

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

La productivité dans la construction

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

This publication could be one of several versions: author's original, accepted manuscript or the publisher's version. /
La version de cette publication peut être l'une des suivantes : la version prépublication de l'auteur, la version acceptée du manuscrit ou la version de l'éditeur.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

Paper (National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction); n° IRC-P-3580, 1993-12

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=1c01fe02-89e8-4a4c-ae19-12c8c2a50811>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=1c01fe02-89e8-4a4c-ae19-12c8c2a50811>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

La productivité dans la construction

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

This publication could be one of several versions: author's original, accepted manuscript or the publisher's version. /
La version de cette publication peut être l'une des suivantes : la version prépublication de l'auteur, la version acceptée du manuscrit ou la version de l'éditeur.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

Paper (National Research Council of Canada. Institute for Research in Construction), 1993-12

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=1c01fe02-89e8-4a4c-ae19-12c8c2a50811>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=1c01fe02-89e8-4a4c-ae19-12c8c2a50811>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.



La Productivité dans la construction

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

CNRC-37001f

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>

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

1	Introduction	
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
2	Techniques recommandées pour mesurer et améliorer la productivité sur les chantiers de construction	
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
3	Le facteur humain et l'amélioration de la productivité	
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
4	Mesure de la productivité par l'établissement du coût de revient	
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
5	La direction	
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 familial	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'œuvre ; 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 influencer 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'œuvre 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'ordonnancement Formation insuffisante de personnel de surveillance
Main-d'œuvre	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'œuvre sont :

- l'efficacité avec laquelle la main-d'œuvre est utilisée dans le processus de construction ;
- l'efficacité relative que montre la main-d'œuvre 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'œuvre pour produire un mètre ou un pied carré d'aire habitable, un lit d'hôpital, ou ce qu'il en coûte de main-d'œuvre 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'œuvre 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'œuvre. 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'œuvre 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'œuvre. La véritable amélioration dans ce cas n'est pas imputable à l'efficacité de la main-d'œuvre 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'œuvre 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'œuvre 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

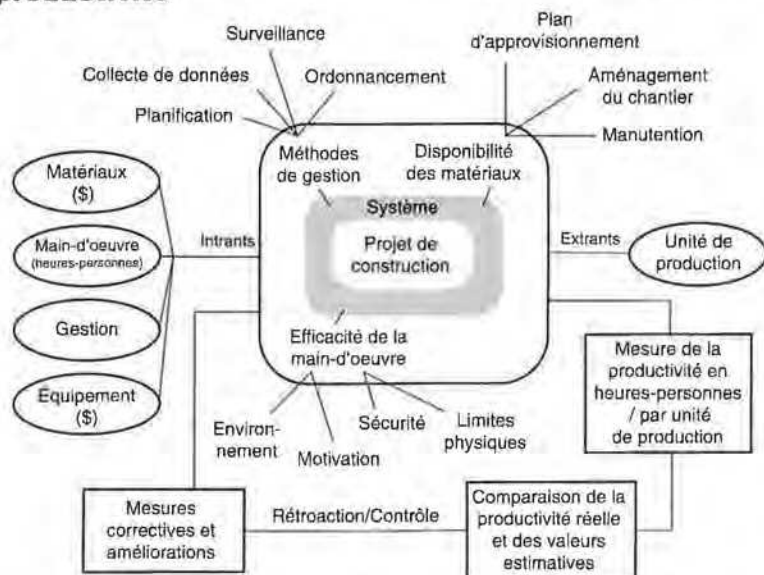
L'amélioration de la productivité dans le domaine de la construction est un concept qui se comprend mieux lorsqu'il est présenté dans son ensemble, comme le montre la figure 1.1. Le système qui nous occupe est formé du projet de construction dans lequel sont injectées les différentes ressources, soit 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'œuvre et sert surtout à évaluer les activités à fort coefficient de main-d'œuvre. 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'œuvre et les méthodes de gestion.

Pour améliorer l'efficacité de la main-d'œuvre, on doit considérer divers facteurs comme la motivation, la sécurité, l'environnement et les limites physiques des travailleurs. Les méthodes de gestion comprennent l'ordonancement, 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 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

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 :

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 tuyau	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

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 observations¹. 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'œuvre 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.

¹ 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. Inscrive 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 ☒ la case OUI ou NON appropriée et fournir les renseignements demandés.	
Métier		
Lieu de travail		
Type de travail		
Autre		
	OUI	NON
Matériaux		
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	
Outils		
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	
Équipement		
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	
Retouches		
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	
Problèmes de sécurité		
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	
Autres facteurs		
Question 1 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		
Question 2 (Ajouter des questions, comme aux rubriques «Matériaux» et «Outils»)		

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 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 compile 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
Total	19,8	49,5

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.

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 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 étrésoffonné. 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.

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 Enviro.	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 - Σ pourcentage prévu de temps morts)

Nota : Σ pourcentage prévu de temps morts = somme de la rangée e 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	Σ [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'oeuvre	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 morts				
Accroissement total de la durée de cycle	Somme des temps morts de cette catégorie à la col. 7, fig. 2.4				
	Nota : Lorsque des pourcentages sont utilisés à la figure 2.4, il faut calculer la somme au prorata de chaque cause de temps mort.				
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	Σ [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'oeuvre	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 oeuvre du béton.

