction services and be coordinated with the actual succeeding construction program, permanent hoarding entrances, and traffic flow requirements.

**3.4.2 Temporary electrical service**

The power requirements and the availability of power on a project should be reviewed as soon as possible to avoid unnecessary delays once the project has started.

Furthermore, to avoid delays on the project associated with inadequate electrical

distribution, this activity must be planned in detail by individuals knowledgeable in the field. Too often trades are faced with electrical distribution systems that are inadequately sized, lacking in sufficient outlets, or unsafe to use. The inability to operate electrical tools and equipment effectively will result in an obvious loss in productivity. Associated with this problem is that of an improper temporary lighting system which can produce safety concerns, an unproductive work environment and potential labour disruptions.

### 3.4.3 Temporary heating and hoarding

The type of hoarding, the amount of heat required and the time for which it has to be applied, depend upon the work occurring at the particular area or stage of the project during the winter months. There are entirely different requirements for rough carpentry than for taping or painting. All of these considerations have to be taken into account when establishing the heating system.

As with the temporary electrical service, the gas utility companies require sufficient lead time in which to provide temporary services.

An undersized heating system, a system that does not protect the entire work area, or an inadequate hoarding system will ultimately produce downtime on a project. Choose high-capacity heaters with ducted fresh-air supply, where possible, to provide cleaner, dryer heat, and better fuel efficiency.

### 3.4.4 Miscellaneous systems

Job site efficiency can usually be improved by using:

- communications systems as part of a properly organized project
- a central compressed-air system accessible by all trades
- a water distribution system
- a refuse removal system.

The cost of supplying these systems is minimal compared to the time lost by not having them.

### 3.4.6 Offices, lunchrooms, and sanitary facilities

The location of owner, consultant, general contractor, and sub-trade offices should be as close to the site as possible and close to each other. Each site has its own characteristics and requirements for office locations. Similarly, the job site plan should carefully consider the location of the on-site workers' storage and lunch facilities, keeping in mind local union requirements, if applicable. Good

sanitary facilities should be placed in reasonable locations to ensure that the workers do not spend unnecessary unproductive time travelling to and from their work station.

## 3.5 Safety Issues

Everyone, from owners to workers, benefits from a safe construction environment. In the context of macro-productivity, a safe site is a productive site. The Business Roundtable Study, *"Improving Construction Safety Performance,"* concluded that accidents cost \$8.9 billion (U.S.) or 6.5% of the \$137 billion spent on industrial, commercial, and utility construction in the United States in 1979. This 6.5% figure is probably low. If the same percentage is applied to all types of construction in Canada, then the cost of accidents today may be conservatively estimated at over \$5 billion.

The apparent high cost of accidents in construction easily justifies expenditures on construction safety. While owners, construction managers, and contractors have long recognized a moral obligation to provide a safe work environment, the economic reasons may not have appeared so compelling.

### 3.5.1 Economic impact of accidents

Three basic cost categories are directly related to accidents. These costs include compensation for injured workers, liability claims, and property losses.

Direct compensation costs for injured workers are largely made up of the cost of compulsory injured workers' compensation insurance. In Ontario, for example, a contractor involved in steel erection was required to pay \$25.67 for every \$100 of wages paid to an ironworker in 1988. Such compulsory insurance payments are based upon the loss or claim history of the particular class of construction workers. The median worker's compensation costs were found to be approximately 1.9% of the total project costs; these costs vary from 1% to 4% of the total project costs.

While the cost of property loss may be quite small compared to workers' compensation costs, the resulting indirect losses due to damaged property may be substantial when expressed in terms of a ratio of direct costs. In one study (*The Business Roundtable* 1982), the ratio of indirect to direct costs was found to be approximately 5:1 for various cost categories.

### 3.5.2 Safety and productivity

Most construction accidents occur during non-productive periods. Sloppy job sites reduce productivity and increase the chances for accidents to occur. Management

should play an active role in ensuring safety. Craftsmen are more productive when they know that management is genuinely concerned about their well-being.

Workers who are more likely to have an accident are those with a bad attitude, those who are frequently absent – especially on Mondays and Fridays (Hinze 1981) – and those who have a history of accidents. Pre-employment screening keeps workers with poor records or high accident potential off the job or at least out of hazardous situations. Orientation, which includes training, and attention to new workers, is especially important. Twenty-four percent of all accidents happen to workers in the first month of work and 46% occur in the first six months.

All workers new to the crew should be assessed by asking about their previous work experience, and closely supervised. If new workers are to work as part of a group, the supervisor must ensure that they are accepted by the group. Those who are to work alone, should be put to work only after their skills have been fully tested and the supervisor has made sure that all procedures are understood.

Instruction and toolbox meetings should be relevant to ongoing work. Assignments and their safety implications should be discussed and meetings held when safety requirements change. These occasions can be used to stress safety and that unsafe work practices will not be tolerated.

Pressuring the crew or individuals if there is a productivity problem may cause workers to work more quickly and less safely. Instead, productivity problems and solutions should be discussed. Safety is good business: it affects worker morale and attitude, and has an economic impact on the project.

The human resource is extremely important in construction, more so than in any other industry. This is simply because construction projects are unique and complex. These characteristics inhibit full automation compared to other industries. The individual skill of each craftsman, the abilities to communicate, make decisions, work with others, and share information, makes this resource unique and irreplaceable in the foreseeable future. To get the most out of this resource, the manager has to realize what motivates the worker, what demotivates, what the physical limitations are, and what factors inhibit performance.

The understanding of these issues is important not only during the progress of construction. At the bidding or planning stage, the estimator often has to make personal judgments about productivity under anticipated conditions

of the project. Certainly the effects of weather, safety, and site congestion must be accounted for during estimating. This chapter has provided an overview of these human resource issues and their relation to productivity.

### Additional Readings

Ahuja, H. A. 1984. *Project Management Techniques in Planning and Controlling Construction Projects*. New York: John Wiley and Sons.

Carlson, J. G. 1961. "How Management Can Use the Improvement Phenomenon." *California Management Review* 3 (2):83-94.

Gates, M. and A. Scarpa. 1972. "Learning and Experience Curves." *ASCE J. Const. Div.* 98 (CO2):79-101.

Gates, M. and A. Scarpa. 1987. "Optimum Number of Crews." *ASCE J. Const. Div.* 104 (CO2):123-132.

Halpin, D.W. and R.W. Woodhead, 1976. *Design of Construction and Process Operations*. New York: John Wiley and Sons.

Hendrickson, C. and T. Au. 1989. *Project Management for Construction*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Hinze, J. 1981, "Biorhythm Cycles and Injury Occurrences." *ASCE J. Const. Div.* 107(1):p.21.

Oglesby C.H., H.W. Parker, and G.A. Howel. 1989. *Productivity Improvement in Construction*. New York: McGraw Hill.

The Business Roundtable. 1982. Report A-3. The Business Roundtable, 200 Park Ave., New York, N.Y.

Thomas, R., C. Mathews, and J. Ward. 1986. "Learning Curve Models of Construction." *J. Const. Eng. and Management* 112 (2):245-257.

Touran, A., A. Burkhart, and Z. Qabbani. 1988. "Learning Curve Application in Formwork Construction." In *Proc. of 24th ASCE Annual Conference*, 20-24. San Luis, California.

United Nations Economic Commission for Europe. 1965. *Effect of Repetition on Building Operations and Processes On Site*. ST/ECE/HOU/14.

# 4 Measuring Productivity from the Cost-Reporting System

## 4.1 Introduction

On any project there are numerous activities that could be tracked. The most significant are usually those of greatest scheduled duration. In selecting the detail and extent of control of activities, the method should be kept simple and only the degree of control needed should be exercised. Therefore activities where the maximum concentration of hours occurs should be the focus.

Productivity and productivity factors can be reviewed at any level required. Computerization can produce overwhelming amounts of data, much of it superfluous. The more data processed by a system, the costlier the process. A costing system can produce productivity data for a small additional cost. It is these productivity data that are necessary to gauge performance on the project.

