



Gerald McEniry

L'effet cumulatif des ordres de modification sur la productivité de la main-d'œuvre – examen rétrospectif de l'étude de Leonard

Gerald McEniry, ing., M.A.Sc., M.ing.
Revay et Associés limitée – Montréal

Introduction

Voilà près de 20 ans, nous avons publié un numéro du *Bulletin Revay* intitulé *L'effet des ordres de modification sur la productivité*¹. Charles Leonard, qui travaillait alors comme consultant pour notre entreprise et rédigeait sa thèse de maîtrise en gestion de construction à l'Université Concordia de Montréal^{2,3}, en avait signé l'article de fond.

Au cours des années qui suivirent, l'étude de Leonard a suscité beaucoup d'intérêt et de controverse chez les entrepreneurs et les propriétaires appelés à régler des conflits de construction. Une recherche sur Internet permet de repérer une multitude de références à l'étude de Leonard, soit lors de conférences, de publications industrielles et de comptes rendus de recherche. Revay et Associés limitée est heureuse d'avoir assisté à la naissance d'une recherche aussi importante et nous continuons de suivre l'évolution de ce dossier.

Également, vous vous rappellerez probablement la publication en septembre 2002 d'un numéro du *Bulletin Revay*⁴ intitulé *Gestion des modifications et des suppléments*, qui passait en revue diverses critiques de l'étude de Leonard ainsi que d'autres importantes recherches sur le sujet, dont celle d'Ibbs et Allen parue en 1995 sous les auspices du *Construction Industry Institute*⁵ et celle de Hanna et ses collaborateurs parue en 1999^{6,7}.

En novembre 2005, Ibbs a étoffé son étude de 1995 en publiant les résultats d'une nouvelle recherche plus approfondie⁸, qui modifie sensiblement les conclusions de son analyse initiale et qui, selon nous, ravive la pertinence des travaux effectués par Leonard à l'époque. Dans sa nouvelle étude, Ibbs aborde la question du moment où surviennent les modifications, un autre facteur déterminant dans l'évaluation de l'effet cumulatif des modifications apportées à un projet. Toujours soucieux de tenir nos clients informés des plus récentes recherches, nous avons jugé opportun de

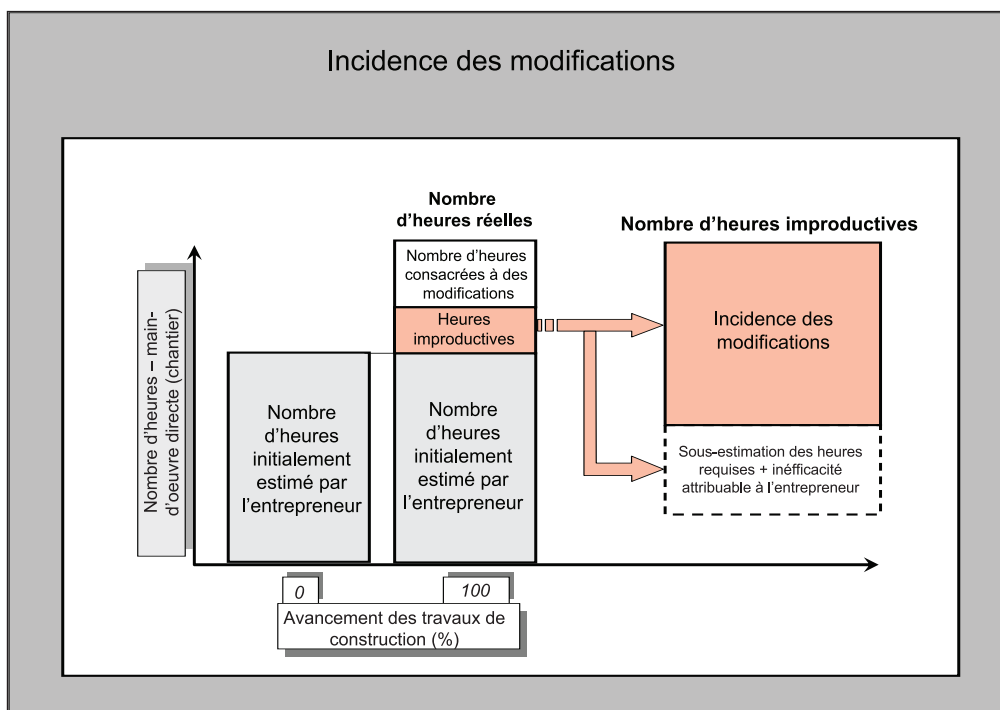


Figure 1 – Incidence des modifications – adaptation des études de Hanna (1999)

faire une revue des discussions récentes sur l'impact des modifications sur la productivité de la main-d'oeuvre et, par la même occasion, de faire un examen rétrospectif de l'étude de Leonard.

L'étude Leonard (1988)

En 1988, l'étude de Leonard constituait une tentative novatrice pour évaluer l'effet cumulatif de modifications nombreuses sur la productivité de la main-d'oeuvre dans le secteur de la construction. L'étude examinait 90 conflits liés à 57 différents projets de construction d'immeubles commerciaux, institutionnels et industriels évalués par notre entreprise.

Leonard définissait l'effet cumulatif des ordres de modification dans les termes suivants :

« Il a été constaté qu'en général, les retards et les interruptions découlant des ordres de modification détérioraient progressivement la planification et l'ordonnancement des travaux de l'entrepreneur. Des séquences ordonnées d'opérations sont ainsi subdivisées en plusieurs activités parfois isolées et exécutées en plusieurs étapes sur une longue période. »

(notre traduction)

L'impact des modifications se manifeste par des problèmes de productivité résultant de plusieurs facteurs : rééchelonnement des travaux, chevauchement des équipes, surtemps, problèmes d'approvisionnement

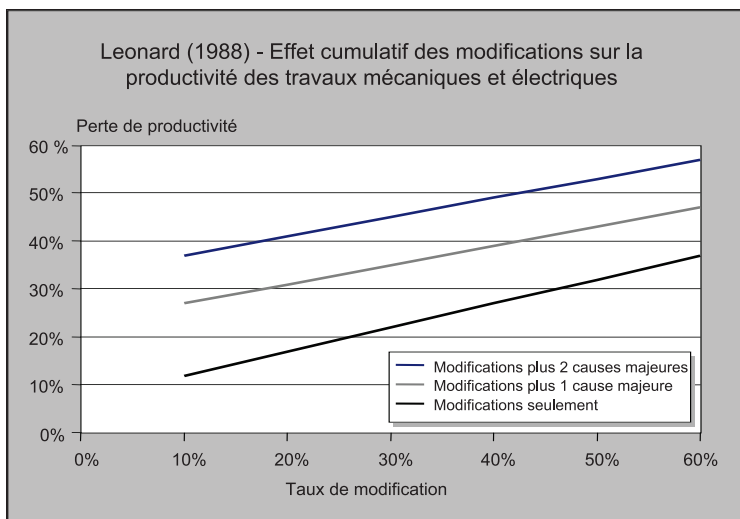


Figure 2 – Incidence des ordres de modification sur les travaux mécaniques et électriques, selon l'étude Leonard (1988)