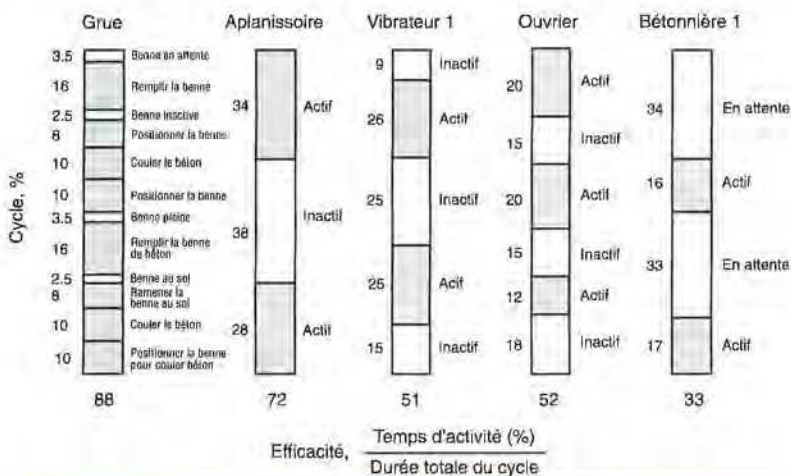
Les bandes verticales (voir la figure 2.5) représentent les personnes et les éléments de machine qui participent à l'activité étudiée. L'ordonnée représente le facteur temps, exprimé sous forme de pourcentage de la durée totale du cycle ou en temps réel. On divise chaque bande dans le sens vertical pour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

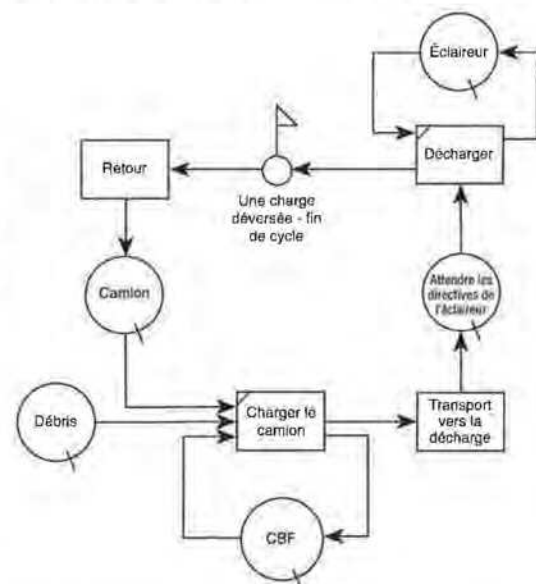
On trouvera à la figure 2.6 un exemple simple d'un modèle de réseau CYCLONE appliqué à des travaux de terrassement. Un tas de débris doit être transporté d'un point à un autre. Les débris doivent d'abord être chargés, puis transportés et enfin déposés à l'endroit prévu. Après avoir déposé sa charge,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

Tableau 2.11 Règles de construction des modèles CYCLONE

Élément CYCLONE	Description et règles de construction des modèles
NORMAL 	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. Peut être précédé de tous les autres éléments CYCLONE sauf les éléments de mise en attente. Peut être suivi de tous les autres éléments sauf l'élément COMBI.
COMBI 	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. Ne peut être précédé que d'une mise en attente. Peut être suivi de tous les éléments sauf les éléments COMBI.
QUEue 	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 œuvre. 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. Peut être précédé de tous les éléments sauf un point QUEue. Ne peut être suivi que de COMBI.
FONCTION 	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). Peut être précédée de tous les éléments sauf les éléments QUEue. Peut être suivie de tous les éléments sauf les éléments COMBI.
COMPTEUR 	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. Peut être précédé de tous les éléments sauf les éléments QUEue. Peut être suivi de tous les éléments sauf les éléments COMBI.

Supposons que cette opération sera exécutée par un chargeur à benne frontale (CBF), trois camions et un ouvrier qui remplit la fonction d'éclaireur. 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'éclaireur, 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