## 4.2 Data Collection and Processing

This section provides a simplified description of the origin, collection and processing of individual pieces of data for measuring productivity and work progress. Only the general aspects of cost reporting are discussed. More detailed discussion can be found in numerous books (for example, Halpin, 1985; Adrian, 1979).

Data in construction projects are collected on various forms and for different purposes. Data collected for the financial control system are organized primarily as required for tax and other legal purposes. These data are not sufficient to control the cost of a project; additional information must be collected. To illustrate: a financial system keeps track of the payroll of all workers on a project, but it does not necessarily account for the hours of labour spent on a particular work package. (A work package is a group of related tasks.) For cost control and productivity calculations, the person-hours spent on the activity must be collected. Accordingly, a company normally maintains a dual-purpose system. For financial purposes, data are gathered at an aggregated level; for cost control and productivity measurement, data are tracked at a more detailed level.

Data useful for cost control and productivity measurement on a construction project are gathered in three categories: labour, material, and equipment. Variations in these categories are tailored to suit the requirements of each company.

The data-collection process is initiated at the construction site by collecting the labour, equipment and material information from time cards (Figure 4.1), daily reports (Figure 4.2), and material-issue tickets. To make use of this

**Figure 4.1 Time card**

**TIME SHEET**

---

Employee Name: \_\_\_\_\_ Job No: \_\_\_\_\_  
 Employee No: \_\_\_\_\_ Pay Period No: \_\_\_\_\_  
 Pay Period Date: \_\_\_\_\_

	Date	Reg	O.T.	T.T.	Date	Reg	O.T.	T.T.
W								
T								
F								
S								
S								
M								
T								
Total					Total			

Certified Correct  
 Employee: \_\_\_\_\_ Supervisor: \_\_\_\_\_  
 Remarks: \_\_\_\_\_

**Figure 4.2 Sample daily work report**

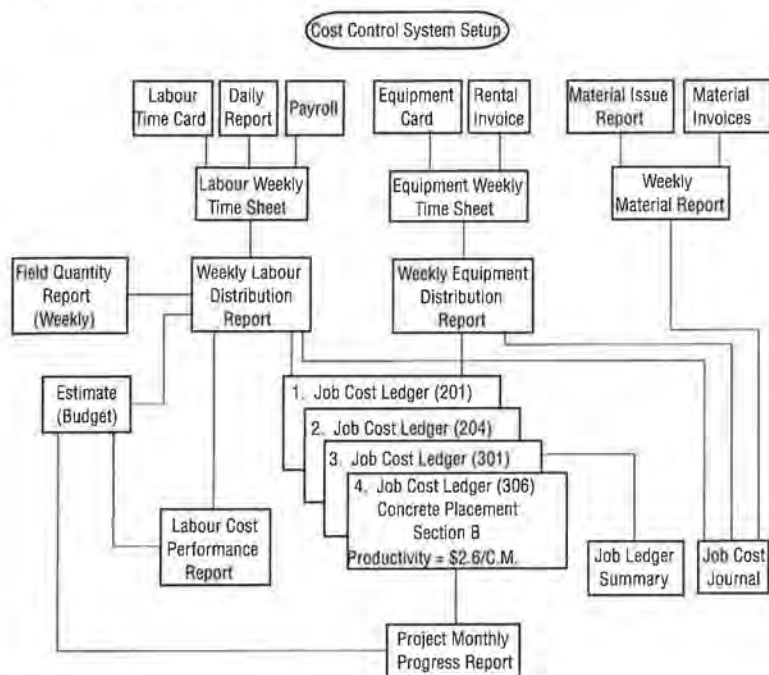
**Daily Work Report**

---

Project: \_\_\_\_\_ Prepared by: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_ Comments: \_\_\_\_\_  
 Temperature: \_\_\_\_\_  
 Weather conditions: \_\_\_\_\_

Work pkg. code	Description	Labour (h)	Supervision (h)	Craft-1 (h)	Craft-2 (h)	Craft-3 (h)	Total (h)
2-20	Concrete formwork	64	8	-	-	-	72

**Figure 4.3 Information flow summary on a typical reporting system**

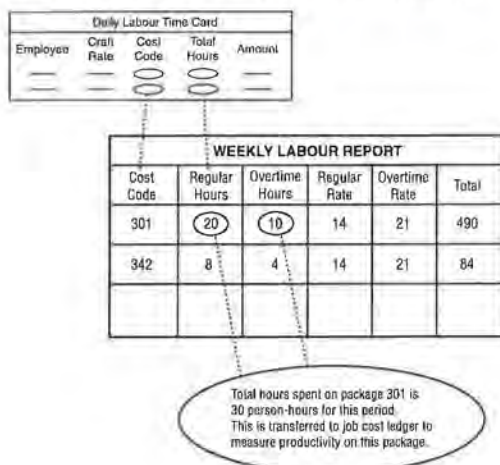


information it must be further refined and consolidated. The data are normally organized in what is referred to as a cost-reporting and control system, either computerized or manual. A simplified cost-reporting system is illustrated in the flow chart displayed in Figure 4.3.

The most basic information in this system is obtained from three sources:

- labour time cards, daily reports and payroll records
- weekly field quantity reports
- the original estimate (budget).

**Figure 4.4 Weekly labour report**

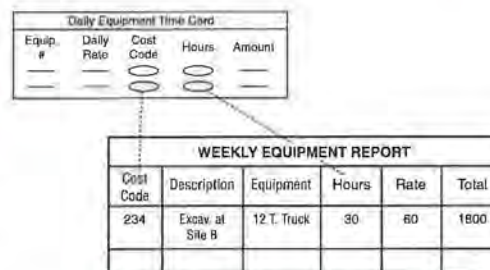


**Figure 4.5 Weekly material report**

**Weekly Material Report**

Supplier	P.O. #	Description	Terms	Cost Code	Amount
Big Lumber Inc.	2104	Forms	Net 10	301	\$4,002
Ready Mix Co.	2361	Concrete	Net 10	305	\$6,700

**Figure 4.6 Weekly equipment time sheet**



The data from the first source flows into the weekly labour, equipment, and material reports (Figures 4.4 through 4.6). The weekly reports summarize all information by work package (with unique cost codes). The information collected represents the labour hours spent, rates, and total labour cost on each work package.

The accuracy of the entire system depends on the correct application of the hours worked to their respective work packages, identified with cost codes. The weekly labour, equipment, and material time sheets are subsequently used to compile a weekly distribution report for labour, equipment, and material, as illustrated in Figure 4.3. The weekly distribution report summarizes, for every work package, the labour expenditure for the given week and the quantities placed in that time. The quantities are obtained from the field quantity report shown in Figure 4.7.

**Figure 4.7 Weekly field quantity report**

**Weekly Field Quantity Report**

Work Completed This Week:

Cost Code	Description	Unit	Total Completed This Period	Total to Date
302	Concrete Placed	C.M.		
304		C.M.		

**Figure 4.8 Weekly labour distribution report**

**WEEKLY LABOUR DISTRIBUTION REPORT**

Cost Code	Description	Labour Cost		Quantities		Estimated Cost	
		Week	Cumulative	Week	Cumulative	Per Unit	Total
302	Concrete Frmwk	1240	5020	400	1200	\$2.5	\$7500

**Labour**  
 Total/Expenditure: This period = \$6200  
 To date = \$15400

**Figure 4.9 Job cost ledger**

**JOB COST LEDGER**

Cost Center Name: Concrete Placing Code 301

Source	Description	Labour	Material	Equipment	Subcontracts	Other	Total
LD-12	Labour Distribution Report #12	341					341
C-123	ACE Hardware		73				73
LD-1	XYZ Excv. Inc	237			1800		237 1800
		578	73	1800			2451
		578	73	1800			2451
		578	73	1800			2451
					200		200
					200		200
	Totals						26510

Estimated Quantity = \_\_\_\_\_

Productivity:  $\frac{\text{Person-Hours}}{\text{Quantity}}$  =  $\frac{102 \text{ P-H}}{1000 \text{ C.M.}}$  = 0.1 P-H/C.M.