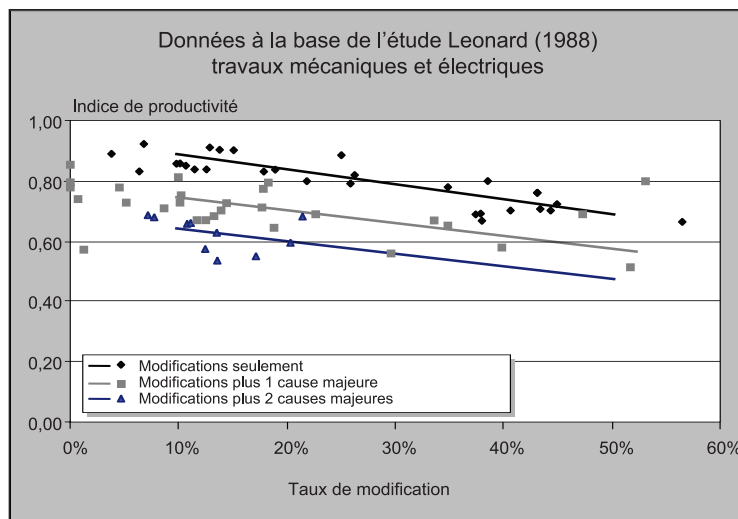


Figure 3 – Données brutes et courbes de régression relatives aux travaux mécaniques et électriques, selon l'étude Leonard (1988)

en matériaux, conditions météorologiques inopportunes, problèmes de main-d'œuvre, baisse du moral, travaux par équipes et compression des calendriers d'exécution (accélération des travaux).

Les résultats de l'étude de Leonard sont souvent représentés par deux graphiques, le premier illustrant les travaux civils et architecturaux et le deuxième les travaux mécaniques et électriques. La Figure 2 représente uniquement le deuxième graphique.

Il importe de comprendre que dans son étude Leonard a mesuré le « taux de modification » (représenté par l'axe des x) comme étant le total des heures consacrées à des modifications divisé par les heures « réelles » consacrées aux travaux du contrat initial (c.-à-d. sans modifications). Les heures réelles consacrées aux travaux du contrat initial n'étaient pas les heures estimées, mais plutôt le total des heures réellement effectuées moins les heures consacrées à des modifications ainsi que les heures imputables à des lacunes de l'entrepreneur. Les heures réelles tenaient ainsi compte implicitement de l'incidence des ordres de modification sur les travaux prévus au contrat initial (c.-à-d. sans modifications), comme l'illustre la Figure 1.

Dans la mesure du possible, Leonard calculait la perte de productivité à l'aide d'une méthode de calcul différentiel dite « méthode de la période étalon ». Il établissait d'abord les heures « normales » des travaux, puis se basait sur celles-ci pour calculer les heures perdues – ou improductives. Lorsqu'il s'avérait impossible de déterminer les heures normales, il se basait sur les « heures acquises » (équivalent des heures normales) pour calculer les heures perdues. Lorsque l'estimation de l'entrepreneur était jugée raisonnable, les heures estimées (budgétisées) étaient alors considérées correspondre aux heures acquises. Lorsque l'estimation de l'entrepreneur n'était pas jugée

raisonnable, les heures acquises étaient obtenues suivant les heures estimées ajustées en référence à d'autres soumissions.

Leonard établissait ensuite l'indice de productivité (IP), soit le ratio heures acquises /heures réelles. La perte de productivité (PP) était calculée comme suit :

$$PP = (1 - IP) \times 100 \%$$

La perte de productivité correspondait aussi au rapport entre les heures de travail improductives et les heures de travail réellement consacrées à l'exécution du contrat initial (c.-à-d. sans modifications). La perte de productivité et l'indice de productivité figuraient sur l'axe des y.

Envisageons à titre d'exemple un projet dont les heures normales ou les heures acquises auraient été établies à 10 000 heures, mais qui dans les faits aurait nécessité 20 000 heures de travaux, dont 6 000 heures de travaux exécutés et payés suite à des ordres de modification. Supposons simplement qu'aucune heure inefficace ne puisse être imputée directement et spécifiquement à des lacunes de l'entrepreneur, on obtiendrait, en soustrayant les heures attribuables à des ordres de modification, un total de 14 000 heures réellement consacrées à l'exécution du contrat de base (incluant toute perte de productivité imputable aux modifications). Le « taux de modification » serait de 43 % (soit 6 000 heures de modifications + 14 000 heures effectivement consacrées au contrat de base). L'indice de productivité serait de 0,71 (soit 10 000 heures acquises + 14 000 heures réelles) et la perte de productivité de 29 %. Ainsi, la perte de productivité serait de 4 000 heures sur un total de 14 000 réellement exécutées sur le contrat de base.

Ainsi qu'on l'a vu précédemment, Leonard distinguait travaux civils et architecturaux, d'une part, et travaux mécaniques et électriques, d'autre part. Il

établissait de plus différents degrés d'incidence selon qu'on tienne compte des seules modifications ou qu'on y associe une ou deux causes majeures (Figure 2). Leonard considérait comme des « causes majeures » l'accélération, les travaux exécutés hors séquence, les chevauchements d'équipes, le manque de matériaux, etc. Il appert aujourd'hui que certaines de ces « causes majeures » correspondent souvent aux incidences mêmes des modifications; il est donc souvent difficile, dans la pratique, d'identifier un niveau d'impact approprié.

La Figure 3 illustre, un peu différemment de la Figure 2, les données brutes des travaux mécaniques et électriques ainsi que les courbes de régression connexes établies par Leonard. À noter également que la Figure 3 comporte certains points de données périphériques, dont le taux de modification est inférieur à 10 % et dont Leonard n'a pas tenu compte dans son graphique final.

Bien qu'elles diffèrent en apparence, les Figures 2 et 3 sont équivalentes étant donné le lien entre la perte de productivité et l'indice de productivité mentionné plus haut :

$$PP = (1 - IP) \times 100 \%, \\ \text{où } IP = \text{heures acquises} + \text{heures réelles}.$$

La plupart des chercheurs utilisent l'indice de productivité de la construction comme indicateur des pertes de productivité et nous poursuivrons avec cette forme de présentation graphique.

Après avoir procédé à cette différenciation par causes majeures, Leonard observait une bonne corrélation entre le taux de modification et la perte de productivité. Cependant, cette représentation à trois courbes sensiblement différentes a été écartée par la plupart des autres chercheurs, qui ont préféré regrouper toutes les données et tenté d'en expliquer la dispersion comme le résultat d'autres facteurs.

Critiques de l'étude Leonard (1988)

Au fil des années, les graphiques de Leonard ont fait l'objet de nombreuses discussions et critiques. Bien que la plupart soient d'accord avec la conclusion générale de Leonard, selon laquelle un nombre élevé de modifications influe sur la productivité, de sérieuses objections ont été soulevées quant aux données utilisées pour quantifier les pertes de productivité. La critique la plus courante tient au fait que la recherche portait sur des projets ayant atteint le stade du conflit, pouvant donner lieu à une distorsion en faveur des projets ayant subi d'importantes pertes de productivité. D'autres soutiennent que l'envergure des projets étudiés était trop limitée et leur nombre insuffisant pour qu'on puisse extrapoler les résultats de l'étude et les appliquer à l'ensemble de l'industrie^{6,7}.

Certains soutiennent par ailleurs que l'étude de Leonard ne permet pas de prédire les pertes de productivité lorsque les heures consacrées à des modifications sont inférieures à 10 % des heures prévues par le contrat initial, qu'elle ne tient pas compte du moment où surviennent les modifications^{6, 7}, que d'autres facteurs tels que les conditions météorologiques, les conditions de travail et les exigences réglementaires sont propres à l'industrie canadienne et qu'elles ne sont pas nécessairement représentatives de l'industrie américaine⁸.