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

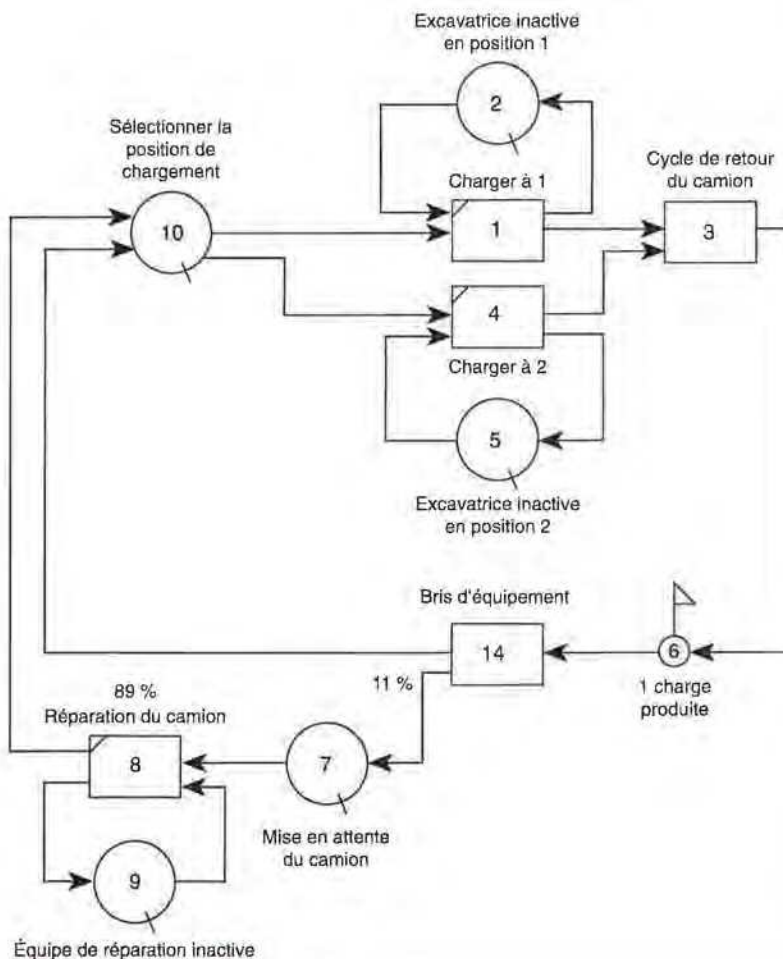


Figure 2.8 Fichier de données d'entrée du programme de simulation

```
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 8
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

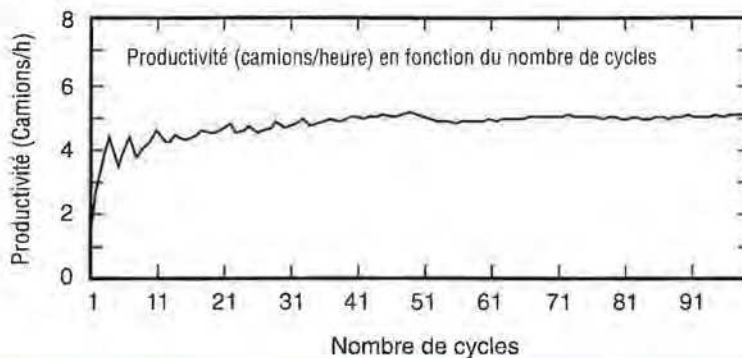
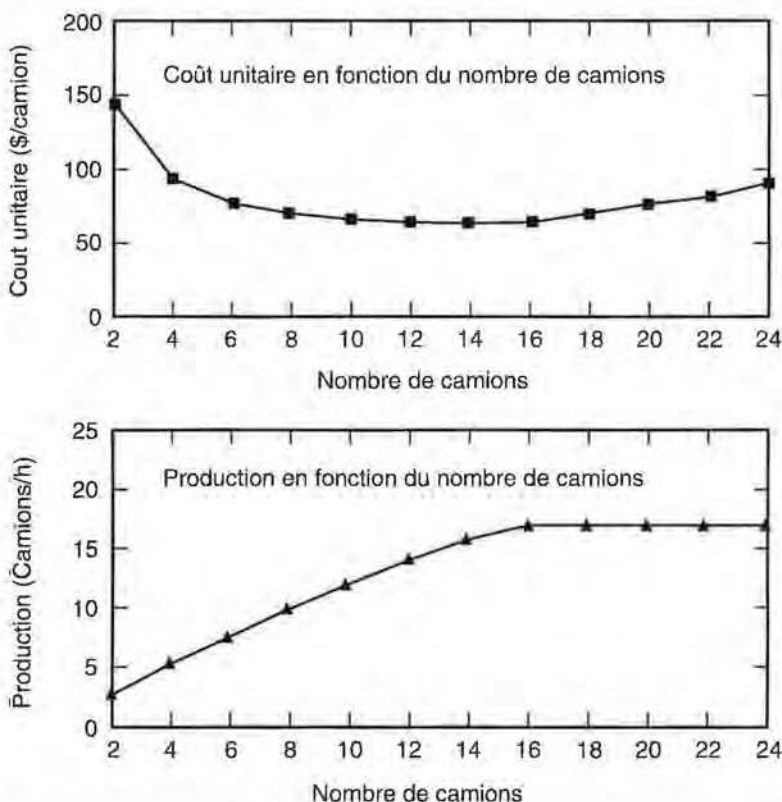


Figure 2.10 Résumé des résultats de la simulation



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'oeuvre est diversifiée. La construction est une industrie unique et nous devons la voir comme telle lorsque nous en 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'œuvre 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'œuvre 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'œuvre » et « productivité de la main-d'œuvre » sont interchangeables, 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'œuvre 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'œuvre.

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

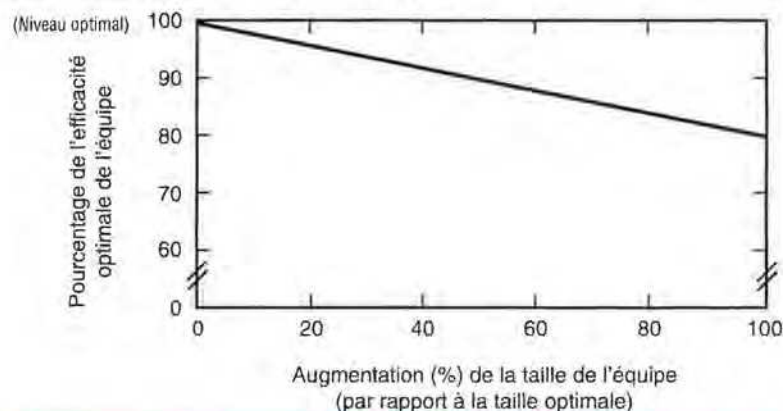
3.2.4.1 Heures supplémentaires

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

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.

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-

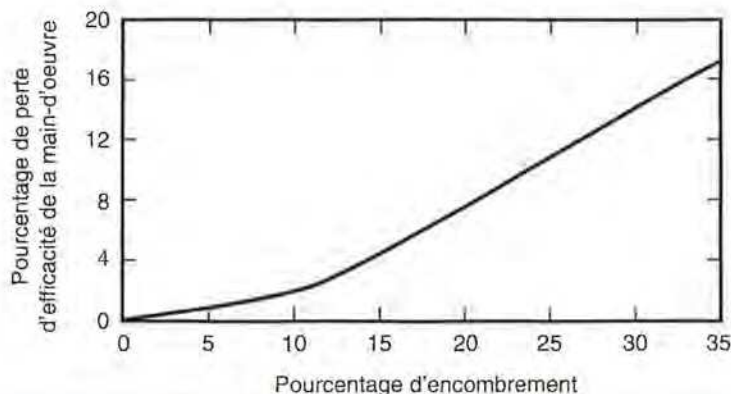
d'oeuvre est important, on peut parfois accroître le taux d'avancement des travaux en réduisant le nombre de travailleurs ou d'équipements sur le chantier. Un excédent de main-d'oeuvre nuit à la surveillance, ralentit la livraison des matériaux parce qu'on ne peut répondre simultanément à toutes les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

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

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-

ser. 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 débarrasser 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)

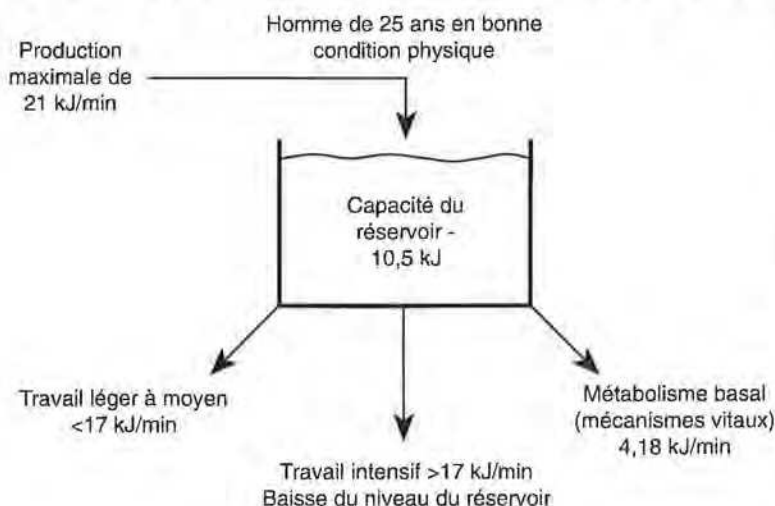
Pour prévenir l'épuisement à court terme, il faut concevoir les tâches de manière à éviter que le travailleur ait à lever de lourdes charges ou à déplacer des objets qui opposent une forte résistance. Il est préférable d'utiliser des plateaux amovibles, des supports, des étais, des gabarits, des accessoires 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)



Taux de récupération = 21 kJ/min moins 6,3 kJ/min pour repos = 14,6 kJ/min

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

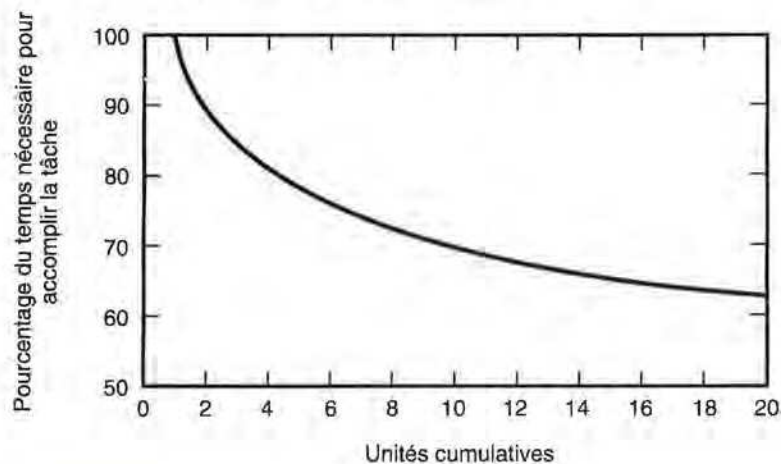
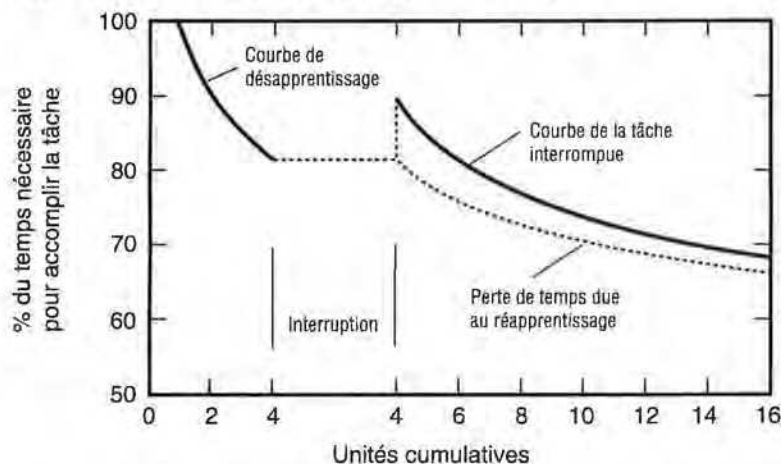


Figure 3.5 Courbe de désapprentissage



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	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

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 en vue 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 monteur 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'écarter 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'œuvre, 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'œuvre, 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	