Total Cost \$ =  $\frac{\text{Total Cost \$}}{\text{Quantity}}$  =  $\frac{\$26510}{1000 \text{ C.M.}}$  = \$2.65/C.M.

The weekly labour distribution report shown in Figure 4.8 becomes the basis for further data reductions, as illustrated by the information flow shown in Figure 4.3.

The weekly distribution reports on labour, equipment, and material are used to compile two additional reports, namely the job cost ledgers and the job cost journal. The job cost ledger is prepared for every work package. The job cost ledger (Figure 4.9) summarizes all expenditures on the given task including labour, equipment, material, and subcontracts. The ledger also shows the total expenditure on the task to date, the estimated quantity of work, estimated total cost, total person-hours spent to date, and the productivity achieved on this task.

For each cost ledger, productivity rates in cost/unit and person-hours/unit can be calculated. The entries in the job cost ledger show an example of the task of concrete placing. The total cost to date (sum of Col. 6) is \$26 510. The quantity excavated to date from the field quantity report is 1000 cubic metres (C.M.). The weekly labour report shows that the total number of p-hs spent on the task to date is 102. The productivity is estimated as \$26 510/1000 C.M. or \$2.65/C.M. and 102 person-hours/1000 C.M. (or 0.10 p-h/C.M.). The original estimate shows that the unit cost on this work package is \$2.45/C.M. and the p-h budgeted per unit is 0.15 person-hour/C.M. A comparison of actual versus estimated reveals negative cost and positive person-hour variances. The cause of the variances could be the hourly labour cost and better unit production rates or other factors, such as better than anticipated equipment.

The job cost ledgers are summarized into one document as the cost ledger summary (Figure 4.10). This document provides an effective means of viewing the status of the project by displaying a summary of each task.

The job cost journal (Figure 4.11) is a weekly itemization of all expenditures. It shows total costs for material, labour, equipment, etc., for the entire project. Another use of this document is to double-check the work done to date. (The totals on the job cost journal and the job ledger summary should match.)

Productivity, as defined earlier, is input/output, i.e., person-hours used to install an amount of material. This is shown at the bottom of the job cost ledger (Figure 4.9).

The final pieces of the job costing system, as illustrated in Figure 4.3, are a labour cost performance report and a project monthly progress report. The labour performance report (Figure 4.12) draws information from the estimate and the weekly distribution report for labour, reduces it, and presents it by task. For



**Figure 4.10 Cost ledger summary**

COST LEDGER SUMMARY							
Cost Code	Description	Quantity	Labour	Material	Subcontracts	Other	Total
302							
304							
Summary of each cost account from the Job Cost Ledgers							
Totals should agree with Job Cost Journal							

tions for this period and the accumulated costs to date. The total columns present the forecast and the estimated total costs for each. In the far right-hand column, the 'percent complete' based on quantity installed and cost incurred is shown. This is a complete summary of the status of the project labour cost as of the reporting period. This information enables management to ascertain the status of each package and how well the whole project is progressing. Achieved productivity in cost/unit for all work packages are displayed next to the estimated cost/unit rates. The manager is then able to view all tasks, compare their status to the original estimates, and take corrective action where needed.

**Figure 4.11 Job cost journal**

JOB COST JOURNAL								
#	Cost Code	Period	Description	Labour	Material	Subcontract	Other	Total
1		Wk 1	Payroll	3004				3004
2		Wk 1	Payroll taxes				290	290
3		Wk 1	P.O. # _____ Freight _____		5000		300	5300
4								
From Labour Distribution Report								
				From Weekly Material Report				
				Total Labour	Total Material	Total Subcontract	Total Others	Total

The final report is the project monthly report, which is mainly compiled from the job cost ledgers and the original estimates. The information for this report is shown in Figure 4.13. The illustration contains five sets of information:

- actual quantities, costs and unit costs
- quantities and costs required to complete the package
- a forecast of the total cost
- the estimated quantities, unit costs, and total costs
- variance from estimate, as well as an idea of performance.

This final monthly report, derived from the cost-reporting system, summarizes construction progress and the productivity for the month.

**Figure 4.12 Labour performance report**

LABOUR PERFORMANCE REPORT													
Cost Code	Description	Quantities			Cost Per Unit			Variance		Total Cost		Estimated % complete	
		Per.	Cum.	Est.	Per.	Cum.	Est.	Period	Cum.	Forecast	Est.	Quantity	Cost
302	Concrete formwork	300	600	3300	0.2	0.25	0.3	30	30	825	990	18.2	15.2
304													

From labour distribution report

From estimate

$(0.2 - 0.3) \times 300 = -30$

$(0.25 - 0.30) \times 600 = -30$

$0.25 \times 3300 = 825$

$600/3300 = 18.2\%$

$\frac{0.25 \times 600}{0.3 \times 3300} = 15.2\%$

### 4.3 Tracking Person-hours instead of Costs in the Cost-reporting System

The basis of cost control is the dollar spent on a given task. Productivity is also measured as cost/unit. Although the measure of person-hours/unit is possible for each package, it is not the basis of the system. It can instead track p-h expenditure, rather than dollar values, in the control system. Both techniques have merit. Advanced computer tools provide systems that can easily report both. Three measures of output – estimated 'percent complete,' physical measurement, and earned value – can be derived from a person-hour-based system.

#### 4.3.1 Estimated 'percent complete'

The estimated 'percent complete' is simple and a relatively inexpensive measure used to calculate the quantity completed. The calculation is:

$$\text{Estimated Quantity Completed} = \text{Total Quantity} \times \text{Estimated Percent Complete}$$

This measure has two disadvantages:

- Estimated 'percent complete' is subjective (someone's guess).
- This method is not sensitive to changes in scope of work.

each task, the quantities installed during the reporting period (one week in this case), the cumulative installed to date for the package, and the original estimated quantity are presented. Under the heading, cost (\$) per unit, the unit costs for the period, cumulative unit costs to date, and the unit costs in the bid estimate are shown. The variance columns indicate positive (underrun) and negative (overrun) cost devia-

**Figure 4.13 Monthly cost summary**

MONTHLY COST SUMMARY												
Cost Code	Description	Actuals			To Complete		Forecast Cost	Estimated			Variance	Index
		Actual Quantity to date (AQ)	Actual Cost to date (AC)	Unit Cost to date (AUC)	Quantity to Complete (CQ)	Cost to Complete (CC)	(FC)	Quantity (EQ)	Unit Cost (EUC)	Total (EC)		
				AC/AQ	EQ-AQ	CQ x AUC	AC + CC				EC - FC	EC / FC

From Job Cost Ledger for this account

Accordingly the 'percent complete' method is used for such straightforward items as masonry.

**4.3.2 Physical measurement**

The physical measurement requires the actual counting or measuring of the number of work units completed. Examples of work units are diameter centimetres of pipe welds, number of doors hung, and square metres of formwork installed. This method is objective and detailed, and scope changes are accurately included. Physical measurement is, however, time-consuming and expensive, and its use is generally restricted to tracking bulk material quantities, especially in fabrication shops.

**4.3.3 Earned value**

The earned value (EV), a measure widely used in construction, is a technique for calculating the 'percent complete' of a control account. It is more objective than the estimated 'percent complete' measure but not as detailed and expensive as the physical measurement. EV is, in a sense, a compromise between the two measures. The p-h input is taken from the craftsmen's time cards. Only direct work is used for calculating productivity.

For each code of accounts, the foreman reports the actual quantities installed. Based on some rules for taking credit or on the estimated 'percent complete,' credit is taken and an earned value is calculated as follows:

EV = actual quantities x estimated (or budgeted) productivity per unit of quantity output.

For example, p-hs earned = actual C.M. installed x estimated p-h/C.M.

Rules of credit provide a structured method of allowing credit for intermediate

milestones or partial completion. In formwork, for example, it can be agreed upon, in advance of the work being undertaken, that credit will be taken as follows:

- fabricate 60%
- erect 20%
- remove 15%
- clean forms 5%.

Table 4.1 shows a typical performance report. Column 11 shows 645 p-hs earned based on the rules of credit.