Dans un article publié en septembre 2006⁹, Harmon et Cole se sont dissociés de certaines de ces critiques. Ils ont par ailleurs observé qu'aucune décision judiciaire, tant aux États-Unis qu'au Canada, ne reconnaît la valeur prédictive de la méthode de Leonard en ce qui a trait aux pertes de productivité cumulatives. Cet article fait référence à un avis relatif à une décision du *Board of Contract Appeals* (appels de J.A. Jones Const. Co)¹⁰ qui rejetait la méthode de Leonard comme inapplicable à des projets de génie civil lourds. On y soutenait que le présumé expert appelé à témoigner sur l'étude de Leonard ne semblait pas en connaître les détails ni les limites, ce qui a ultimement mené à son abandon.

Nous avons noté au fil des ans que l'étude de Leonard a également été mal comprise et utilisée par des entrepreneurs séduits par la simplicité de ses graphiques mais peu familiers des détails de la méthode et des limites de son utilisation. Ainsi, certains d'entre eux :

- négligent d'utiliser la méthode différentielle (période éton) alors qu'il aurait été possible de le faire, contrairement à la recommandation de Leonard²; plutôt que de faire l'analyse du projet spécifique, ils s'en tiennent simplement à l'étude Leonard;
- considèrent tous les dépassements d'heures comme l'incidence de modifications attribuables

au propriétaire, et ce sans faire aucun ajustement pour tenir compte d'autres facteurs tels que l'erreur d'estimation ou l'inefficacité de l'entrepreneur;

- interprètent erronément le « taux de modification », qu'ils calculent comme :
- étant fonction de la valeur monétaire des modifications plutôt que du nombre d'heures requis pour l'exécuter;
- faisant partie des heures estimées plutôt que des heures réelles;
- omettent de démontrer le lien de causalité entre l'improductivité invoquée et les modifications (voir p. ex. Long 2005¹¹, Ibbs 2007¹²), élément pourtant essentiel de la démonstration du bien-fondé. Des facteurs indépendants des modifications demandées par le propriétaire – tel que météo, conditions d'exécution, problèmes syndicaux, retards – peuvent être la véritable cause de la perte de productivité du projet de construction.

Telles applications en dérogation des prescriptions de la méthode Leonard persistent, et contribuent certes à alimenter les critiques des propriétaires à l'endroit de l'étude Leonard (1988).

La vraie cause des pertes de productivité est souvent une source de conflits entre propriétaires, entrepreneurs et sous-traitants. Il est fréquent que le propriétaire allègue une soumission erronée ou la piètre gestion de l'entrepreneur, et qu'il refuse de compenser les pertes de productivité attribuables aux modifications.

L'étude Ibbs et Allen / *Construction Industry Institute* (1995)

En 1995, Ibbs et Allen ont analysé sous les auspices de la *Construction Industry Institute* quelque 104 projets de 35 entreprises différentes (15 entrepreneurs et 20 propriétaires). Le corpus de l'étude était extrêmement diversifié : projets faisant et ne faisant pas l'objet de différends, projets nationaux et internationaux, projets industriels et commerciaux, travaux civils lourds et projets visés par différents modes de réalisation. Les projets en question étaient en général de grande envergure, leur valeur médiane se chiffrant à 44 millions \$.

Ibbs et Allen ont publié la Figure 4, qui illustre la relation entre l'indice de productivité des projets de construction et les modifications connexes.

Contrairement à Leonard, Ibbs et Allen ne faisaient pas de distinction entre les points de données en fonction du type de projet (architectural / civil ou électrique / mécanique) ou des causes majeures. On peut se demander si le type de projet ou d'autres causes pourraient expliquer en partie la dispersion des points de données de la Figure 4.

L'étude Ibbs et Allen (1995) présentait une estimation des pertes de productivité sensiblement plus optimiste, ou moins accentuée, que celle de Leonard. Par exemple :

- Leonard exclut les taux de modification inférieurs à 10 % alors que, pour Ibbs et Allen, la productivité d'un projet connaissant de tels taux de modification pourrait en fait être meilleure que prévu;
- pour un taux de modification de 50 %, le graphique de Leonard pour les travaux civils et architecturaux indiquerait une perte de productivité minimale avoisinant les 25 % (modifications seulement) et les 32 % pour les travaux mécaniques et électriques. Celui d'Ibbs et Allen indique plutôt une perte de productivité de seulement 15 % sans égard au type de projet.

Pendant plusieurs années, l'étude Ibbs et Allen (1995) a jeté de sérieux doutes quant à l'application des graphiques de Leonard à d'autres projets que ceux étudiés par ce dernier.

Cela dit, il importe de noter qu'il peut y avoir une différence notable entre le mode de mesure du « taux de modification » utilisé dans l'étude Ibbs et Allen (1995), d'une part, et dans l'étude Leonard (1988), d'autre part. Le document d'Ibbs et Allen précise ce qui suit :

« Le « taux de modification » se définit comme le nombre d'heures de travail consacrées à des modifications autorisées survenant pendant la phase de construction divisé par le nombre total d'heures consacrées à la construction. »

(notre traduction)

On abordera ultérieurement l'importance de la différence entre ces deux façons de calculer le taux de modification. Contrairement à Leonard, Ibbs n'indique pas que le dénominateur exclut en l'occurrence les heures consacrées à des modifications, même s'il aurait été logique qu'il le fasse. Il semble également incertain qu'Ibbs et Allen aient prévu une quelconque forme d'ajustement pour tenir compte des lacunes de l'entrepreneur.

Les critiques de l'étude Ibbs et Allen (1995) ont trait à la dispersion des données et à la faible corrélation qui en découle entre l'indice de productivité et le « taux de modification », comme l'illustre la Figure 4^{6, 7}; ainsi que sur le constat que les graphiques sont « trop généraux » pour qu'on puisse les utiliser en toutes circonstances en vue de déterminer avec précision le coût afférent à chacune des modifications » (page 12 de l'étude)⁵.

À ce jour, cette étude n'a pas été soumise ni discutée dans des décisions arbitrales ou dans la jurisprudence aux États-Unis⁹.

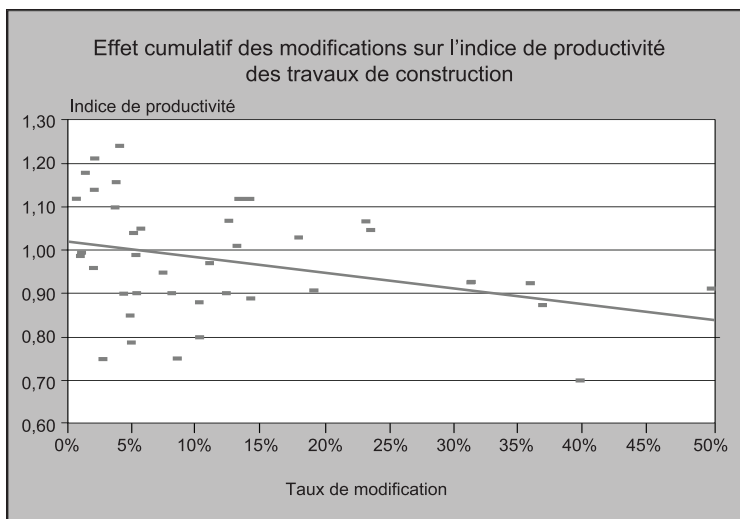


Figure 4 – Résultats de l'étude Ibbs et Allen / CII (1995)