Me				
J				
V				
S				
D				
L				
Ma				
Total				

Vérifié _____

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

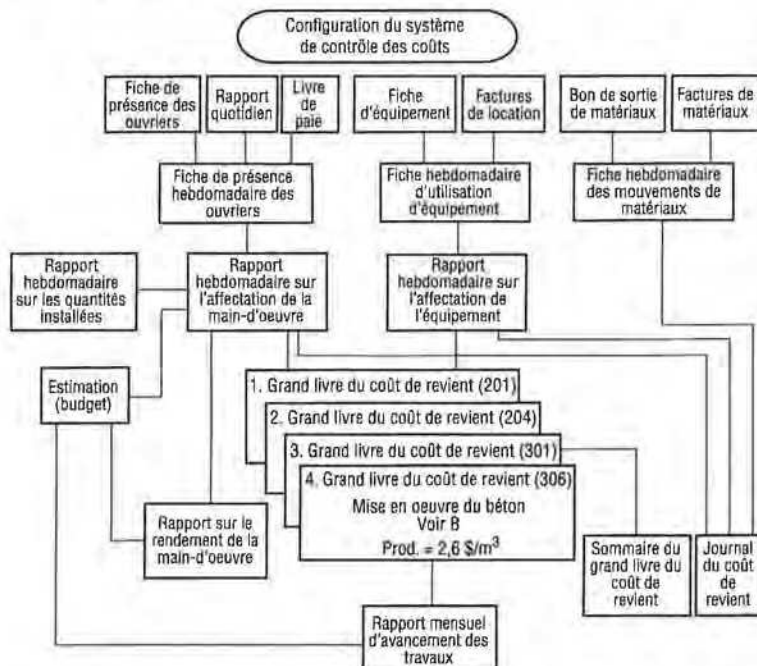
Figure 4.2 Modèle de rapport quotidien

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'œuvre, 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'œuvre 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'œuvre, 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'œuvre

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

RAPPORT HEBDOMADAIRE SUR LA MAIN-D'ŒUVRE					
Code de coût	Heures normales	Heures supplémentaires	Taux normal	Taux majoré (heures supplémentaires)	Total
301	20	10	14	21	490
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				
N° équip.	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 t	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 ³		
304		m ³		

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 (m³). 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 m³, soit 2,65 \$ par m³, et à 102 heures-personnes/1000 m³, soit 0,10 heures-personnes par m³. 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	Équipement	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		2 237
		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 = $\frac{\text{heures-personnes}}{\text{quantité}}$

= $0,1 \text{ h-p/m}^3$

= $\frac{\text{Coût total en \$}}{\text{quantité}}$

= $2,65 \text{ \$/m}^3$

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

Tiré des rapports sur les quantités installées
Dans l'exemple : 1 000 m³

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	Sommaire de chaque compte de coûts figurant aux grands livres du coût de revient						
304							
	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'oeuvre

Code de coût	Description	Quantités			Coût par unité			Écart		Coût total		Achèvement des travaux en %	
		Pér.	Cum.	Est.	Pér.	Cum.	Est.	Période	Cum.	Prévu	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'affectation de la main-d'oeuvre

Tiré des estimations

$(0,2 - 0,3) \times 300 = 30$

$(0,25 - 0,30) \times 600 = 30$

$0,25 \times 3300 = 825$

$600/3300 = 18,2\%$

$0,25 \times 600$
 $0,3 \times 3300 = 15,2\%$

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	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Coffrages	3.03100	680	37,100	82,000	620	34,000	m ²	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

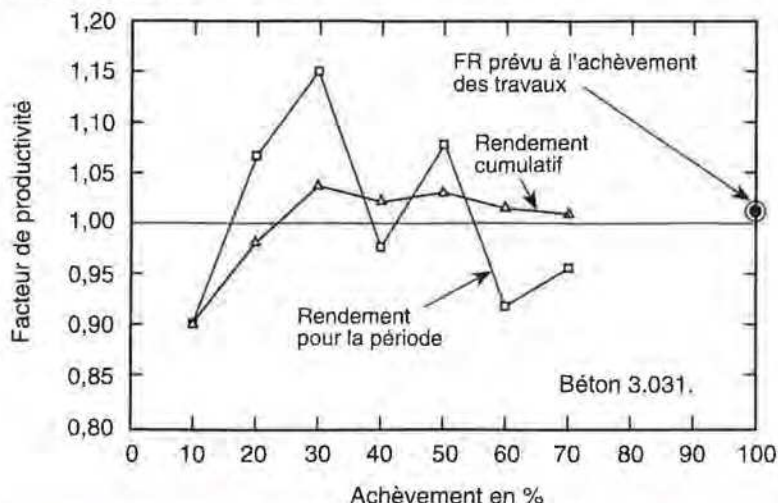
Des deux méthodes utilisées pour mesurer la productivité en chantier, la plus répandue fait appel à des facteurs de rendement (FR) qui peuvent être établis à partir des données produites par le système d'établissement du coût de revient et la mesure de la valeur comptabilisée. Par définition,