**4.3.4 Performance factors**

Of two approaches for measuring productivity on sites, the most common one is based on the use of performance factors (PFs) that can be determined from data produced by the costing system and the EV measure. By definition,

$$PF = \text{Earned p-hs} / \text{Actual p-hs}$$

(Cols. 13 and 14 in Table 4.1)

Earned p-hs are calculated based on estimated values for unit p-h, e.g., p-h/tonne. The use of actual p-h (Cols. 1 and 2 in Table 4.1) and estimated values of unit p-h (Col. 7 in Table 4.1) can lead to inaccuracies because the estimate could be wrong, hours worked could have been charged incorrectly to accounts, and measurement of the physical progress could be inaccurate.

PFs are used to help in the control of a project. Figure 4.14 graphically shows cumulative and time period productivity. Performance regarding the project or a particular account are readily evident. Besides the actual value of PF, it is very important to interpret the trends displayed by these curves. Initial productivity can be expected to be low (0.9) because the start-up activities are, on average, more time-consuming than other activities. With time, repetition and familiarity contribute to lower p-h rates per unit and improved productivity.

**Table 4.1 Typical person-hour performance report**

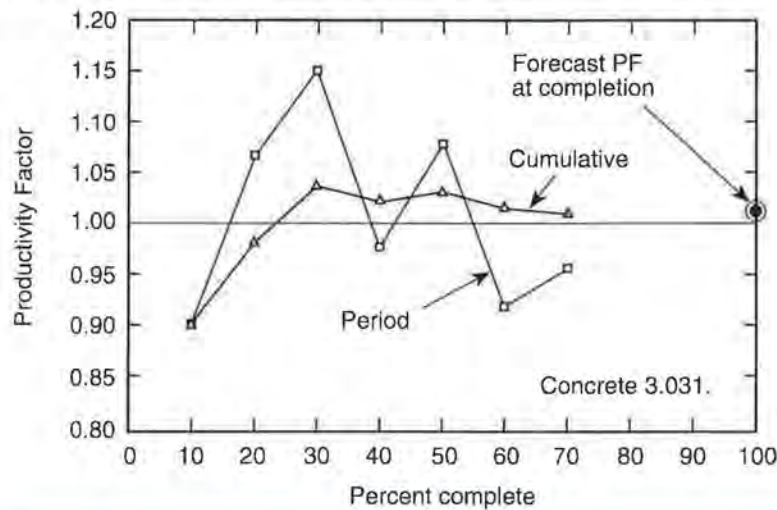
Activity	Acct. No.	Actual p-hs		Quantities				Unit p-hs			Budget p-hs	Earned p-hs		Performance Factor		Projected p-hs
		This Period	To Date	Current Budget	This Period	To Date	Unit Meas.	Budget	This Period	To Date		This Period	To Date	This Period	To Date	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Formwork	3.03100	680	37,100	82,000	620	34,000	m <sup>2</sup>	1.04	1.10	1.09	85,200	645	36,380	0.95	0.98	86,940

**Notes**

**Column**

- 1 Actual p-hs for latest reporting period [from daily time sheets (see Figure 4.4)]
- 2 Summation of actual p-hs
- 3 Total estimated quantity for the account
- 4 Earned quantity in place for the latest reporting period [from quantity in place report (Figure 4.7)]
- 5 Summation of earned quantities in place
- 6 Unit of measurement
- 7 Budgeted productivity rate (based upon historical records)
- 8 Col. 8 = Col. 1 ÷ Col. 4
- 9 Col. 9 = Col. 2 ÷ Col. 5
- 10 Col. 10 = Col. 3 ÷ Col. 7
- 11 Col. 11 = Col. 4 ÷ Col. 7
- 12 Col. 12 = Col. 5 ÷ Col. 7
- 13 Col. 13 = Col. 11 ÷ Col. 1
- 14 Col. 14 = Col. 12 ÷ Col. 2
- 15 Col. 15 = Col. 10 ÷ Col. 14

**Figure 4.14 Trends of productivity factors**



There are two types of PFs: period PF and cumulative PF. The period PF is a short-term measure used for immediate control purposes, and action can be taken to remedy a disturbing trend. The cumulative PF is a long-term measure of productivity used for forecasting the cost at completion.

The least common methods for evaluating productivity are input utilization techniques, i.e., activity surveys or time measurements, such as work sampling, foreman delay surveys, and craftsman questionnaires. The disadvantage of these techniques is that more data on worker performance, in addition to that provided by the costing system, must be generated and that adds costs to the project.

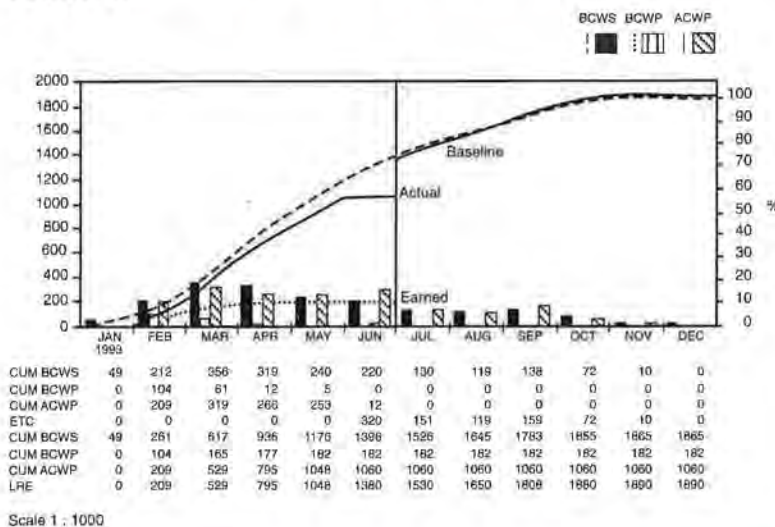
### 4.4 Cost Reporting and Analysis Using Project Management Software

The introduction in the preceding sections to a manual cost-reporting system conveys an understanding of the basic concepts: how data are reported and accumulated, how to feed information into the various computer programs, and how to interpret the output.

To illustrate how a commercial package can be used in this context, Figure 4.15 presents a graphical report from PARADE (a Primavera Systems Inc. product) regarding the progress of a project made up of a number of work packages. The performance curves on the graph show that the actual expenditure and progress on the project falls behind the planned curve (baseline). The project is obviously behind schedule and over cost.

The tabular summary of costs at the bottom of the figure is presented in cost/schedule control system criteria (C/SCSC) format. The budgeted cost of work scheduled (BCWS) is the cost baseline, the cost based on the original plan and the operating budget. The budgeted cost of work performed (BCWP) is the real value of the work performed and is recorded from reports compiled from the project site reflecting the actual progress and budgeted cost expenditure on each task. The actual cost of work performed (ACWP) is what has been actually expended, regardless of the value of the work. To analyze the performance of a project, a set of variances is defined: the schedule variance (SV) given by  $SV = BCWP - BCWS$  and the cost variance (CV) given by  $CV = BCWP -$

**Figure 4.15 Sample project performance report from PARADE**



With the aid of programs like PARADE, project managers can input the required information regarding the progress of a project every month and acquire performance reports that can assist them in controlling the costs and schedule of a project. Whereas Figure 4.15 is a sample of such a report in graphical format, Figure 4.16 is a tabular report with the various indexes. The report encompasses the period, cumulative, and forecasted-to-completion PF.

According to Figure 4.16, \$1,140,000 worth of work was scheduled for this period. Only \$182,000 was performed with an actual cost of \$1,059,500. This yields an SV = -\$958,000 and a CV = -\$877,500. Obviously an unfavourable situation.

Reports can be by task, work packages, or for the entire project. Through them, a project manager can pinpoint the problem areas in a project. To illustrate, a report was obtained for Package 1.1 on this project (made up of four major packages each down to 10 sub-packages). The report given in Figure 4.17 shows that the performance curves for a particular work package are unfavourable and look similar to those of the entire project.