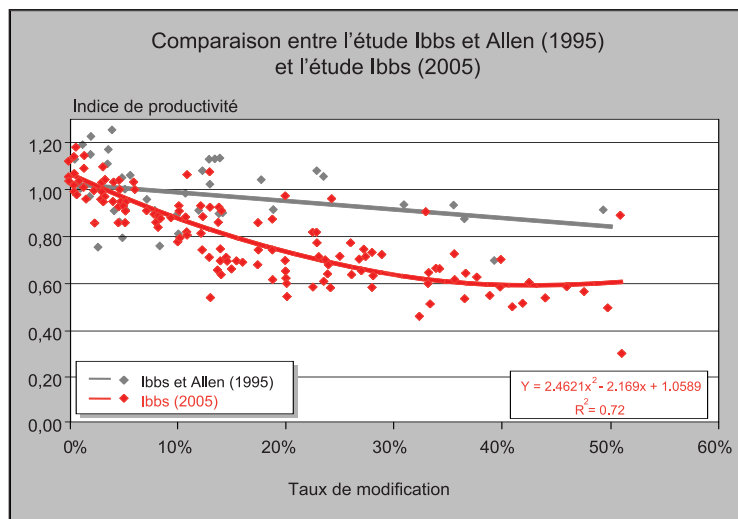


Figure 5 – Comparaison des données et des courbes, entre l'étude Ibbs et Allen (1995) et l'étude Ibbs (2005)

Les études Hanna (1999)

En 1999, Hanna a publié deux études traitant de l'incidence des ordres de modification sur la productivité. La première portait sur la construction mécanique⁶ et la seconde sur la construction électrique⁷. Les analyses étaient basées sur des renseignements recueillis auprès d'entrepreneurs en mécanique et en électricité dans le cadre de 61 projets. La valeur des projets mécaniques variait de 61 000 à 13 600 000 \$. Les travaux électriques étaient quant à eux évalués en heures, leur nombre se situant entre 1 100 et 106 000 heures.

Ces études ont conclu que le taux de modification, calculé comme étant le total des heures consacrées à des modifications divisé par le nombre d'heures estimé du contrat de base, était plus important que le taux de modification établi par Leonard (nombre d'heures consacrées à des modifications divisé par le nombre d'heures réellement consacrées à l'exécution du contrat de base). De plus, le calcul des pertes de productivité était fondé sur une formule empirique à variables multiples tenant compte des facteurs additionnels suivants :

Pour la construction mécanique :

IMPACT = classement selon l'impact de la modification (évaluation subjective)

CHGEST = nombre d'heures de modification / nombre d'heures estimé pour le contrat de base

NUMCHG = nombre total de modifications

WTIMING = facteur « moment », pondéré pour tenir compte du moment où surviennent les ordres de modification.

Pour la construction électrique :

le nombre d'années d'expérience du directeur de projet;

les ordres de modification estimés en pourcentage de l'évaluation initiale (exprimés en unités logarithmiques); et

les ordres de modification estimés en unités logarithmiques.

Comme Hanna a employé une méthode différente pour calculer le taux de modification et qu'il a fait intervenir de nombreuses autres variables dans ses calculs, il est difficile de comparer le résultat de son étude à ceux de Leonard, du moins sous forme graphique.

Les critiques des études de Hanna concernent notamment la fiabilité implicite des estimations du nombre d'heures du projet et du nombre d'heures des modifications⁹. Il semble que le nombre d'heures réel des travaux de modification utilisé dans cette étude n'a pas été observé et consigné mais qu'il a plutôt été estimé. De plus, la fonction proposée est particulièrement complexe (voir la formule dans ses articles) vu le nombre de variables à calculer (quatre variables indépendantes pour les travaux électriques et dix pour les travaux mécaniques). Il est difficile de saisir pourquoi les variables doivent différer d'un corps de métier à l'autre. Il apparaît également que certaines variables donnent des résultats qui vont à l'encontre de notre intuition. Ainsi, il semble que les pertes de productivité seraient moindres s'il y avait surplus d'effectif ou encore si le directeur de projet consacrait plus de temps au projet. Le classement des impacts, seule variable commune aux travaux électriques et mécaniques, est considéré comme subjectif⁸.

Un point intéressant, l'étude sur la construction mécanique conclue à l'importance du moment où surviennent les modifications (c.-à-d. que l'effet des modifications sur la productivité varie en fonction du moment où des ordres de modification sont signifiés pendant la durée du projet). Cet élément important sera abordé plus loin de façon plus détaillée.

À noter qu'à ce jour, ces études n'ont pas été reconnues par les tribunaux judiciaires ou administratifs aux États-Unis⁹.

L'étude Ibbs (2005)

En 2005, Ibbs a publié l'étude *Impact of Change's Timing on Labour Productivity*⁸ dont les données examinées englobaient non seulement les données plus récentes recueillies au cours des neuf dernières années, mais également les données examinées dans l'étude Ibbs et Allen (1995). L'étude portait ainsi sur un total de 162 projets faisant et ne faisant pas l'objet de conflits. Les projets de 93 organisations incluant propriétaires, entrepreneurs, directeurs de travaux et entreprises de conception se répartissent ainsi : 35 % de travaux routiers et lourds, 16 % de projets commerciaux et 49 % de projets industriels. Les projets étaient plus ou moins également répartis entre secteur public (45 %) et privé (55 %) alors que les deux tiers ont été exécutés selon le mode de réalisation traditionnel (conception/soumission/construction). La valeur des projets variait de 3,9 millions à 14,5 milliards \$.

À l'inverse de Leonard et Hanna, Ibbs n'a pas classé les projets en termes de travaux civils/architecturaux et de travaux mécaniques/électriques, jugeant la distinction superflue du fait que cette variable n'influaient pas sensiblement sur l'impact des modifications.

Il est particulièrement intéressant de noter qu'un nombre nettement plus élevé de points de données ont été collectés dans la fourchette de taux de modifications de 20 à 50 %. Les données initiales de 1995 étaient à ce point dispersées dans cette fourchette que quelques points irréguliers pouvaient affecter sensiblement l'alignement de la courbe de tendance extrapolée. La Figure 5, qui établit une comparaison entre les deux études d'Ibbs, illustre l'ampleur de l'écart entre les résultats de 1995 et ceux de 2005.

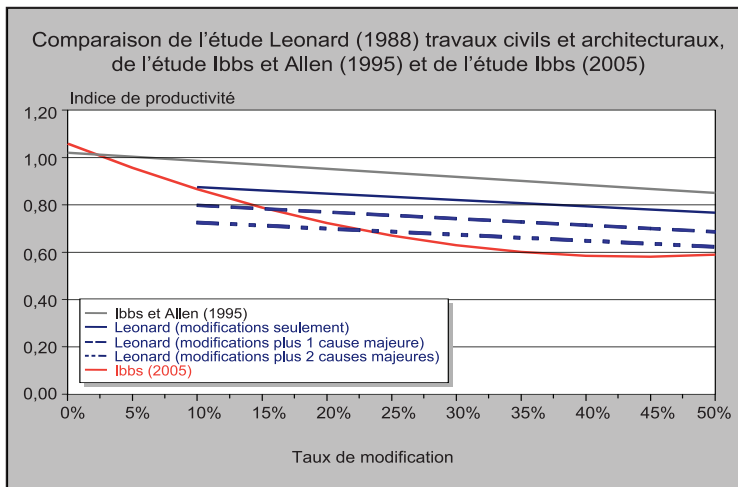


Figure 6 – Comparaison des données et des courbes, entre l'étude Leonard (1988) travaux civils et architecturaux, l'étude Ibbs et Allen (1995) et l'étude Ibbs (2005)

L'étude Ibbs (2005) attribue aux modifications un impact beaucoup plus important sur la productivité (de l'ordre de 20% ou plus) que l'étude Ibbs et Allen (1995).

