Les Cahiers Scientifiques du Transport
pp. 99-112 N° 28/1993
Brunilde SANSÓ
Fiabilité et planification des réseaux de transport routier : l'état de l'art

Fiabilité et planification des réseaux de transport routier : l'état de l'art

Brunilde SANSÓ

1. INTRODUCTION

La notion de fiabilité est généralement un paramètre intégré dans la planification de plusieurs types de réseaux. Or, dans des réseaux de transport routier, il n'existe pas beaucoup d'articles reliant la planification à la fiabilité. Pourtant, les accidents sont fréquents dans les réseaux de transports, et une panne qui peut interrompre le bon fonctionnement du réseau est, dans les transports, plus probable que dans d'autres types de réseaux. Pourquoi alors, ce manque apparent d'intérêt sur le sujet ?

Dans cet article nous étudions le pourquoi de ce paradoxe tout en jetant un regard critique sur la possibilité d'appliquer certaines mesures de fiabilité aux réseaux de transport routier.

Tout d'abord, commençons par la définition même du réseau de transport. On peut définir un réseau de transport en fonction de son graphe subjacent G(*N*,*A*), où *N* est l'ensemble des noeuds représentant les points d'origine, de destination et intersection, et *A* est l'ensemble des arcs, c'est-à-dire l'infrastructure même du réseau. L'objectif premier d'un réseau de transport est de faciliter l'acheminement des usagers (véhicules, passagers) d'un point origine à un point destination. La définition de ce réseau ne serait donc pas complète sans y ajouter la notion de demande origine-destination et de capacité des liens.

Une mesure classique de fiabilité de réseaux est la probabilité de connexion entre deux noeuds quelconques. Dans notre exemple de transport ci-dessus défini, il pourrait s'agir de la probabilité d'avoir une connexion entre un point origine *s* et un point destination *t*. Les réseaux de transport routier étant très connexes, même après des accidents importants, nous trouverions toujours une mesure de fiabilité très proche de un. Soulignons que cette mesure est indépendante de la capacité des liens du réseau et de sa demande.

Par conséquent, il existe une contradiction entre la notion de fiabilité, en terme de pure connexité topologique entre deux noeuds et la notion de performance du réseau. Voilà pourquoi la mesure de fiabilité de réseaux n'est pas largement appliquée aux réseaux de transport. Ceci est aussi dû à la difficulté même d'évaluer la probabilité de connexion entre deux points lorsque les réseaux sont de taille importante tels les réseaux de transport routier.

Il existe cependant des mesures autres que la connexité topologique pour évaluer la performance d'un réseau. Le lecteur intéressé à une revue de toutes les mesures et algorithmes publiés en fiabilité de réseaux peut se référer à Ball, Colburn et Provan (1993). Le but de cette étude est de faire un survol de l'état de l'art en matière de fiabilité tout en étudiant l'applicabilité de certaines mesures aux réseaux de transport routier. Cet article se divise comme suit. D'une part, la prochaine section traite des travaux les plus pertinents sur la fiabilité des réseaux : les mesures et les algorithmes de résolution y sont présentés de façon critique. Nous étudions d'abord l'application au transport des mesures classiques de connexité et, ensuite, celles de flot. D'autre part, à la section III, certains travaux touchant la notion de fiabilité en transport sont révisés. Nous identifions aussi différentes pistes de recherche. Finalement, à la section IV, nous tirons des conclusions et proposons une discussion finale.

II. FIABILITE DE RESEAU : MESURES ET ALGORITHMES

11.1 Mesures de connexité

Soit s et t, deux noeuds quelconques d'un réseau dont nous voulons étudier la fiabilité et supposons que seulement les arcs du réseau peuvent faire défaut avec probabilité p. Alors la probabilité de connexion entre s et t est la suivante:

$$P_c[s,t] = \sum_{i=0}^{|N|} A_{s,t}(i)(1-p)^i p^{|N|-i} \qquad (1)$$

où $A_{s,t}(i)$ représente le nombre de combinaisons de i arcs tels que s'ils sont les seuls à fonctionner un chemin sera créé entre s et t. $P_c[s,t]$ est une des mesures les plus populaires en fiabilité de réseaux. Il a déjà été démontré que le problème pour mesurer $P_c[s,t]$ est NP-complet (voir Ball, 1979); par conséquent il est très peu probable qu'il soit possible de trouver des algorithmes polynomiaux pour résoudre ces problèmes, d'où la difficulté de résoudre des problèmes de grande taille. Un des désavantages de considérer cette mesure pour évaluer la performance des réseaux de transport est justement dû au fait que ce type de réseau soit de taille d'envergure. Il serait donc presque impossible d'évaluer ce type de mesure pour des réseaux réels. D'autre part, les notions de demande et de capacité des liens ne sont pas prises en considération dans la mesure, d'où ce type de mesure ne représente pas forcement la performance du réseau.

