



Par **Stephen G. Revay**

L'excuse la plus fréquemment invoquée lorsqu'un projet tourne mal est que la construction est une activité risquée. Il est vrai que des conditions matérielles ou des

circonstances exceptionnellement défavorables ou imprévisibles peuvent survenir en cours de projet, et qu'on peut en conséquence les considérer comme inévitables. Dans bien des cas, il est néanmoins possible d'en gérer l'impact.

C'est la deuxième fois que le Bulletin Revay consacre son article de fond aux risques de la construction. Le premier remonte à notre numéro de juillet 1993 (volume 12, numéro 1). Nous avons en outre abordé ce thème plusieurs fois dans divers séminaires. Il semble malheureusement que nous n'ayons pas été très convaincants car il appert que notre message n'a guère été suivi. Quoiqu'il en soit, de nombreux maîtres d'oeuvre et acheteurs de services de construction se lancent encore dans des projets sans analyser les risques qui s'y rattachent et sans adopter de techniques de gestion des risques. L'une des explications les plus courantes est que l'analyse des risques est un processus trop compliqué et dont les coûts dépassent les avantages.

L'article publié dans le présent numéro tente de dissiper le mystère qui entoure l'analyse des risques et de montrer que la plupart des planificateurs expérimentés peuvent produire de telles analyses à bon compte. Cet exercice contribue à réduire les incidences, notamment en termes de temps et d'argent, qui peuvent découler d'événements ou de circonstances indésirables ou imprévisibles. En connaissant ces incidences potentielles, on peut ensuite décider d'une démarche pertinente, p. ex. : 1) prévention des risques; 2) transfert ou partage de la responsabilité des conséquences (p. ex. assurance); 3) atténuation des répercussions éventuelles par la sélection d'une méthode de construction appropriée, etc.

Les risques de la construction

par **Brenda McCabe, Ph.D.**

Chargée d'enseignement
Département de génie civil
Université de Toronto
Consultante auprès de Revay et Associés limitée

On compare souvent la gestion d'un projet de construction à la lutte contre l'incendie du fait que, dans l'un et l'autre cas, il faut s'attaquer aux problèmes sans délai. On peut cependant se demander combien de ces problèmes pourraient être évités. Les ressources requises pour réagir à des problèmes immédiats ne peuvent être consacrées à une approche plus proactive visant à éviter les difficultés. L'analyse des risques peut contribuer efficacement à cerner la source des problèmes.

Le dictionnaire Robert définit le risque comme *l'éventualité d'un événement ne dépendant pas exclusivement de la volonté des parties et pouvant causer la perte d'un objet ou tout autre dommage*. Le présent article porte sur l'analyse des risques dans le secteur du bâtiment et présente un exemple d'application fondée sur la méthode de programmation optimale (technique d'évaluation PERT).

On distingue diverses catégories d'incertitudes : connues, connues-inconnues et inconnues-inconnues. Les risques connus comportent des conséquences potentielles qu'il est possible de définir, p. ex. phénomènes météorologiques et grèves. Les risques connus-inconnus ne sont pas prévus et leurs incidences sont plus difficiles à évaluer, p. ex. séismes, guerres, actes terroristes. Quant aux risques inconnus-inconnus, ils défient l'imagination et ne peuvent donc être définis. L'analyse des risques vise à évaluer les risques connus. Dans le cas des risques inconnus, une boule de cristal pourrait en effet offrir un meilleur rapport coût/

efficacité. Trois conditions doivent être réunies pour qu'une analyse de risques soit fructueuse : a) le risque doit être connu; b) il faut comprendre les incidences du risque sur le déroulement du projet; et c) les incidences du risque doivent être assez importantes pour que l'on s'en préoccupe.

QUAND L'ÉVALUATION DES RISQUES PEUT-ELLE SE RÉVÉLER UTILE?