Others besides the cost engineer or project manager should be concerned and knowledgeable about productivity. When the project engineer, superintendent, and foremen understand how productivity is measured and how its results are interpreted, they can provide more input into the control process. After all, they are the most familiar with the site and its operations. The resulting information can be used when remedial actions must be taken to improve productivity. When productivity in cost/unit is not as high as management predicted for a given work package, the superintendent can provide the information required to assess the situation. An increase in cost/unit value can be the result of factors quite apart from crews and their effectiveness. They could be the techniques used, higher-than-usual hourly rates for craftsmen during the construction season, or simply management practices, including poor planning. For the intermediate managers to be able to provide positive input into the corrective process and action plan, they must have an appreciation of the costing system. How the information flows, where it is initiated, how it is evaluated, and what can be derived from it are essential factors in cost communications and control.

ACWP. (CV is the difference between the monetary value of the work accomplished and the actual costs incurred.)

**Summary of Abbreviations**

- ACWP = actual cost of work performed
- BCWP = budgeted cost of work performed
- BCWS = budgeted cost of work scheduled
- C/SCSC = cost/schedule control system criteria
- CPI = cost performance index
- CV = cost variance
- EV = earned value
- PF = performance factor
- p-h = person-hour
- SPI = schedule performance index
- SV = schedule variance

A schedule performance index (SPI) is given by:

$$SPI = (BCWP/BCWS) \times 100$$

SPI reflects the efficiency of a task expressed as a percentage of EV. Low SPIs require immediate attention or they will cause schedule delays. Tasks with SPI over 100 are ahead of schedule.

A cost performance index (CPI) is given by:

$$CPI = (BCWP/ACWP) \times 100$$

CPI represents the cost efficiency of a task expressed as a percentage of the EV. Values below 100% indicate a cost overrun; over 100%, a cost underrun.



# 5 Management Issues

## 5.1 Introduction

Factors affecting productivity in construction can be divided into two categories: human-related factors and management-related factors. These factors affect the morale and motivation of individuals.

Quality of supervision, material management, site planning, constructability, and change management are the most significant management-related factors that influence productivity directly.

## 5.2 Quality of Supervision

Quality of supervision can be viewed in terms of leadership and team-building. These abilities create a positive environment for the individual worker. Everyone wants to be on the winning team. Good supervision has an obvious direct impact on productivity. Workers can be demotivated with ill-informed, poor supervision, or ineffective supervision due to a high worker to supervisor ratio. Approximately 10% of the time on a project is spent communicating instructions, and this can be done effectively through good supervision. Management and supervision are perceived by the worker as either competent, informed and concerned, or not. This perception, if positive, influences behaviour favourably and pays dividends through improved productivity.

## 5.3 Material Management

“The construction industry lags far behind the manufacturing industry in applying the concepts of materials management.” (The Business Roundtable, 1983)

More recently the construction industry has become cognizant of the importance of the management of project materials and equipment, which can amount to 50% or more of project costs. An estimated labour productivity gain of up to 6% may be attainable through improved material management. Traditionally labour productivity receives the most attention because the productivity of direct work can be measured at a reasonable cost. Within the construction industry, there is a wide divergence in the degree of material management applied to projects. No common methodology is used to measure its effectiveness.

Some companies in the construction industry, for example, the large Engineering Procurement and Construction contractors, aware of the importance of material management, have established computerized material-tracking systems. They realized the need for better material management, especially for large complex projects that use thousands of components. The negative cost impact of shipping delays and poor procurement procedures became increasingly important to the project, and therefore these companies had to lead the way in integrating good material-management systems into their operations.

The general building industry is beginning to appreciate the importance of material management and the tremendous potential for increasing productivity and safety on construction projects. Smaller construction projects do not require elaborate material management systems. But regardless of size, some system, whether manual or computerized, is necessary.

As part of overall material management, some database systems track the status of major pieces of equipment and critical items. Spreadsheets are a convenient tool for tracking. More comprehensive, integrated systems address all material-management functions for both engineered equipment and bulk material. There are costs associated with the system chosen. Equipment, software, and training costs depend on the size and complexity of the system. Care must be exercised in selection of the system because of the costs and staffing required and to avoid costs disproportionate to the size of the operation or company. For large projects with thousands of material items, extensive computerization is necessary; for smaller projects, manual methods or spreadsheets will suffice.

Material handling is a significant component of material management and studies have shown it to be a large percentage of site labour. In a series of 22 productivity studies (O'Brien, 1989) carried out in Ontario, it was found that mechanical and electrical tradesmen were spending only 32% of their day on direct installation work, 20% on material handling, 15% on indirect work, and the remaining 33% on ineffective and miscellaneous operations. Obviously many areas required improvement,

but the magnitude of material handling is especially noteworthy. A productivity improvement program was instituted, which increased direct installation to 52%, and reduced material handling to 12%.

Other studies show similar ratios of direct to indirect work, with material handling and waiting for materials amounting to a significant percentage of the person-hours. These macro-studies highlight material handling and management as opportunities for productivity improvement. The traditional approach to productivity improvement has been to devote more effort to the analysis of direct operations, such as cutting, assembling, and joining of components. A more effective method of improving on-site productivity would be to reduce the person-hours spent on indirect work, such as waiting for materials and material-handling. A worker should have the right materials at the right time. For this to happen requires more than good material-handling; it requires good material management.

Material handling and movement can be a hazardous activity. Most tradespersons are not trained in material handling, lifting, and transportation. Good material management will, through planning and control, improve productivity and also reduce risk by ensuring that material handling is performed by trained and qualified tradesmen. Productivity must be considered with the associated level of safety; productivity and safety are closely related.

### 5.3.1 Material management steps

This section deals mainly with the attributes of material management and the responsibilities of those involved in performing them. A detailed understanding of each contributing function is required to comprehend the interfaces between material-management functions. A material-management system includes the major functions of identifying, acquiring, distributing, and disposing of materials at a construction site (CII, 1988).

By definition, material management is the management system for planning and controlling all efforts necessary to ensure that the correct quality and quantity of materials are specified in a timely manner, obtained at a reasonable cost, and available at the point of use when required (The Business Roundtable, 1983).

Each firm has its peculiar material-management system. Usually the responsibility for the various activities has been spread between engineering, purchasing, and construction. Some assign full responsibility and accountability to a material manager; for most firms, the responsibility is divided and therefore prone to problems. In fact, the more divided the responsibility, the more potential problems exist.

The steps in Figure 5.1 represent the process from identifying material needs to delivering the materials when required at the point of use. They are only the key elements which make up the whole material-management process.

### 5.3.2 Responsibilities

Responsibilities and authority of the participants in the material-management process must be clearly established. An efficient material-management system leads to improved productivity and necessarily includes all participants. The scope of each participant's involvement must be clearly defined in contractual documents. If not, increased effort will be expended to rectify errors in quantity, quality, or cost. Unexpected effort reduces productivity of the operation. Poor quality in the material-management process becomes apparent immediately at the point of use. By comparison, poor quality of engineering, for example, may not become apparent at all.

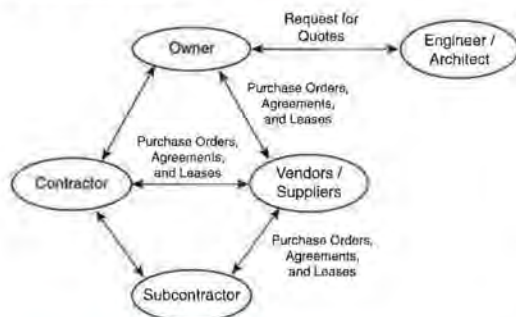
Figure 5.2 shows the contractual relationships and the key documents used to establish the scope of material management for each participant.

If an owner purchases a long-lead item and later assigns the purchase order to the contractor, a clear understanding of the purchase order is required, as well as full knowledge of any relevant correspondence, to ensure that nothing slips through the cracks.