Sur des projets exempts de modifications – ou un taux de modification de 0% – l'indice de productivité était d'environ 6 % supérieure aux prévisions; en d'autres mots, les travaux étaient exécutés en moins d'heures que les estimations. Sur des projets présentant un taux de modification de 3 %, l'indice de productivité était de 1,00 ce qui signifie que les travaux étaient exécutés essentiellement dans le nombre d'heures prévu aux estimations. Par contre, sur les projets connaissant un taux de modification supérieur à 3 %, la productivité était affectée négativement. Ce seuil de 3 % est important puisque de nombreux propriétaires croient que les entrepreneurs planifient et prévoient dans leurs estimations des taux allant jusqu'à 10 % de modifications, et sur cette base refusent parfois de reconnaître qu'un taux de modification inférieur à 10 % puisse avoir des répercussions négatives sur la productivité.

Selon Ibbs, la relation entre taux de modification et indice de productivité peut être représentée par une fonction polynomiale telle qu'illustré en Figure 6, laquelle montre un coefficient de corrélation de 0,72. Ibbs juge « l'adéquation » meilleure et la productivité plus prévisible à des taux de modification bas plutôt qu'à des taux élevés en raison d'un moindre écart standard.

Étant donné les différences importantes entre les données et courbes de 2005 et celles de 1995, nous étions curieux de comparer les courbes de l'étude de Leonard à la nouvelle courbe établie par Ibbs en 2005. Sur l'hypothèse de l'équivalence des taux de modification utilisés suivant l'une ou l'autre méthode, nous avons réuni dans un même graphique les résultats de Leonard et les résultats d'Ibbs, le tout tel qu'illustré dans les Figures 6 et 7. Nous avisons cependant le lecteur

que cette hypothèse exige des clarifications, ce que l'on verra plus loin.

On constate immédiatement que les indices de productivité montrés par les courbes de Leonard sont inférieurs à ceux montrés par l'étude Ibbs et Allen (1995), mais ces mêmes indices sont généralement supérieurs à ceux montrés par l'étude Ibbs (2005). Il semble en fait que les courbes de Leonard sont généralement plus modérées que celle d'Ibbs (2005). La courbe « modifications plus une cause majeure » de Leonard sur les travaux mécaniques et électriques s'approche des résultats d'Ibbs (2005) – notamment lorsque les taux de modifications se situent dans la fourchette des 20 à 50 %. Par ailleurs, la courbe « modifications seulement » de Leonard évalue moindre l'impact des modifications que le fait l'étude Ibbs (2005).

Il est intéressant de noter que, pour des taux de modification inférieurs à 15-25 %, les courbes « modifications plus une cause majeure » et « modifications plus deux causes majeures » semblent surévaluer la perte de productivité par rapport à la courbe d'Ibbs (2005). Cette particularité pourrait s'expliquer par le fait que l'analyse de Leonard se fondait exclusivement sur des projets connaissant des conflits alors que celle d'Ibbs (2005) portait sur des projets faisant et ne faisant pas l'objet de conflits. En fait, Leonard n'a pas extrapolé les résultats de sa régression linéaire en deçà de 10 %.

La comparaison entre les points de données réels utilisés par Leonard et les données utilisées par Ibbs en 2005 nous semble également digne d'intérêt (voir les Figures 8 et 9). À noter que nous avons tenu compte de toutes les données de Leonard, y compris des points correspondant à des taux de modification inférieurs à 10 % (en dehors des limites préconisées par Leonard).

Les points de données de Leonard ont été inscrits sur le graphique de Ibbs parce que nous ne disposions pas des points précis de données de Ibbs.

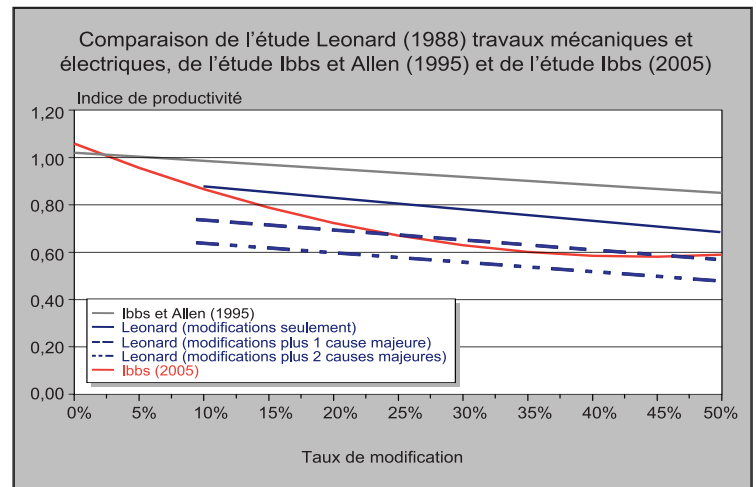


Figure 7 – Comparaison des données et des courbes, entre l'étude Leonard (1988) travaux mécaniques et électriques, l'étude Ibbs et Allen (1995) et l'étude Ibbs (2005)

Les points de données de Ibbs demeurent ainsi les mêmes dans les Figures 8 ou 9. Par ailleurs, les points de données de Leonard changent de position dans l'une et l'autre figure dépendant de la méthode utilisée pour calculer le taux de modification.

La Figure 8 compare les points de données en supposant que Leonard et Ibbs ont mesuré les taux de modification de la même façon, c.-à-d. :

$$\% \text{ modifications} = \frac{\text{heures consacrées à des modifications} + \text{heures réelles}}{\text{à l'exclusion des heures consacrées à des modifications}}$$

Cependant, comme nous l'avons déjà mentionné, il reste la question de savoir si Ibbs et Leonard ont mesuré le taux de modification de la même façon. Or il appert qu'Ibbs a mesuré ce taux différemment, c.-à-d. comme suit :

$$\% \text{ modifications} = \frac{\text{heures consacrées à des modifications} + \text{heures réelles}}{\text{(y compris les heures consacrées à des modifications)}}$$

Il nous semble que la façon dont Leonard évalue le taux de modification est intrinsèquement plus raisonnable. Reprenons l'exemple précédent d'un projet dont les heures normales ou les heures acquises auraient été établies à 10 000 heures mais qui aurait dans les faits nécessité 20 000 heures de travaux dont 6 000 heures de travaux exécutés et payés suite à des ordres de modification. Pour Leonard, le taux de modification serait de 43 % (soit 6 000 heures de modifications + 14 000 heures consacrées au contrat de base). Cependant, selon notre compréhension de la méthode d'Ibbs (2005), ce taux serait de 30 % seulement (6 000 heures de modifications + 20 000 heures consacrées au contrat de base et à l'exécution des ordres de modification).