On définit souvent le risque en termes de probabilité qu'un problème survienne et de coûts à supporter si le problème se manifeste effectivement. La valeur estimative du risque s'obtient en multipliant sa probabilité par les coûts connexes. Par exemple, si un équipement tombe en panne tous les dix jours, la probabilité de la défaillance est de 10 %. Supposons que les coûts rattachés à la défaillance se chiffrent à 10 000 \$. La valeur estimative du risque serait alors de $0,10 * 10\ 000\ \$$, soit 1 000 \$ par jour. Si cette valeur dépasse la tolérance de risque de l'entreprise, celle-ci doit alors se doter de moyens pour éviter les pannes en question, p. ex. resserrer les intervalles de maintenance.

Si tous les projets d'une entreprise sont circonscrits à un même secteur géographique, si leur ampleur est similaire et si les problèmes sont peu nombreux et faciles à résoudre le cas échéant, une analyse des risques n'est peut-être pas indispensable. Cependant, si l'un ou l'autre des paramètres d'un projet en viennent à changer et à comporter un élément de risque appréciable, une telle analyse peut certes se révéler utile. Une implantation dans un nouveau marché ou dans un secteur géographique différent, des conditions d'incertitude touchant la main-d'oeuvre et les matières ou encore la prise en charge d'un projet d'une ampleur inhabituelle sont des exemples de tels

changements. L'adoption d'un nouveau mode de construction, le travail dans un site encombré ou des retards probables sont d'autres facteurs qui justifient une analyse des risques. L'élaboration d'une nouvelle stratégie pour un projet ou le dépassement du calendrier d'exécution peuvent chambouler les paramètres d'un projet. Par ailleurs, si ces paramètres sont stables mais que le maître d'oeuvre éprouve régulièrement des problèmes, une analyse des risques peut s'avérer profitable.

Il est notoire que les décisions prises aux premiers stades d'un projet ont souvent un impact plus déterminant sur le déroulement des opérations que celles prises après le début des travaux. Aussi, plus tôt on entreprend une analyse des risques afférents à un projet, plus grands sont les avantages qu'on peut en tirer.

ESTIMATION DES TRAVAUX

Soumissionner ou ne pas soumissionner, telle est la première question à trancher. Cette décision dépend de nombreux facteurs — notamment la probabilité de remporter le contrat, l'intensité de la concurrence, le profil du maître d'ouvrage, le type de projet, l'état du marché, etc. Plusieurs organisations utilisent une liste de contrôle pour soupeser ces facteurs de décision. La tentation de soumissionner est cependant très forte en général, et la décision est le plus souvent affirmative. En pareil cas, le risque tient aux coûts liés à la préparation du dossier de la soumission par rapport à la probabilité que le contrat soit octroyé à un concurrent. Bien que plusieurs considèrent ce risque comme un facteur de coût normal en affaires, l'estimation d'un projet peut devenir une tâche monstrueuse, qui exige beaucoup de temps et d'argent. Un examen rigoureux des activités d'estimation peut contribuer à réduire sensiblement les frais généraux.

L'estimation des travaux équivaut à prédire des événements futurs. Les maîtres d'oeuvre se voient remettre des masses d'informations — plans, devis et contrats. On s'attend à ce que, dans un laps de temps relativement court, ils déposent une soumission à *la fois* avantageuse et rentable. Les coûts prévus sont fondés sur une évaluation probable de la productivité, de la disponibilité des équipements et des paramètres du projet. Une analyse des coûts effectuée à ce stade peut contribuer à mettre en lumière et à expliquer les coûts les plus incertains.

ORDONNANCEMENT ET PLANIFICATION

L'ordonnancement peut conduire à une analyse des risques étant donné que les coûts sont souvent liés au facteur temps. La méthode du chemin critique (CPM) et les graphiques à barres sont les outils d'ordonnancement les plus couramment utilisés dans l'industrie. La CPM fournit des informations supplémentaires sur le chemin critique et les liens entre les différentes activités. On appelle « chemin critique » la succession des activités qui conditionnent le délai minimal de réalisation d'un projet. Un retard touchant une activité faisant partie du chemin critique entraîne un retard dans l'exécution du projet. Les activités qui ne font pas partie du chemin critique comportent une marge de manoeuvre. Elles peuvent donc subir des retards dans la limite de cette marge sans que la date d'achèvement du projet ne s'en trouve compromise. De nombreux logiciels standards fondent leurs calculs sur la méthode CPM, puis présentent l'information sous forme de graphiques à barres.