FR = H-p comptabilisées/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.

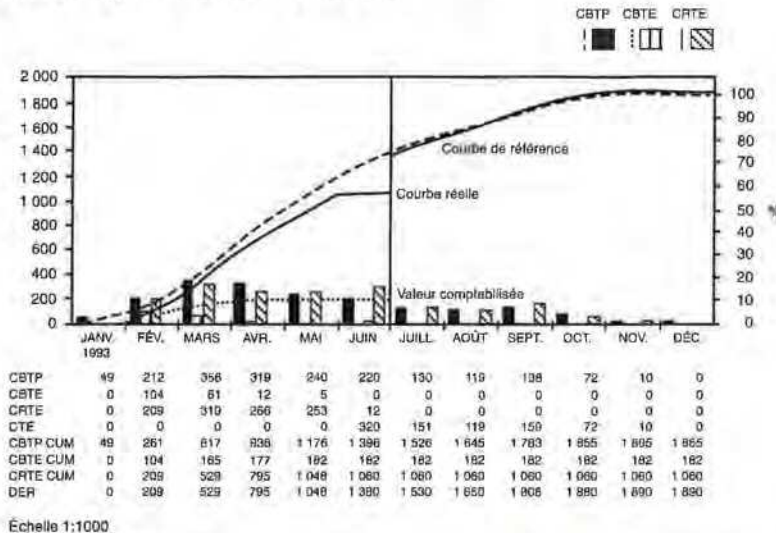
Pour illustrer l'applicabilité d'un progiciel commercial au cas qui nous occupe, on présente à la figure 4.15 un rapport produit par le logiciel PARADE (un produit Primavera Systems Inc.), qui représente sous forme graphique l'avancement d'un projet qui comprend un certain nombre de lots techniques. 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 $ÉA = CBTE - CBTP$, ainsi que l'écart de coût (ÉC), donné par la formule $ÉC = CBTE - CRTE$, 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.

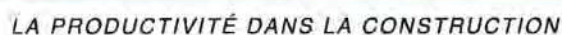
Enfin, les rapports peuvent être établis par tâche, par lot de travaux ou pour l'ensemble du projet. Ils permettent au gestionnaire de repérer les points névralgiques du projet. À titre d'exemple, on présente un rapport pour le lot technique 1.1 du projet (composé de quatre grands lots contenant chacun 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.

Parade (R) Primavera Systems, Inc.						Rapport sur le rendement des coûts - Ventilation des coûts du projet						Date du rapport :		
Titre : Évaluation de la productivité d'un projet						Début de la période:			Fin de la période			Période de référence: 2		
Poste	Période en cours					Total cumulatif à ce jour					Rendement à l'achèvement des travaux			
	Coût budgété		Coût réel des travaux exécutés	Écart		Coût budgété		Coût réel des travaux exécutés	Écart		Budgeté	Dernière estimation révisée	Écart	
	Travaux prévus	Travaux exécutés		Avance-ment	Coût	Travaux prévus	Travaux exécutés		Avance-ment	Coût				
VCP Niveau 1														
Exemple de projet (PARADE) 1	1 140,3	182,0	1 059,5	-958,3	-877,5	1 189,0	182,0	1 059,5	-1 007,0	-877,5	1 865,0	1 890,0	-25,0	
Loyer de l'argent														
Frais généraux et d'administration	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Budget non alloué											0,0	0	xxxxxxxxx	
Sous-total	1 140,3	182,0	1 059,5	-958,3	-877,5	1 189,0	182,0	1 059,5	-1 007,0	-877,5	1 865,0	1 890,0	-25,0	
Réserves facultatives											0,0	0,0	0,0	
Total	1 140,3	182,0	1 059,5	-958,3	-877,5	1 189,0	182,0	1 059,5	-1 007,0	-877,5	1 865,0	1 890,0	-25,0	

(Écritures en milliers)

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



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'œuvre. 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 tableaux.

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

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 transparaît immédiatement sur les lieux d'utilisation. Il est nettement plus difficile de se rendre compte de la piètre qualité des études techniques.

Figure 5.2 Liens contractuels et documents clés



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.

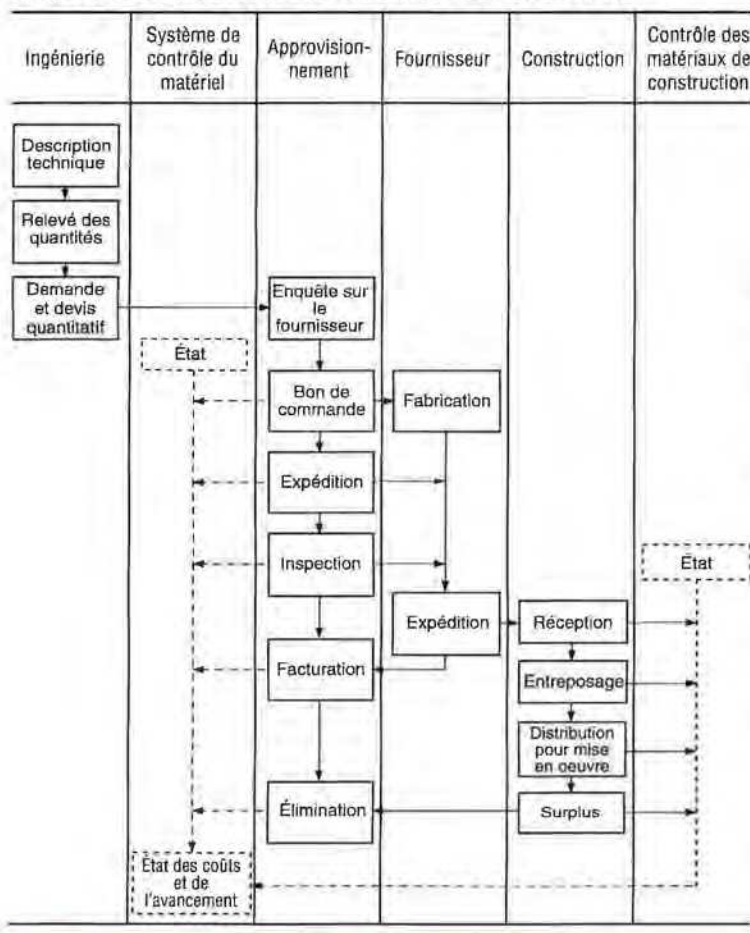