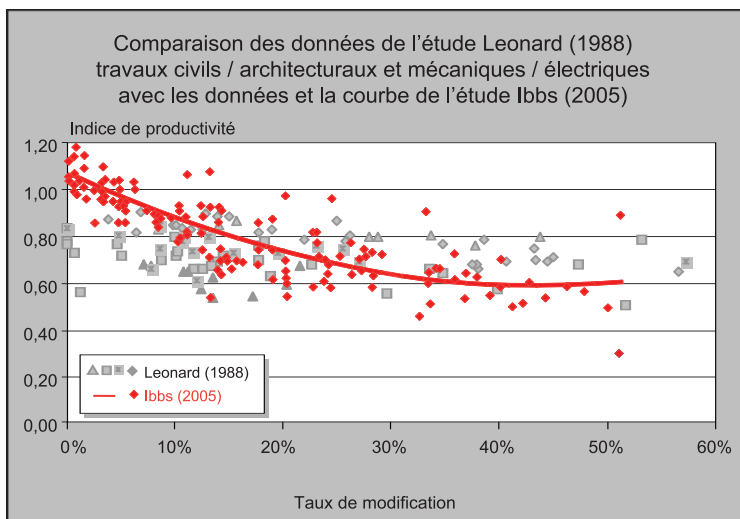


Figure 8 – Comparaison des données de l'étude Leonard (1988) et des données et de la courbe de l'étude Ibbs (2005)

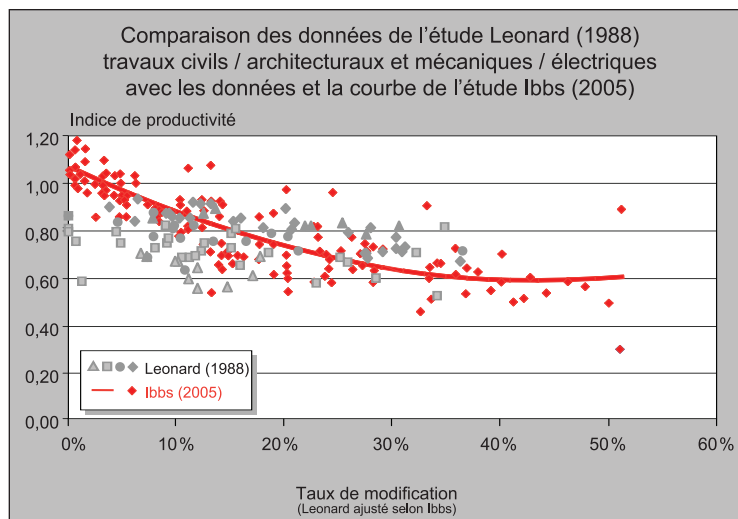


Figure 9 – Comparaison des données de l'étude Leonard (1988) et des données et de la courbe de l'étude Ibbs (2005) – Taux de productivité de Leonard (1988) calculé selon Ibbs (2005)

Ce calcul fait ressortir un autre problème rattaché à l'évaluation des taux de modification et des pertes de productivité. En règle générale, les heures consacrées à des modifications sont des heures additionnelles autorisées et rémunérées comme telles, ce qui fait appel à la capacité de l'équipe de projet de faire reconnaître lesdits travaux additionnelles et de les faire rétribuer en conséquence. Or le propriétaire n'accède évidemment pas à toutes les demandes de modification de l'entrepreneur. En effet, certaines heures additionnelles peuvent être exécutées suite à un ordre de modification dûment autorisé alors que d'autres heures additionnelles peuvent être exécutées pour des modifications contestées par le propriétaire. En pratique, il peut se révéler difficile de distinguer les unes des autres et certaines situations peuvent donner lieu à différentes interprétations. Par exemple, dans le cadre d'un projet dont l'ampleur ferait l'objet d'un accroissement théorique de 30 %, le supplément de travail d'une équipe pourrait être rétribué à hauteur de 40 % et celui d'une autre à hauteur de 20 % seulement. Dans ce contexte, l'équipe dont la rétribution supplémentaire serait de 20 % semblerait avoir subi une perte de productivité sensiblement supérieure étant donné le nombre réel d'heures de travail non rémunérées.

Pour revenir à notre comparaison des méthodes de Leonard et d'Ibbs, on pourrait aplanir la différence entre la façon dont les auteurs mesurent le taux de modification en déplaçant vers la gauche les points de données de Leonard, ainsi que l'illustre la Figure 9. L'effet serait minime pour des taux de modification inférieurs à 20 % mais augmenterait sensiblement à des taux de modification supérieurs. Si on applique un ajustement semblable aux données de Leonard aux Figures 6 et 7, les courbes représentant les « causes majeures » deviennent plus abruptes, et ainsi se rapprochent davantage des courbes de Ibbs pour des taux de modification inférieurs à 35%. À noter que Thomas et Napolitan (1995)¹³ ont observé que la pente des courbes de Leonard étaient moins marquée qu'ils ne l'avaient prévu, ce qui donne à

penser qu'ils auraient peut-être eux aussi mesuré le taux de modification différemment de Leonard.

Malgré la possibilité que les auteurs aient calculé différemment le taux de modification, il ressort globalement des Figures 8 et 9 que les deux ensembles de données donnent des résultats similaires à ceux d'Ibbs (2005). On peut constater des écarts dans les points de données de Leonard pour les taux de modification inférieurs à 10 %, probablement en raison du fait que les données prises en compte faisaient uniquement référence à des projets fortement modifiés alors que l'étude Ibbs (2005) incluait de nombreux projets peu modifiés ou faisant ainsi l'objet d'un nombre limité de modifications. L'étude Ibbs (2005) considère un effet neutre ou favorable sur les projets peu modifiés, ce qui paraît vraisemblable. Il aurait été intéressant de recalculer la régression polynomiale mais nous n'avons pu le faire faute de disposer des données réelles d'Ibbs.

Critique de l'étude Ibbs (2005)

Bien que l'étude Ibbs (2005) soit probablement la plus exhaustive du genre à ce jour, elle n'a pas encore reçu l'aval de l'industrie. Comme un grand nombre des études précédentes, cette analyse relativement récente n'a pas non plus été abordée dans la jurisprudence publiée aux États-Unis^{9,14}.

La recherche continuant d'évoluer, l'attention de l'industrie se dirigera probablement sur la discussion et l'évaluation des études plus récentes. Si l'étude Ibbs (2005) est bien considérée, on pourrait également en déduire que les graphiques de Leonard constituaient à l'époque des indicateurs raisonnables de l'effet des ordres de modification sur la productivité de la main-d'œuvre (du moins quand le taux de modification dépasse 10 %).

Les critiques de l'étude Ibbs (2005) pourraient porter sur sa méthode de calcul du taux de modification. Elles pourraient également porter sur deux de ses

hypothèses fondamentales savoir 1) les heures estimées par l'entrepreneur tant pour le contrat de base (c.-à-d. la productivité prévue) que pour les ordres de modification sont exactes, et 2) l'entrepreneur a bien géré sa part du travail (c.-à-d. que les heures de travail réelles incluent uniquement les pertes de productivité imputables aux modifications, à l'exclusion de toutes lacunes de l'entrepreneur). Ibbs reconnaît à la page 1221 de son étude de 2005 qu'à défaut que ces chiffres soient exacts, « le ratio productivité réelle/productivité prévue ne peut exprimer avec justesse l'ampleur des pertes de productivité ».