La principale lacune de la méthode CPM tient au fait que les activités sont mesurées selon leur durée probable sans tenir compte des autres durées possibles et de leurs incidences sur le calendrier d'exécution. S'il est suffisamment long, un retard touchant une activité peut se répercuter sur l'ensemble du calendrier, même si l'activité en cause ne fait pas partie du chemin critique. En l'occurrence, l'analyse des risques serait axée sur la probabilité que le projet soit achevé en retard et entraîne des frais supplémentaires.

DIVERSES MÉTHODES D'ANALYSE DES RISQUES

On distingue trois méthodes d'analyse des risques, soit la méthode de programmation optimale (PERT), la méthode de Monte-Carlo et la modélisation de simulation à événements discrets. Il existe d'autres méthodes, mais nous nous limiterons à ces dernières dans le cadre du présent article. La technique PERT est fondée sur la méthode du chemin critique mais elle porte l'analyse un cran plus loin en permettant au planificateur de tenir compte non seulement de la durée probable des activités, mais aussi de scénarios de durée optimistes et pessimistes. On trouvera plus loin dans le présent article un exemple d'analyse fondée sur la méthode PERT. L'une des limites de cette technique tient au postulat de l'indépendance des différentes acti-

tivités. On suppose en effet que la durée réelle d'une activité est sans effet sur la durée des autres activités du projet. Cette hypothèse est très souvent valable. Elle ne l'est cependant pas lorsque plusieurs activités font appel à une même ressource non disponible en quantités nécessaires. À noter qu'il peut s'agir de matières, d'équipements, de main-d'oeuvre, d'outillage, d'espace ou de tout autre moyen nécessaire à l'exécution de l'activité. La technique PERT permet de définir l'écart-type et l'écart moyen par rapport au temps d'exécution d'un projet. À partir de ces données, on peut établir la probabilité que le projet soit achevé dans un certain délai.

La méthode de Monte-Carlo permet de simuler l'exécution d'un projet en vue de préciser l'issue de chaque activité. Des intervalles de durée sont définis comme dans la méthode PERT. Une durée ou un coût est associé aux différentes activités en fonction de l'intervalle de valeurs associé à chacune. Après avoir défini la durée des diverses activités, on établit le chemin critique et la durée totale du projet. L'analyse est généralement exécutée des centaines de fois avec différentes issues, comme s'il était possible d'exécuter le projet autant de fois. Le résultat de chaque analyse est une illustration de ce qui pourrait survenir au cours du projet. Les résultats sont présentés comme une distribution de la durée du projet. Comme dans la méthode PERT, on peut évaluer la probabilité d'achever le projet dans un certain délai. La méthode de Monte-Carlo permet également de constater combien de fois une activité fait partie du chemin critique. La méthode de Monte-Carlo est plus performante que la technique d'évaluation PERT en ce qu'elle ne présume pas que les diverses activités sont indépendantes les unes des autres.

La modélisation de simulation à événements discrets fait appel à un langage de simulation et à un environnement spécifiquement développé pour expérimenter des opérations sur ordinateur. Plusieurs logiciels de ce type sont offerts, qui diffèrent par leur degré de complexité. (Dans la plupart des cas, l'élaboration des modèles est un exercice compliqué, qui exige un expert en simulation.) Les modèles peuvent intégrer des interactions entre les ressources, des délais et des paramètres aléatoires tels que les conditions météorologiques. Ces outils permettent d'obtenir des masses d'informations : comparaisons des méthodes de cons-

truction, goulots d'étranglement, utilisation des ressources, etc.

De ces trois méthodes, la technique PERT est celle dont la mise en oeuvre exige le moins d'efforts. En fait, les techniques PERT et Monte-Carlo peuvent être mises en application à l'aide d'un simple tableur. La modélisation de simulation à événements discrets est plus exigeante mais permet en général de générer plus d'informations sur un projet. La rubrique qui suit porte sur la méthode PERT. Un modèle d'évaluation y est présenté.