Bien que tous les principaux services participent à la gestion du matériel, les plus importants sont les services de génie, d'approvisionnement et de construction. Il revient habituellement au service de génie de déterminer les besoins du projet, les caractéristiques techniques des produits et les quantités. 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 5.3 Gestion du matériel de chantier



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 œuvre 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 œuvre 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'œuvre 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.

Figure 5.4 Modèle de calendrier d'approvisionnement sommaire

Légende			Modèle de calendrier d'approvisionnement sommaire																																		
1	Fiches techniques définitives	7	Données préliminaires du fournisseur																																		
2	Emission des demandes de prix	8	Données certifiées																																		
3	Réception des soumissions	9	Date de livraison en chantier																																		
4	Compilation des soumissions terminée	10	Date de livraison du fournisseur																																		
5	Demande d'acquisition émise par l'ingénierie																																				
6	Emission des bons de commande																																				
Société XYZ																																					
Projet de réorganisation																																					
Entrepreneur																																					
Calendrier																																					
d'approvisionnement de																																					
l'équipement mécanique																																					
État au 90.08.20																																					
Semaine commençant le lundi			Juin			Juillet			Août			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre			Date de livraison prévue	Date promise par vendeur	Date de livraison demandée	Soumissions (SR = Soumission reçue) (PS = Pas de soumission) (SA = Soumission acceptée)										
Semaine n° :			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
P-3306A/B M.F.O.H. Pompes à liquides Lit fluidisé			P																																		Nouvelle turbine
X-632 SGB Dispositif de préchauffage à la vapeur Lit fluidisé			P					2				3	4	5	6		7		8								10								14 sem.		Atelier (vérification des dimensions et des corrections)
V-687 & V-686 Réacteur et filtre à l'argile Jet A Merox (fournir le matériel)			P					2				3	4	5	6											10								12 sem.			
V-659/660/666/667/672 Divers travaux sur chaudières Jet A Merox (fournir le matériel)			P							1		2	3			4	5	6							10								6 sem.				
Ejecteur de catalyseur et d'acide acétique Jet A Merox			P																																	En attente	
B.S.-1/2/3/4/5/6/7/8 Crapaudines Jet A Merox			P						1			2	3			4	5	6							10								8 sem.				