Dans l'étude de Ball (1979), d'autres mesures sont aussi proposées pour évaluer la fiabilité. Il s'agit de:

$E[ep]$ = Espérance du nombre de noeuds communiquant entre eux,

$E[en(s)]$ = Espérance du nombre de noeuds communiquant avec un noeud particulier s,

et

E[ep(s)] = Espérance des paires de noeuds communiquant avec un noeud particulier *S*.

Ces mesures sont particulièrement utiles pour les réseaux de communications militaires ou pour les réseaux d'ordinateurs (voir aussi Hansler, Mc. Auliffe et Wilkov, 1974). Toutefois, elles sont dépourvues de tout intérêt pour ce qui est des réseaux de transport. De plus, le temps de calcul des algorithmes d'évaluation de ces mesures est exponentiel. Ball propose une méthode de résolution qui donne des résultats intéressants, mais uniquement dans les cas de petits réseaux.

Etant donné que les mesures de connexité soulèvent des problèmes difficiles à résoudre, une grande partie de la littérature sur la fiabilité de réseaux porte sur le développement d'algorithmes exacts pour évaluer la probabilité de connexité.

Si les réseaux sont de petite taille, une évaluation directe de la formule (1) est possible. Cependant, cela est rarement le cas. Il existe, par contre, trois grandes tendances pour calculer de façon exacte des mesures de connexité

1. réductions et transformations,
2. factorisations et décompositions
3. méthode des liens et de coupes.

L'utilisation des méthodes de réduction a pour but de simplifier le graphe au maximum avant d'appliquer un algorithme de fiabilité quelconque. On peut trouver un survol plus complet de ce type de méthodes dans les travaux de Wood (1985), Resende (1986), Resende (1988) et Hagstrom (1990).

L'intérêt d'utiliser des méthodes de réduction et de transformation porte sur le fait qu'il a été démontré que pour certains types de graphes, il est possible d'évaluer de façon polynomiale des mesures de connexité tel que *Pc[s,t]* ou la "k-fiabilité", la probabilité d'avoir k noeuds du réseau connectés après une panne. Nous renvoyons ici le lecteur à Agrawal et Satyanarayana (1985), Politof et Satyanarayana (1986) et Wald et Colburn (1983a, 1983b).

Les méthodes les plus classiques d'évaluation des mesures de connexité sont les méthodes de chemin et de coupes. Un chemin est ici défini comme une suite de liens reliant les noeuds *s* et *t* dont nous voulons évaluer la probabilité de connexion. Une coupe, par contre, représente un ensemble de liens de telle façon que la défaillance d'un seul lien entraîne la déconnexion entre s et t (voir Van Slyke et Frank, 1972; et Cavers, 1975).

Il existe d'autres approches de résolution du problème de calcul de mesures de fiabilité. Il s'agit de l'évaluation de bornes supérieures ou inférieures de la mesure à traiter. Dans le cas des mesures de connexité, les bornes sont calculées à partir d'une estimation par méthode de simulation du paramètre AJ,t(i) de la formule (1) (voir Van Slyke et Frank, 1972; Frank, 1974a et 1974b; et Fishman, 1987).

II.2 Mesures de flot

Les sections précédentes montrent la difficulté d'évaluer la fiabilité d'un réseau de transport en fonction uniquement de sa topologie. Il existe, cependant, dans la littérature touchant la fiabilité, d'autres mesures qui reflètent mieux les conséquences des pannes dans le cas des réseaux de transport

Définissons, tout d'abord d'une façon plus formelle, la notion de flot dans un réseau. Dans ce qui suit, nous utiliserons la notation classique dans Ford et Fulkerson (1974).