MÉTHODE PERT D'ANALYSE DES RISQUES

Comme on l'a vu, il existe plusieurs méthodes d'évaluation des risques, qui exigent divers degrés d'efforts. J'ai déjà évoqué le recours à la CPM à des fins d'ordonnancement. La lacune de cette méthode est qu'elle ne tient pas compte de l'incertitude ou du risque. Les durées prises en compte sont les durées probables (PROB.) des diverses activités dans le contexte des circonstances connues entourant le projet.

La méthode PERT s'apparente à la CPM à un détail important près : elle tient compte de l'incertitude. Outre les durées probables, deux autres valeurs sont prises en compte, soit une durée pessimiste et une durée optimiste. La méthode PERT est fondée sur le théorème central limite. Cela signifie que si l'on peut estimer la valeur moyenne et la variance de la durée ou du coût de chaque activité, on peut également évaluer le risque inhérent à l'ensemble du projet. La notion de variance ne se prête guère à une com-

Figure 1 : Réseau-type

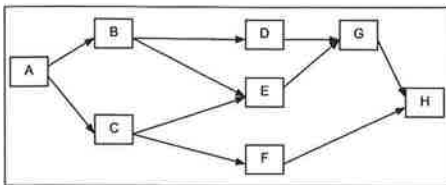


Tableau 1 : Durée des activités

Activité	Optimiste (Opt.)	Probable (Prob.)	Pessimiste (Pess.)	Moyenne (Moy.)	Variance (Var.)
A	13	15	18	15,17	0,69
B	22	25	28	25,00	1,00
C	20	23	28	23,33	1,78
D	8	9	10	9,00	0,11
E	29	31	34	31,17	0,69
F	7	7	7	7,00	0,00
G	9	10	12	10,17	0,25
H	17	18	20	18,17	0,25

Tableau 2 : Analyse des chemins d'activités

Chemin	Moy.	Var.	ÉT	Inter. inf.	Inter. sup.	Durée probable (coeff. 75%)
1-ABDGH	77,51	2,31	1,52	74,52	80,48	78,52
2-ABEGH	99,67	2,89	1,70	96,34	103,00	100,81
3-ACEGH	98,00	3,67	1,91	94,25	101,75	99,29
4-ACFH	63,67	2,72	1,65	60,43	66,90	64,78

préhension spontanée. On peut l'assimiler à une mesure du risque de sorte que l'incertitude est directement proportionnelle à la variance. Heureusement, il existe des moyens simples d'évaluer la variance à l'aide de nos trois durées estimatives : durée optimiste (Opt.), pessimiste (Pess.) et probable (Prob.). À partir de ces trois estimations, on peut calculer la valeur moyenne (Moy.) et la variance (Var.) à l'aide des équations ci-dessous :

$$\text{Moy.} = \frac{\text{Opt.} + 4 * \text{Prob.} + \text{Pess.}}{6} \quad \text{Équ. 1}$$

$$\text{Var.} = \left(\frac{\text{Pess.} - \text{Opt.}}{6} \right)^2 \quad \text{Équ. 2}$$

Le théorème central limite nous apprend que la durée totale d'un projet équivaut à la somme des moyennes et des variances des différents chemins du réseau. Le chemin dont la durée est la plus longue devient le chemin critique. Mais nous nous intéressons à l'incertitude ou au risque rattaché au calendrier d'exécution. Nous examinerons donc l'exemple qui suit. Dans le réseau CPM illustré à la Figure 1, les activités B et C suivent A. L'activité D ne peut débuter tant que B n'est pas achevée, et l'étape E ne peut être entreprise avant que B et C soient achevées. Ce réseau compte quatre chemins qui relient A à H, qui vont donc de la première à la dernière activité. Il s'agit en l'occurrence des chemins ABDGH, ABEGH, ACEGH et ACFH.

Il faut disposer des durées optimiste, probable et pessimiste de chaque activité. Ces valeurs figurent au Tableau 1.