**Figure 5.1 Material management steps**

Material Management Steps	
Sequence	Contributing Action/Documents
1. Request for Quote (RFQ)	Drawings, specifications Material bills Terms and conditions
2. Bids	Approved bidders list Pre-qualification of bidders Bid evaluations
3. Purchase Orders (P.O.)	Bid clarification Notice of award
4. Expediting	Vendor data Manufacturer inspection Delivery Routings
5. Transport	Carrier and route Ownership en route Customs
6. Receiving	Inspection and acceptance Receiving report Storage
7. Inventory	Dispersal (material handling) Inventory level Surplus disposal

**Figure 5.2 Relationships and key documents**



Although all major departments are involved in a material-management system, the key departments are Engineering, Procurement, and Construction. Project needs are usually identified by Engineering, which also determines the specifications and quantities. Engineering generates a request for a quote (RFQ), which is completed by Procurement.

Procurement develops a bidders list, solicits quotations or bids, evaluates bids with the assistance of Engineering for technical aspects, and issues a purchase order. Other departments within Procurement expedite, inspect, and look after transportation.

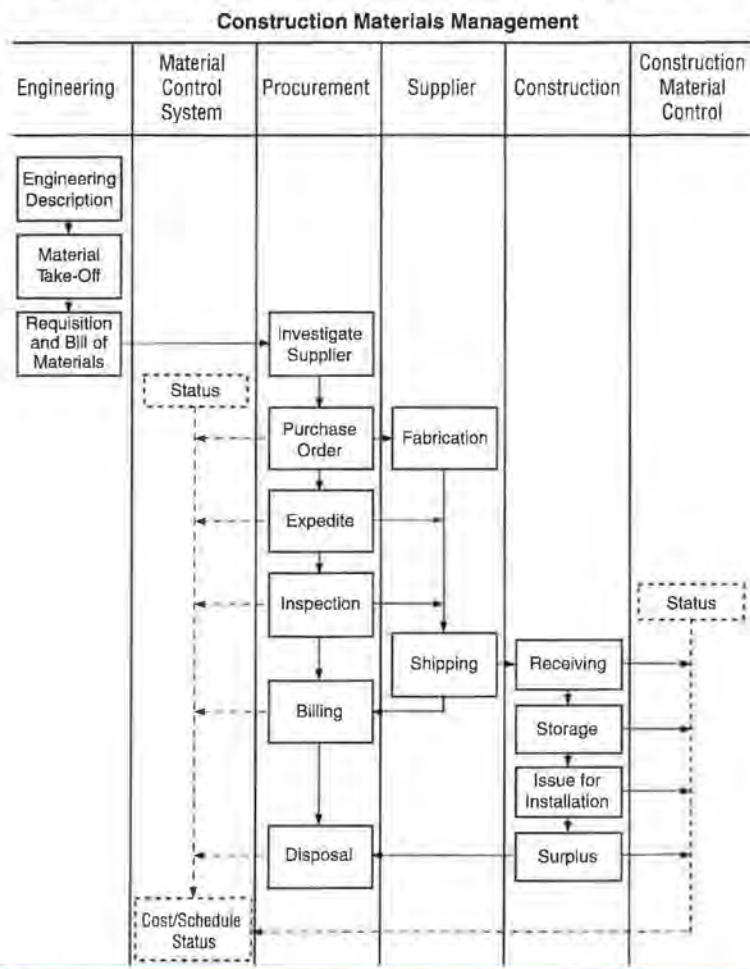
The Construction Department receives the materials, inspects them upon receipt, stores, and ultimately issues them to the work stations.

**5.3.3 Interfaces and their implications for productivity**

A material-management system consists of numerous logical components, as shown in Figure 5.3. As with any system, most problems arise at the interface of functions, and management attention is therefore required. The system includes the documentation and procedures, as well as trained personnel to execute the functions.

Computerized systems are being increasingly used, especially for large projects. The most important needs of these systems are to provide a communication tool and to save time on the execution of such functions as take-off and material lists. Any tool that satisfies these needs improves productivity by minimizing the cost to acquire materials and improving efficiency at the site, especially by the timely delivery of the required materials. The level of sophistication depends on several circumstances, among them company size, and project size and complexity. An organized program has a positive effect on staff and clients.

**Figure 5.3 Construction material management**



Material-management problems can occur in the form of quantity and quality errors. Shortages disrupt the work pattern and require re-planning around the shortages. If the system cannot detect shortages far enough in advance of material needs, the result is last-minute shuffling of work crews. If the quality of materials supplied is sub-standard, either the material is rejected or it is used, but requires additional person-hours to install. Rejected material must be removed and replacement material handled; both operations require unanticipated person-hours. Products of inferior quality, such as a lower grade of wood, may require additional person-hours to accommodate excessive warpage. (Beware of the dollar saved in purchasing; it may not necessarily be a dollar saved on the project.)

The most noticeable effect of poor material management is delays in delivery. These delays have an effect similar to errors in quantities, because the work flow is disrupted and must be replanned. Disruptions cause lost time and necessitate non-productive work to remedy the situation.

Those who have experienced projects where everything happens as planned will recall





Another approach is the inventory buffer approach, which can be costly from the standpoint of cash flow and losses due to theft. In a more extreme case, it can result in increased storage and double-handling which, in turn, may increase costs and lower productivity. It is, however, unrealistic to expect every item to arrive at exactly the right time. Some buffer is required, depending on the material and complexity of the job. Most foremen want to be assured that all materials are available for a particular operation, to avoid reassignment of crews because of shortages.

Trade-offs are necessary between just-in-time and inventory buffers. Often the inventory buffers are a form of insurance to provide continuous and unimpeded operations. The more material stored at a site, however, the more double-handling is required.

### 5.3.6 Procurement

Procurement includes purchasing of materials, equipment, supplies, labour, and services for a project. Associated with the purchasing are the related activities of tracking and expediting, routing and shipping, inspection and acceptance, handling, and storage and disposal of surplus. Procurement can be grouped under three categories: the procurement of materials, labour, and subcontracts.

Four cost categories (Barrie and Paulson, 1992) must be considered to optimize the procurement of materials for minimum cost, and to some extent these same considerations apply to the procurement of labour and subcontracts. These four cost categories are purchasing, shipping, holding and shortage costs, and trade-offs between the categories must be optimized to achieve minimum costs. In these discussions, the maximization of productivity is equated to the minimization of total costs.

On large projects it is common practice to produce a subcontract schedule and a procurement schedule for major pieces of equipment. For example, Figure 5.4 is a portion of a schedule taken from an actual refinery modification project. A scrutiny of the equipment plan reveals milestone dates for the completion of key steps, such as issue of the RFQ, purchase orders, and vendor drawings, bid requests, award of contracts, and required-at-site delivery.

### 5.3.7 Material handling

A large percentage of site labour activity involves material handling. As stated previously, in the Ontario studies (O'Brien, 1989), 20% of the labour was initially for material handling until a concerted effort was made to reduce this to about 12%. Reducing material

handling is the key to improving productivity and safety.

Material handling can be categorized by the following five sections:

- containerization and packaging
- movement to site
- off-loading at site and storing
- horizontal movement
- hoisting and vertical handling.

#### Containerization and packaging.

Containerization and packaging require careful planning and organization. Various types of pallets, containers, and protection are available. The sequence of packaging or loading is important, especially for congested high-rise construction sites.

The use of skid-mounted equipment and equipment modules reduces on-site labour. Modules require considerable preplanning and, because of the up-front engineering and manufacturing effort, numerous person-hours are transferred from the field to a shop environment. Overall the result is improved labour productivity on the site and lower project costs.

**Movement to site.** Movement to site usually involves trucking but can include rail, ship or air transport. Planning of the arrival of shipments at the site is important so that crews and equipment can be available when required. Unplanned shipments result in waiting time for the trucker or a deployment of workers to handle the shipment. The most efficient methods of material movement could require winter roads, wide-load permits, or partial load restrictions. For special size loads, route planning is necessary to avoid stalled shipments.

#### Off-loading at site and storing.

Unloading at sites requires trained material-handling crews with the proper handling equipment. Avoid handling material several times.

**Horizontal movement.** Horizontal movement methods depend on the material being handled. Trucks and trailers are the usual conveyances but conveyors and cranes are also common. Insufficient handling equipment, capacity or size have obvious negative effects that lower productivity.