Ibbs fait également observer ce qui suit :

« Les modifications sont mesurées en termes absolus, c'est-à-dire qu'un projet comportant 1 \$ de modifications sous forme de retraits et 1 \$ de modifications sous forme d'ajouts serait considéré comme faisant l'objet de modifications totalisant 2 \$. Une modification qui exige un retrait peut en effet tout autant affecter la productivité qu'une modification exigeant un ajout. Utiliser la différence nette entre les modifications qui entraînent des ajouts et celles qui exigent des retraits équivaudrait en l'occurrence à sous-évaluer la perturbation. »

(notre traduction)

Nous n'avons pas évalué les incidences de cette dimension de l'étude d'Ibbs étant donné que Leonard faisait uniquement référence à des modifications sous forme d'ajouts.

Rappelons que les critiques d'études comme celles de Leonard et d'Ibbs découlent parfois d'une interprétation et d'une mise en application erronées de leurs résultats, notamment lorsque les résultats en question sont appliqués sans discernement et sans égard à des facteurs aussi importants que le moment où surviennent les modifications.

Le moment où surviennent les modifications

Même si les premières recherches ont reconnu que les ordres de modification qui surviennent tardivement au cours d'un projet tendent à affecter davantage la productivité que les ordres de modification survenant hâtivement, ni l'étude Leonard (1988) ni l'étude Ibbs et Allen (1995) n'ont pu aisément quantifier l'effet du moment des modifications sur la productivité.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'étude Hanna (1999a)⁶ a tenté d'inclure un facteur moment pondéré dans une formule à variables multiples pour calculer les pertes de productivité, à tout le moins pour les travaux mécaniques. Hanna estimait que l'incidence du facteur moment progressait de façon linéaire du début à la fin d'un projet. L'évaluation de ce facteur de pondération et des autres variables de sa formule est cependant un processus assez délicat faisant appel à une certaine subjectivité.

En 2005, Moselhi, Assem et El-Rayes¹⁵ ont produit une étude qui visait essentiellement à étoffer le modèle proposé en 1991 par Moselhi et Leonard³ en y associant la dimension moment des ordres de modification. Ils ont notamment présenté un modèle dit de « réseau neuronal » fondé sur une analyse de 33 lots de travaux issus des dossiers de Revay et Associés concernant des projets au Canada et aux États-Unis. À l'inverse de la progression linéaire du facteur moment envisagée par Hanna, Moselhi a modélisé la hausse et la baisse des heures de travail normalement consacrées à l'exécution des travaux. Le modèle a été intégré à un logiciel prototype en vue d'estimer les pertes de productivité. Outre le modèle neuronal des auteurs, le logiciel intégrait quatre autres modèles dont celui de Hanna (1999)^{6,7}. Les auteurs soutiennent que leur modèle permet de générer des estimations plus précises de l'incidence des ordres de modification sur la productivité. Leur document ne donne malheureusement aucune indication quant à la possibilité d'accéder au logiciel. À ce jour, la jurisprudence américaine ne fait pas mention de cette étude.

Dans son étude de 2005, qui fait référence au moment où survient la modification, Ibbs remarque que certaines surviennent plus tôt que d'autres (voir la Figure 1 de l'étude Ibbs (2005)⁸). Il a classé les modifications dans trois catégories selon le moment où elles surviennent par rapport au temps de leur exécution. Hâtives (la tranche de 25 % des modifications demandées le plus tôt); Normales (plus ou moins 50 % des cas); et Tardives (la tranche de 25 % des modifications demandées tardivement). Il a ensuite généré le graphique reproduit à la Figure 10, qui illustre l'évolution temporelle de l'incidence des modifications.

Il est intéressant de noter la similarité entre les trois courbes élaborées par Ibbs pour décrire l'effet du

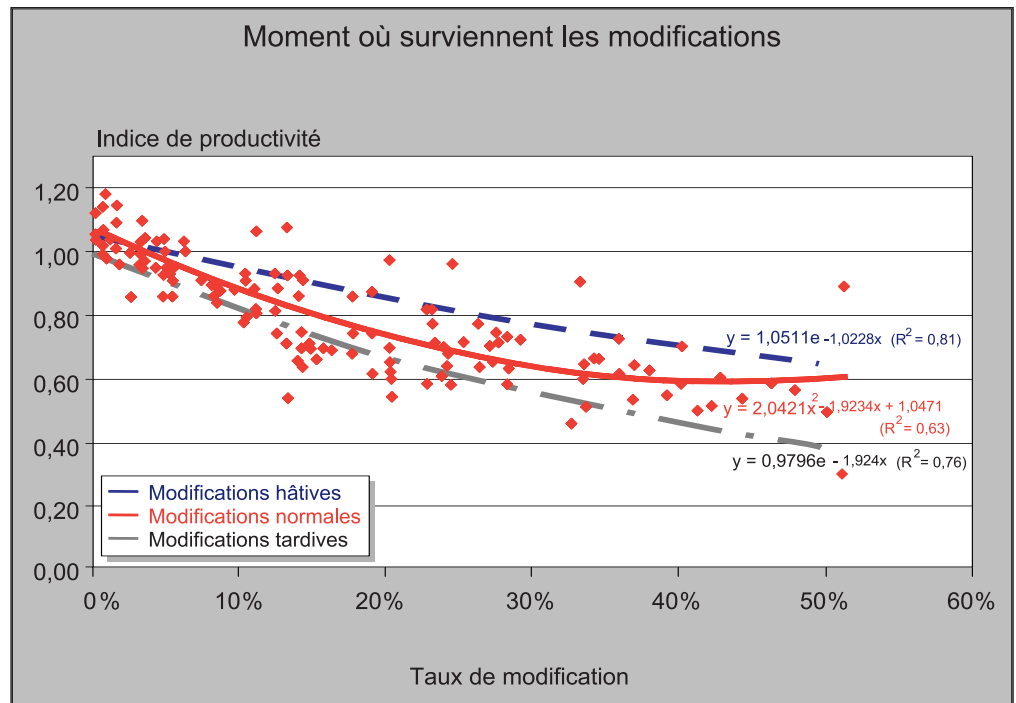


Figure 10 – Représentation du moment où surviennent les modifications – adaptée de l'étude Ibbs (2005)

moment des modifications et les trois courbes de régression utilisées par Leonard pour illustrer l'incidence des autres « causes majeures ». Leonard considérait comme des « causes majeures » les travaux exécutés hors séquence, les chevauchements d'équipes, l'accélération des travaux, le manque de matériaux, etc. Or ces « causes majeures » correspondent précisément aux incidences des modifications tardives. Les conclusions de Leonard semblent encore une fois concorder avec celles d'Ibbs.

L'étude Ibbs (2005) indique que, lorsque les ordres de modification surviennent relativement tôt par rapport au temps de leur exécution, un certain nombre de modifications peut être exécuté sans encombre. La Figure 10 suggère que la limite se situe à environ 3 % et qu'au-delà de ce niveau, l'indice de productivité tombe en dessous de 1,00. Même lorsque le nombre de modifications est élevé, une exécution hâtive a pour effet d'atténuer l'incidence négative.