La moyenne et la variance sont établies à l'aide des équations 1 et 2, respectivement. À noter que les valeurs moyennes et probables ne sont pas identiques dans tous les cas. Si la différence entre la valeur optimiste et la valeur probable correspond à la différence entre la valeur pessimiste et la valeur probable, la moyenne est identique à la valeur probable. C'est le cas de l'activité B. La valeur probable se situe exactement à mi-chemin entre les valeurs optimistes et pessimistes. On peut donc affirmer que la valeur moyenne est égale à la valeur probable.

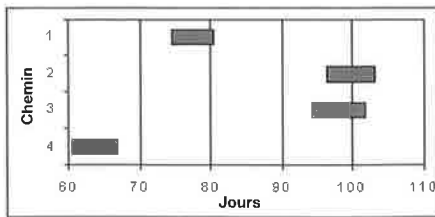
On suppose que la durée de l'activité F est connue avec certitude, c.-à-d. que son exécution exigera exactement 7 jours. Il n'y a alors pas de différence entre les valeurs optimistes, probables et pessimistes. Comme il y a plus d'éléments susceptibles de tourner mal que d'éléments sûrs, la différence entre valeur pessimiste et probable est généralement plus grande que la différence entre valeur probable et optimiste.

En conséquence, chaque chemin du réseau est analysé afin de déterminer la durée totale du projet, ainsi que l'illustre le Tableau 2. Les valeurs moyennes et de variance correspondent à la somme des valeurs individuelles des activités situées sur un chemin donné. Ainsi, le premier chemin à évaluer contient les activités ABDGH. La durée moyenne du chemin équivaut à la somme des durées moyennes des diverses activités (cf. Tableau 1). La durée moyenne du chemin est de $15,17 + 25,00 + 9,00 + 10,17 + 18,17 = 77,51$ jours. L'équation 3 permet de calculer l'écart-type (ÉT), soit la racine carrée de la variance.

Les équations 4, 5 et 6 permettent d'établir les intervalles de valeurs supérieurs et inférieurs, ainsi que les durées probables (avec un coefficient de confiance de 75 %). Les valeurs des intervalles inférieurs et supérieurs indiquent les durées minimales et maximales du projet dans un contexte d'incertitude élevée¹. On peut affirmer

¹ Pour les amateurs de statistiques, la valeur de 1,96 utilisée dans les équations 4 et 5 désigne un niveau de certitude de 95 %, couramment utilisé dans l'estimation des intervalles de valeurs.

Figure 2: Graphique à barres illustrant les intervalles de durée des chemins



avec un degré de certitude élevé que le projet sera mené à terme dans les limites de ces intervalles.

$$\text{É.T.} = \sqrt{\text{Var.}} \quad \text{Équ. 3}$$

$$\text{Interv. inf.} = \text{Moy.} - (1.96 * \text{É.T.}) \quad \text{Équ. 4}$$

$$\text{Interv. sup.} = \text{Moy.} + (1.96 * \text{É.T.}) \quad \text{Équ. 5}$$

L'importance de ces intervalles limites tient au fait qu'ils permettent de définir le ou les chemins critiques. À cette fin, considérez le chemin dont la valeur moyenne est la plus élevée — en l'occurrence le chemin ABEGH, dont la durée moyenne est de 99,67 jours. Regardez ensuite les valeurs des intervalles inférieur et supérieur pour ce même chemin. Ces dernières sont représentées dans le graphique à barres de la Figure 2. Si les intervalles de valeurs de n'importe quel autre chemin s'inscrivent entre ces deux valeurs, le chemin qui se trouve en chevauchement peut être le chemin critique. Dans cet exemple, seul le chemin ACEGH se trouve en chevauchement et pourrait donc être un chemin critique selon les modalités d'exécution du projet. Comme les intervalles de valeurs limites de ces deux chemins sont très semblables, on peut supposer que l'un et l'autre sont des chemins critiques. Une simple analyse CPM n'aurait pas permis d'obtenir ces précieuses données, car les calculs se seraient limités à un seul chemin critique. Les deux autres chemins, ABDGH et ACFH, ne comportent pas de durées qui chevauchent celles du chemin critique et n'ont pas d'incidence sur la durée totale du projet sauf en cas de retard important. Un retard important correspond en l'occurrence à la différence entre l'intervalle inférieur du chemin critique (94,25) et l'intervalle supérieur

du chemin non critique (80,48), soit à 14 jours.