**Hoisting and vertical handling.** Vertical movement and hoisting require material and personnel hoists, cranes or other lifting devices. Several decisions are required in planning the equipment for a job. The required capacity, most suitable type, i.e., mobile, crawler or fixed hoisting equipment, and best location on the site, are decisions that have a direct impact on project productivity.

For placing of concrete, which method is best? The choice could be a concrete pump or a tower crane. The better choice may be the tower crane, considering that it will be required anyway to handle formwork.

On a large bridge project, hoists costing \$200,000 were installed to reduce travel time on site. The payback period was estimated to be 9 months for a project of 18-month duration. Numerous examples can be cited where productivity was improved through the use of proper equipment. In planning the construction of the 72-story First Bank Tower in Toronto, the owner-developer studied the good and bad points at various construction sites. Workers were each losing 3 to 4 hours a day at some sites because of the time required to get to and from their work stations. The owner-developer implemented a well conceived factory-like system for moving men and materials. The around-the-clock use of elevators was planned and priorities were established. Productivity for handling materials was increased 600% for the installation of marble, 400% for electrical wiring, 260% for glass, and 800% for drywall. The innovation saved 1.33 million p-hs.

Space requirements are usually at a premium because several trades may require the same space. At different times, many key decisions relating to space, egress, and access are made; all these decisions affect productivity. Considerations are traffic movement at the site, proximity of buildings and obstructions, types of roads, turning space, and parking – just to name a few.

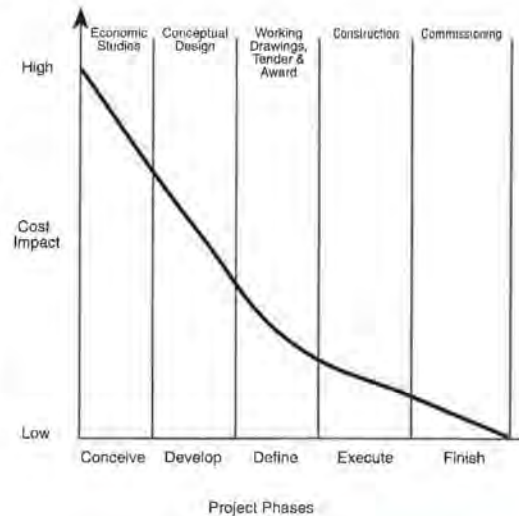
The concepts of material management are essentially the same for large or small projects; the differences are a matter of degree in the areas of organization and staffing, documentation, vendor relations and computerization. Material management has improved considerably in the last decade, with the development of better tools and methods resulting in improved cost effectiveness through better productivity.

## 5.4 Constructability

Constructability means making optimum use of construction knowledge and experience in planning, engineering, procurement, and field operations to achieve overall project objectives (CII, 1986). It is the effective and timely integration of resources and technology into the early phases of the project and then maintaining the involvement.

Maximum benefits accrue if all stakeholders – including the owner and contractor – with construction knowledge and experience participate early in the project, and remain involved. Figure 5.5 shows how decisions in the early stages have the greatest cost impact,

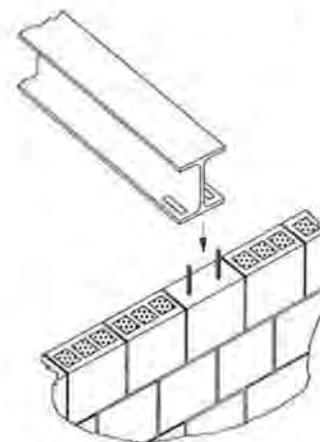
**Figure 5.5 Cost influence of decisions as a function of project phase**



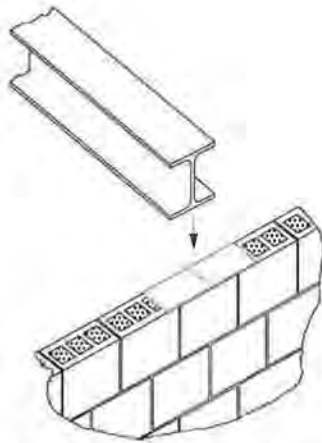
Constructability enhances the effectiveness of construction. It is a macro-productivity factor that should be the way of thinking of the entire project organization. It is management action (at all levels) that creates this culture; not a separate function, but an on-going process. It can be a motivator to the worker when the 'smart' details or methods are used.

For example, Figure 5.6 (a) shows details for a beam bearing on a masonry wall. Tight dimensional tolerances are required for the beam holes to match the anchor bolt location. This alternative would require an accuracy of construction that is costly and unwarranted. Figure 5.6 (b) shows a detail that better accommodates construction tolerances with a lower installed cost.

**Figure 5.6 Beam bearing detail**



(a) Anchor bolts grouted



(b) Bearing plate grouted with anchors on U/S plate. Beam field welded to plate

#### 5.4.1 A traditional problem

As the construction process has evolved and become more sophisticated, the separation of the design and construction functions has increased under the traditional form of construction procurement. Traditionally the owner hires an engineer/architect who designs the facility. Construction is awarded to a contractor who procures material, labour, and equipment and executes the contract requirements. This method, which results in the separation of functions, is primarily responsible for any lack of constructability. A return to the master builder concept is heralded as a step toward more efficient and cost-effective projects.

#### 5.4.2 Constructability concepts

During the conceptual phase of project planning, project objectives must be established, major construction methods selected, sites chosen, and a contracting strategy developed.

Overall project schedules must be construction-sensitive. A sequence of activities must be established with realistic durations to prevent costly overtime, schedule acceleration, or counter-productive high levels of labour for craftsmen.

Major construction methods should be considered during basic design. Special methods include prefabrication, pre-assembly, and modularization.

Effective site layouts can facilitate construction activities and reduce costs. Adequate storage spaces, access and roads, with particular emphasis on clearances for operating equipment and traffic flows, must be provided. The use of permanent facilities and utilities should be investigated.

To enable efficient construction, designs must avoid complex details and shapes so that they permit flexibility in construction methods and material substitutions. The design schedule must support the construction field-work sequence. Good quality drawings, specifications, and site information improve productivity.

Drawings are frequently criticized for lack of clarity and content, forcing field crews to devise their own solutions. This transfers part of the design function to the site, which is costly, disruptive, and inefficient. Those undertaking the dimensioning should consider construction needs and not scatter the dimensions over several drawings.

With vendors and suppliers, constructability is enhanced by timely engineering data, pre-assembly, shop-testing of components, and the provision of lifting lugs.

Constructability is enhanced by standardization, such as the use of manufacturers' standard dimensions, standard steel connection details, piping assemblies, off-the-shelf electrical and mechanical equipment. Designs can be standardized to realize the benefits of duplication, symmetry, and repeatability. For example, if the formwork for every member is a new experience, costs will skyrocket. Montreal's Olympic Stadium and the Sydney Opera House in Australia are classic examples of large projects where the cost of formwork went out of control. Numerous examples exist where the use of modular design can reduce costs. Concrete formwork and house construction are examples where wastage could be minimized through modular design.

Structural constructability considerations include the use of such elements as pre-cast staircases in high-rise cores. Straight reinforcement bars, prefabrication of cages, and detailing of reinforcement to suit pour heights, are cost-effective steps.

Effective design and construction require that construction expertise be utilized early in the project schedule. Constructability improvement is possible with construction-sensitive designs and construction-driven schedules.

### 5.5 Change Management

Projects are characterized by change. A change typically results from a revision to project scope or to the details of construction, and the rework required to rectify errors.

Changes have a ripple effect on the project, causing disruptions and delays. Consider the sequence of events that occur due to a single change. The project manager is notified

of the change. This information is communicated to the foreman, who then has to stop supervising or planning the other work. The workers are informed of the change and are moved to another work activity. Later, when full details of the change and revised materials are available, the work will be restarted. During the entire change process, additional effort is required from supervisory, management, and other support functions.

The simple change, for example, may be to relocate a door; this is readily quantifiable. There are, however, unseen impacts of the change that are disruptive and time-consuming. Time is lost during the scramble to relocate and re-instruct the workers for a suitable substitute task.