Barils suppl. de catalyseur et d'acide acétique Jet A Merox			P																																	En attente	
P-262 Pompes à condensats Jet A Merox			P				1		2			2		3	4	5	6	7			8					10						10		12 sem.		Nouveau	
P-266 Pompes à soude caustique Jet A Merox			P				1		2			2		3	4	5	6	7			8					10						10 sem.					
			P					1				2		3	4	5	6	7			8					10											

Dans les cas extrêmes, les exigences d'entreposage et la multiplication des opérations de manutention peuvent faire monter les coûts et diminuer la productivité. Il n'est toutefois pas réaliste de croire que chaque matériau sera livré juste à temps. Il faudra prévoir une certaine quantité de réserves, le type de matériau et la complexité des travaux. La plupart des contremaîtres veulent avoir l'assurance qu'ils disposeront de tous les matériaux dont ils auront besoin afin de ne pas avoir à réaffecter leurs équipes à cause des ruptures de stock.

Un compromis entre ces deux méthodes est nécessaire. Les stocks de réserve garantissent souvent l'exécution ininterrompue des tâches. Cependant, plus les quantités stockées en chantier sont importantes, plus les activités de manutention se multiplient.

5.3.6 Approvisionnement

L'approvisionnement consiste à se procurer les matériaux, l'équipement, les fournitures, la main-d'œuvre et les services nécessaires pour mener à bien un projet de construction. L'achat s'accompagne d'autres activités, comme le suivi et l'expédition, le routage et le transport, l'inspection et la réception, la manutention des produits, le stockage et l'élimination des surplus. L'approvisionnement vise trois types d'éléments : les matériaux, la main-d'œuvre et la sous-traitance.

Afin d'acquérir les matériaux au moindre coût, on doit tenir compte de quatre catégories de coûts (Barrie et Paulson, 1992), qui s'appliquent aussi dans une certaine mesure à la main-d'œuvre et à la sous-traitance :

l'achat, l'expédition, l'entreposage et les ruptures de stock. Pour réduire au minimum les coûts, il faut faire un choix parmi ces catégories. Dans cette optique, l'optimisation de la productivité est proportionnelle à la réduction des coûts totaux.

Dans les grands projets de construction, on établit habituellement un calendrier des travaux confiés en sous-traitance et un calendrier d'approvisionnement pour les principales pièces d'équipement. La figure 5.4, par exemple, reproduit une partie du calendrier d'un projet de modification d'une raffinerie. Le plan d'acquisition des équipements indique les dates d'achèvement des principales étapes, comme la présentation de la demande de prix, des bons de commande, des dessins à l'intention des fournisseurs et des demandes de soumission, ainsi que de l'octroi des contrats et de la livraison.

5.3.7 Manutention du matériel