La durée probable (coefficient de 75 %) est établie à l'aide de l'équation 6. Un coefficient de confiance de 75 % signifie que, 75 fois sur 100, les activités seront achevées dans ce délai ou dans un délai inférieur.

Le Tableau 3 indique les valeurs de z_c pour divers niveaux de confiance. À noter que, pour un niveau de confiance de 50 %, z_c a une valeur de zéro et que la durée probable correspond à la moyenne. Autrement dit, si vos calculs ne tiennent compte que des valeurs moyennes, la probabilité que le projet soit achevé dans les délais est de 50 % seulement. La durée probable est fonction du degré de confiance. Plus ce dernier est élevé, moins le risque est important.

$$\text{DuréeProb.} = \text{Moy.} + z_c * \text{É.T.} \quad \text{Équ. 6}$$

Tableau 3 : z_c pour divers niveaux de confiance

Niveau de confiance	z_c
50%	0,00
60%	0,25
70%	0,52
75%	0,67
80%	0,84
85%	1,04
90%	1,28
95%	1,64

Lorsque les coûts liés aux dépassements du calendrier d'exécution sont très élevés, on peut faire l'analyse rétrospectivement afin d'établir la probabilité de respecter le calendrier. Le maître d'oeuvre peut alors évaluer combien il est à l'aise face à cette probabilité. Supposons que le contrat prévoit un délai d'exécution de 102 jours. Si l'on utilise l'équation 6 avec les valeurs suivantes : durée probable = 102, moyenne = 99,67 et écart-type = 1,70 (voir chemin 2 (ABEGH) dans le Tableau 2), la valeur de z_c est de 1,37. En consultant le Tableau 3, on constate que le niveau de confiance se situe entre 90 et 95 % et que telle est la

probabilité que le projet soit achevé dans ces délais. Si la date d'achèvement prévue est inférieure à la durée moyenne, il y a moins de 50 % des chances que le projet soit achevé pour cette date.

CONCLUSION

Malgré la simplicité de l'exemple présenté, la valeur des données qu'une analyse de type PERT permet d'obtenir est évidente. Grâce aux niveaux de confiance, on peut évaluer le risque lié à l'acceptation d'un calendrier d'exécution ou à un budget. Le cas échéant, la méthode PERT permet également de mettre en lumière plusieurs chemins critiques dans le réseau. On peut appliquer la même technique à l'évaluation des coûts sauf qu'il n'y a alors pas de chemin critique et que tous les coûts doivent être supportés. Le coût total correspond donc à la somme des coûts moyens, et la variance à la somme de la variance des coûts unitaires.

Les méthodes d'analyse du risque évoquées dans le présent article incluent le calcul des valeurs prévues, la méthode PERT, la technique Monte-Carlo et la modélisation de simulation à événements discrets. Plus la méthode est complexe, moins il est évident que le jeu en vaut la chandelle, d'où l'importance d'être raisonnablement certain que les avantages l'emportent sur les coûts. Si l'on procède à l'analyse, les coûts connexes doivent être proportionnés à l'effort. Les avantages de l'analyse consistent dans une compréhension précoce des problèmes susceptibles de survenir et dans une capacité prévisionnelle qui peut contribuer à les résoudre. Les coûts liés à l'absence d'analyse de risques dépendent du déroulement réel du projet et des événements qu'il aurait été possible d'éviter. Cependant, il est rare que tous considèrent qu'une analyse des risques équivaut à une perte de temps. Le principal défi consiste à comprendre la façon de procéder. La méthode PERT est un outil efficace pour évaluer les risques associés aux coûts ou au calendrier d'exécution d'un projet.