Ibbs fait également observer ce qui suit dans son étude de 2005 :

« Les modifications tardives entraînent toujours un indice de productivité négatif < 1 (standard) et le taux de variation (pente de la courbe des modifications tardives) est plus marqué que celui des deux autres courbes. En termes simples, une modification tardive est environ deux fois plus néfaste sur la productivité qu'une modification normale ou hâtive, p. ex. pour un taux de modification de 10 %, la courbe des modifications tardives correspond à une perte de productivité de 20 % par rapport à 10 % pour la courbe des modifications normales. »

(notre traduction)

Ce constat est important en ce qu'il démontre que les entrepreneurs devraient tenir compte du moment des modifications lorsqu'ils évaluent l'incidence qu'un changement peut avoir sur les travaux du contrat de base.

Il importe en outre de comprendre qu'il ne faut pas appliquer les facteurs d'estimation de la perte de productivité des graphiques ci-dessus indistinctement à l'ensemble des travaux de construction. Il faut plutôt faire l'effort de déterminer quand les modifications ont eu (ou auront) lieu, puis appliquer le facteur d'estimation de la perte de productivité aux heures travaillées (ou à travailler) pour une période donnée. Par exemple, si la plupart des modifications sont survenues à un stade compris entre 50 et 100 % de l'avancement des travaux de construction, la perte de productivité estimée ne devrait pas s'appliquer aux heures-personnes travaillées avant cette période, sauf démonstration que ces modifications ont affecté négativement la productivité, même avant cette période.

Il peut néanmoins être plus difficile de résoudre le problème du moment que ne le laisse croire les graphiques ci-dessus parce que tant les entrepreneurs que les propriétaires exécutent fréquemment les travaux sans même que la procédure d'autorisation des modifications n'ait été complétée. À des fins d'uniformité, dans son étude Ibbs utilise la date des avis de modification comme date de mise en œuvre des modifications, mais notre expérience montre qu'il est souvent difficile de confirmer le moment où une modification interrompt et affecte réellement les travaux.

Conclusions et recommandations

L'étude Leonard (1988) constituait à l'époque un effort novateur en vue d'évaluer l'effet cumulatif des modifications sur la productivité de la main-d'œuvre. Malgré certaines limites et les importantes critiques exprimées au fil des années, les recherches courantes d'Ibbs et d'autres auteurs supportent à notre avis la crédibilité de l'analyse de Leonard.

Nous insistons sur le fait que le présent article ne recommande pas l'étude de Leonard, ni celles d'Ibbs, non plus quelqu'autre analyse comme solution définitive au dilemme que pose l'évaluation de l'incidence cumulative des modifications. Malgré la logique des tendances, la recherche continue d'évoluer et ces méthodes devront faire l'objet d'autres analyses et discussions. Il importe également de rappeler qu'aucune n'a été reconnue par la jurisprudence publiée à ce jour^{9, 14}.

Nous recommandons plutôt qu'un professionnel chevronné évalue chaque cas individuellement. Une analyse générale applicable à l'ensemble de l'industrie ne doit jamais remplacer l'information propre au projet en cause^{12,16}. L'interprétation et l'application de telles études industrielles doivent autant que possible être étayées par une analyse experte des faits précis qui permette d'établir les liens de causalité et le droit à une compensation. Il importe également de reconnaître que l'habileté de l'équipe de projet à gérer et à administrer les modifications et les autres facteurs de productivité défavorables contribue dans une large mesure à l'exécution efficace d'un projet. De même, il serait irréaliste de considérer que tous et chacun des projets de construction connaissent les résultats illustrés dans les graphiques ci-dessus.

La façon optimale d'analyser les pertes de productivité consiste à évaluer les causes et les effets propres au projet en cause et, dans la mesure du possible, d'effectuer une analyse différentielle entre les périodes de travail normales et les périodes perturbées¹⁶.

Les études de l'industrie seules constituent une bien courte démonstration.

Remerciements

Revay et Associés tient à remercier le professeur Ibbs et Charles Leonard pour leurs précieux commentaires formulés sur le présent article avant sa publication.

Documents de référence

- 1 Leonard, C.A. (1987), *L'effet des ordres de modification sur la productivité*, Le Bulletin Revay, vol. 6, no 2, août 1987.
- 2 Leonard, C.A. (1998) *The Effects of Change Orders on Productivity*, thèse de maîtrise ès sciences, Université Concordia, Montréal (Québec).
- 3 Moselhi, O., Leonard, C. et Fazio, P. (1991), *Impact of Change Orders on Construction Productivity*, Can. J. Civ. Eng., 18(3), 484-492.
- 4 Revay, S.O. (2002), *Gestion des modifications et des suppléments*, Le Bulletin Revay, vol. 21, no 2, septembre 2002.
- 5 Ibbs, C.W. et Allen, W.E. (1995), *Quantitative Impacts of Project Change*, Source Document 108 to Publication 43-2, mai 1995, Construction Industry Institute, Austin (Texas).
- 6 Hanna, A., Russel, J., Gotzian, T. et Nordheim, E. (1999a), *Impact of Change Orders on Labor Efficiency for Mechanical Construction*, J.C.E.M., 125(3), p. 176-184.
- 7 Hanna, A., Russel, J., Gotzian, T. et Nordheim, E. (1999b), *Impact of Change Orders on Labor Efficiency for Electrical Construction*, J.C.E.M., 125(4), 224-232.
- 8 Ibbs, W. (2005), *Impact of Change's Timing on Labor Productivity*, ASCE JCEM, nov. 2005, p. 1219-1223.
- 9 Harmon, Dr. K.M.J., Cole, B. (2006), *Loss of Productivity Studies – Current Uses and Misuses : parts 1 and 2*, Construction Briefings, août et septembre 2006.
- 10 Appeals of J.A. Jones Const. Co., -2 B.C.A. (CCH) P 3100.2000 WL 1014011 (Corps Eng'rs B.C.A. 2000).
- 11 Long, Richard, J. (2005) *Cumulative Impact Claims*; consulter www.long-intl.com
- 12 Ibbs, W. (2007), Nguyen, L.D., Lee, S., *Quantified Impacts of Project Change*, *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, ASCE, janv. 2007, p. 45-52.
- 13 Thomas, R., H. et Napolitan, C.L., *Quantitative Effects of Construction Changes on Labor Productivity*, *Journal of Construction Engineering and Management*, sept. 1995, p. 290-296.
- 14 Le professeur Ibbs nous a toutefois indiqué qu'il a récemment témoigné sur l'utilisation de l'étude de Leonard (1988) et de sa propre analyse (2005). Pour autant que nous sachions, la décision connexe n'a pas encore été publiée.
- 15 Moselhi, O., Assem, I., El-Rayes (2005), *Change Orders Impact on Labor Productivity*, ASCE JCEM, mars 2005, p. 354-359.
- 16 Association for the Advancement of Cost Engineering International (2004), *Estimating lost labor productivity in construction claims*, AACE International Recommended Practice No. 25R-03.

Le Bulletin Revay est publié par Revay et Associés limitée, une firme de conseillers du secteur de la construction, spécialistes de la gestion de projets et de la résolution de conflits. Au service des entrepreneurs et des donneurs d'ouvrages, Revay a comme objectif d'aider ces partenaires à réaliser des projets profitables et exempts de conflits. Les articles peuvent être reproduits moyennant mention de la source. Vos observations et suggestions pour les prochains articles sont bienvenues.

S.V.P. nous aviser de tout changement d'adresse ou de destinataire

Revay et Associés limitée

4333, rue Ste-Catherine Ouest
Bureau 500
MONTRÉAL, Québec H3Z 1P9
Téléphone : (514) 932-2188
Télécopieur : (514) 939-0776
montreal@revay.com

<http://www.revay.com>

Publications #40042162