Une bonne partie du travail en chantier est consacrée à la manutention du matériel. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les études menées en Ontario (O'Brien, 1989) ont indiqué que 20 p. 100 du travail global consistaient en des activités de manutention jusqu'à ce que l'on concerte les efforts pour ramener ce taux à 12 p. 100. La réduction des opérations de manutention est la clé de l'amélioration de la productivité et de la sécurité.

La manutention peut être subdivisée en cinq activités distinctes :

- la conteneurisation et l'emballage ;
- le transport vers le chantier ;
- le déchargement et l'entreposage ;

- 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'œuvre 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'œuvre 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

plusieurs 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 œuvre 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 perdaient 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 œuvre 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.

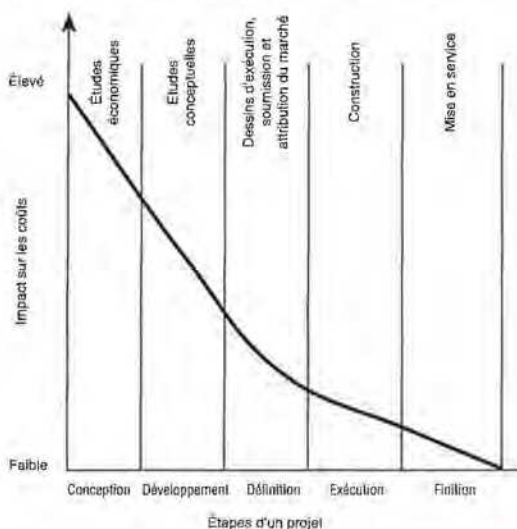
L'espace est un bien précieux sur un chantier de construction, car le même espace peut être convoité par plusieurs corps de métiers. Au fil de l'avancement des travaux, des décisions importantes sont prises concernant l'espace, les voies de sortie et d'accès, et toutes influent sur la productivité. Ainsi, 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

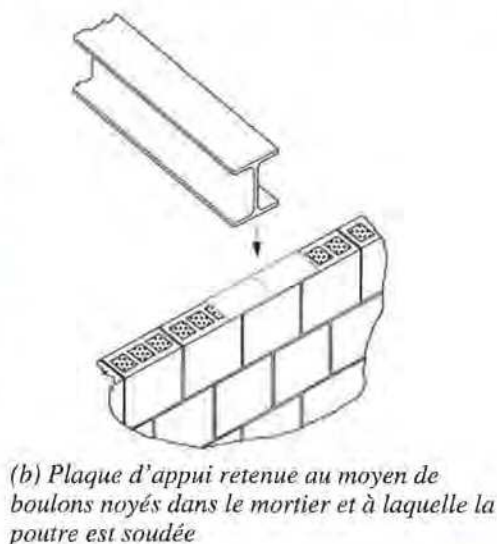
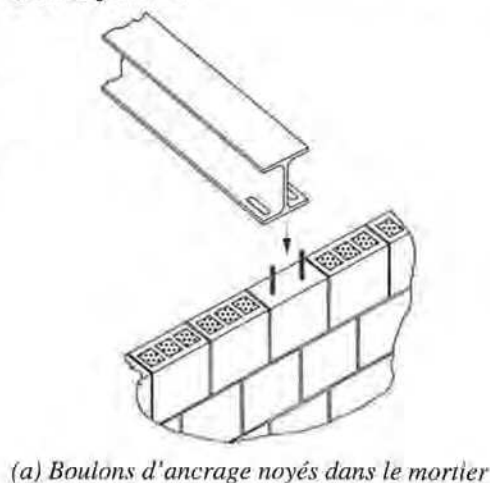


Pour qu'un projet soit vraiment rentable, tous les intéressés, y compris le maître d'ouvrage et l'entrepreneur, qui possèdent l'expérience et les connaissances doivent apporter leur contribution dès le coup d'envoi et maintenir leur participation par la suite. La figure 5.5 montre que les décisions prises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



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'œuvre.

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.

Barrie, D.S. et B.C. Paulson, 1992. *Professional Construction Management*. 3^e 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.

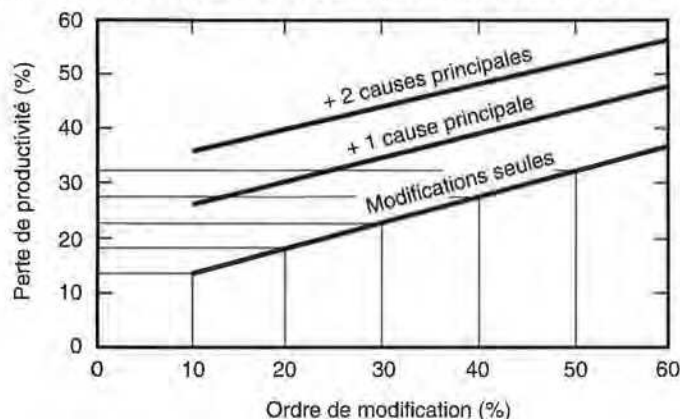
Leonard, C.A., O. Moselhi, et P. Fazio, 1991. « Impact of Change Orders on Construction Productivity ». *Revue canadienne de génie civil* 18 (3).

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

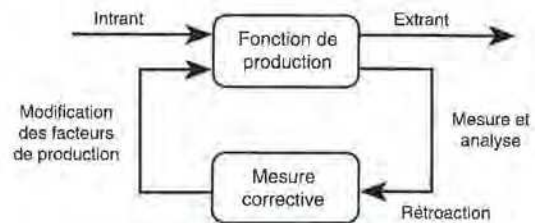
Il est important d'établir une distinction entre les facteurs de macroproductivité et de microproductivité lorsqu'on analyse les relations de cause à effet en vue de prendre des mesures correctives. Les premiers, qui influent sur l'efficacité du processus de construction, sont ceux qui donnent davantage 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 : vrombissement 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 conception 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.