Because of the interdependency of construction operations, changes affect the productivity of other activities that are not a direct part of the change. This can also influence labour productivity in the form of the learning and unlearning impact discussed in Chapter 3.

Figure 5.7 (Revay Report, 1991) illustrates the loss of productivity because of change orders on mechanical and electrical work. Similar figures exist for civil and architectural work.

Of the three curves shown, the lower curve results from changes only. Additional major causes of productivity losses have, as shown, a cumulative negative effect.

Disruptions and delays affect productivity because of the stop-and-go of the operation, work being out of sequence, repetition of the learning cycle, unbalanced crews and fluctuation in staffing levels. The work force can become demotivated because the managers and supervisors are perceived as incompetent and indifferent.

A gradual deterioration of the planning and scheduling will occur with an increasing number of changes. The introduction of changes is similar to the addition of a new activity to the scope of work, and this often requires schedule acceleration.

Some of the impact of changes is readily apparent; some is not. The management of change has a major impact on productivity.

### Additional Readings

ASCE 1976. *Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, August 1976.

Barrie, D.S. and B.C. Paulson. 1992. *Professional Construction Management*. 3rd ed. New York: McGraw Hill.

Bell, L.C. and G. Stukhart. June 1987. "Cost and Benefits of Materials Management." *ASCE*, 113 (2).

Construction Industry Institute (CII). 1985. *Attributes of Material Management*. The University of Texas at Austin, SD-1.

Construction Industry Institute (CII). 1986. "Constructability: A Primer," The University of Texas at Austin, Publication 3-1, July 1986.

Construction Industry Institute (CII). 1988. *Project Materials Management Primer*. The University of Texas at Austin, Publication 7-2.

Drucker, P.F. 1974. *Management: Tasks, Responsibilities, Practices*. New York: Harper and Row.

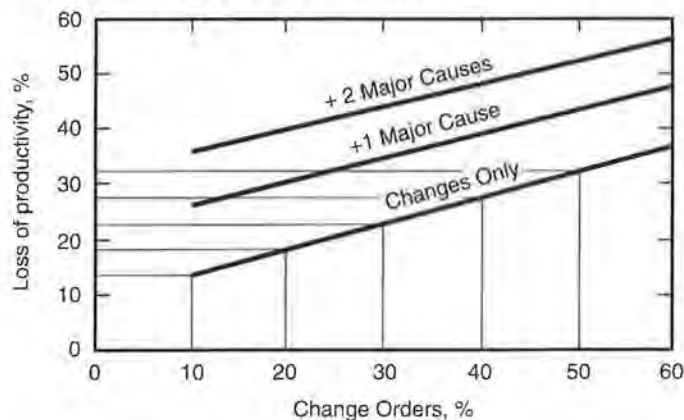
Leonard, C.A., O. Moselhi, and P. Fazio. 1991. "Impact of Change Orders on Construction Productivity." *Can. J. Civil Engineering* 18 (3).

O'Brien, K.E. 1989. *Improvement of On-Site Productivity*. K.E. O'Brien and Associates, Toronto, Canada.

Revay and Associates. January 1991. *The Revay Report* 10 (1), Toronto, Canada.

The Business Roundtable. 1983. "Modern Management Systems." Report A-6. BRT 200 Park Ave., New York, NY, 10166.

**Figure 5.7 Loss of productivity due to changes - electrical and mechanical work**



## 6 Conclusion

### 6.1 Macro- Versus Micro-Productivity

It is important to differentiate between macro- and micro-level productivity factors in order to analyze cause/effect relationships and take appropriate action. Macro-level factors that influence the effectiveness of construction are those that often attract considerable rhetoric but not enough specific actions or economic support. Many talk about the need to improve productivity because it is the key to economic survival. There is abundant scope for industry and government actions to enhance and promote an atmosphere for sustained progress. Japanese industries have developed a model for cooperation and effective support. The individual Japanese worker is not more productive than a North American worker; it is their system that is more productive. Government, industry, and the financial community must eventually cooperate to provide synergistic support at a macro-level. In Canada very little money is spent on research or improving productivity in construction. The industries that reinvest sufficient resources to remain competitive will survive and therefore the industry and construction companies must continue, and indeed increase, their contributions at a macro-level. If the construction industry, which constitutes approximately 15% of the GDP, does not improve, foreign competition will continue to make inroads into Canada's traditional markets.

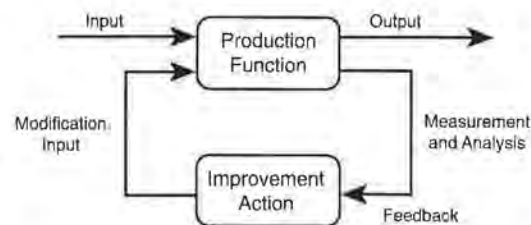
These are the macro-level concerns, which must be addressed, but are beyond the scope of this book. However, the individual construction company or person has an obligation to improve productivity at a micro-level. The efficiency of labour and methods are the foundation for competitiveness and more effort must be paid to the measurement of productivity. It may not be possible to separate the individual effects of all influences. But this should not deter efforts to quantify their effects and impacts on construction efficiency. Productivity improvement and measurement of the effects of related factors must become part of the daily construction routine.

Productivity improvement is a continuous process, as shown in Figure 6.1, and an integral part of total quality management. Ide-

ally, as quality and productivity improve, both the contractor and the end user are winners. It is a win-win situation.

The production function produces data, which are analyzed and provide feedback for action toward improvement. The cycle continues until the required level of productivity is reached. An analysis of productivity is complete only when quality and safety are also considered. The construction industry must become serious if it is to improve in quality, safety, and productivity. Supervisors and tradesmen must continue to improve their efficiency which, of course, is the thrust of this book.

**Figure 6.1 Productivity improvement as a continuous process**



### 6.2 Miscellaneous Ideas for Improving Productivity in Construction

Construction is a unique industry where field experience plays an important role in maintaining high levels of productivity. The qualities of the field-management team will eventually determine the levels of productivity achieved on a given project. An experienced person can tell about the level of activity on a project in a variety of ways. For example, a unique and inexpensive technique for measuring productivity is observing the sound level on a project. Not that a noisy project is a productive project; however, a silent project is a non-productive one. The trained and experienced ear can detect when a job is moving well by the productive 'hum' or tempo to a project: the roar of the crane every 5 or 6 minutes, the sound of welders arcing, or the fleeting of an air tugger.

Topics that were not covered in the previous chapters, yet can affect productivity, include job security, safety, and advanced telecommunication. All successful construction firms – large, medium, and small – practise the job security theory. Job security can significantly affect the tradesman's efficiency for obvious reasons.

Safety issues were briefly discussed in Chapter 3. One consideration, perhaps underemphasized, is the effect of a serious accident on productivity. A project that is moving along well and encounters a serious accident or fatality, never gets back to normal or regains its original tempo. Installing the proper safety program and taking safety seriously can help avoid such a scenario.

New technological innovations can be put to work in construction. This can greatly enhance productivity as it provides timely information, reduces travel to remote sites, and facilitates immediate corrective action in case of emergencies. Examples include the closed-circuit television communication systems that are being used to conduct meetings between engineers in remote project locations and the main office. In addition to timely information and access to the main office's immediate expertise, this eliminates routine, time-consuming, and ex-

pensive air travel. Telecommunications facilitate solving design-related problems by providing computer linkage between site personnel and the engineer or architect. Similar systems are in use for the review of drawings and other contract documents, providing instantaneous decisions, thus improving productivity and reducing cost. Other applications include CAD-based crane-planning systems which improve construction productivity through faster and improved engineering and planning. Multimedia use in training is catching on. This facilitates explaining to the site crews how a certain material or equipment can be installed. Walk-through programs have also reached the personal computer market. A complex 3-D design of a plant can be tested for constructability using such programs prior to construction, thus reducing chances of redoing work and effectively enhancing overall productivity.

When measuring productivity, it is important to know where the project stands. Improving productivity combines the scientific understanding of the issues affecting productivity, supplemented by work experience.

The construction industry should make better use of automation to improve the planning and control processes to remain competitive, especially in a global market.