Soit $G(N,A)$, un réseau tel qu'à chaque arc$(x,y) \in$ A nous pouvons y associer une valeur réelle non négative $c(x, y)$ qui représente sa capacité. Soit s et t, deux noeuds de N. Alors un flot statique de valeur w non négative est défini comme une fonction f telle que les équations suivantes sont satisfaites:

$$\sum_{y \in A(x)} f(x,y) - \sum_{y \in B(x)} f(y,x) = \begin{cases} w & pour \quad x = s \\ 0 & pour \quad x \neq s,t \\ -w & pour \quad x = t \end{cases} \qquad (2)$$

$$f(x,y) \leq c(x,y) \forall (x,y) \in A \qquad (3)$$

L'expression (2) correspond aux équations de conservations de flot tandis que (3) garantit que le flot ne sera pas supérieur à la capacité de l'arc emprunté. Nous avons donc un réseau de flot ce qui est beaucoup plus qu'un simple graphe, ce qui signifie qu'il implique une demande à acheminer ainsi qu'une capacité à respecter.

La mesure de fiabilité la plus simple qui utilise la notion de flot est la probabilité de transmettre un certain flot d'un noeud source s à un noeud puits

t. On retrouve cette définition dans les articles de Lee (1980), Aggarwal, Chopra et Bajwa (1982) et, plus récemment, Ball, Hagstrom et Provan (1992). Les deux premiers articles montrent des applications au réseaux de communications tandis que le dernier définit formellement le problème de calcul de ce type de mesure comme un problème NP-difficile et propose des algorithmes de résolution.

Dans l'article de Ball et al. (1992), le problème est formellement baptisé comme celui du "threshold reliability" (en français: fiabilité du seuil) qui est défini comme suit :

Etant donné un réseau de flot $G(N,A)$ tel que les équations (2) et (3) sont respectées et que chaque arc l opère à pleine capacité C_l, avec probabilité p_l. et fait défaillance avec probabilité $1-p_l$, en tombant à un certain niveau de capacité l_l, alors le problème de la fiabilité du seuil FS est représenté comme tel:

$FS(G,p, V) = Pr\{G$ admet un flot d'au moins $v\}$

Notons que l'application de ce type de problème aux réseaux de transport n'est pas dépourvue d'intérêt. En effet, il s'agit de mesures reliées à la notion de flot, qui tiennent donc compte de la demande et de la capacité des liens. Cependant, cette mesure présente plusieurs inconvénients. Avant tout, il s'agit d'une mesure qui évalue la performance du réseau uniquement du point de vue du gestionnaire et non pas du client. En effet, l'usager du réseau routier n'est pas intéressé à connaître la probabilité que le réseau soit capable d'acheminer son flot maximum. Cependant, il serait par exemple intéressé à connaître la probabilité que son temps de parcours individuel soit inférieur à un certain seuil. Nous montrons dans le prochain paragraphe que le problème FS ne suffit pas à garantir un seuil de temps individuel.

Le problème FS, tel que présenté dans l'article de Ball et al. (1992), est défini uniquement dans le cas de réseaux de flot simple, c'est-à-dire de réseaux où il existe un seul type de commodité à transporter tels les réseaux d'eau ou d'électricité. Ceci n'est toutefois pas le cas des réseaux de transport où chaque paire origine-destination a une demande différente correspondant à des commodités différentes. Donc, il n'est pas possible d'appliquer la mesure à des réseaux multicommodité, tels les transports.

Finalement, Ball et al. (1992) démontrent que même dans le cas restreint de réseaux de flot simple, acycliques, avec capacités identiques $c_l = 1 \forall l \in A$, le problème est NP difficile, d'où, encore une fois, la difficulté d'appliquer ce type de mesure à de grands réseaux de transport.

Une autre mesure de flot répandue dans la littérature en fiabilité est la probabilité que, pour toutes les paires de noeuds, la demande origine-destination soit complètement acheminée. Cette mesure est présentée pour des graphes généraux par Douillez et Jamouille (1972) et est aussi utilisée dans une application aux réseaux électriques par A. Shogan (1982). Dans les deux cas, des méthodes de décomposition de réseaux sont proposées. Cependant, la difficulté d'appliquer ce type de mesure reste la même que pour le problème de la fiabilité du seuil. En effet, la mesure est définie pour des réseaux de flot, et non de multiflot, et elle est coûteuse en terme de temps de calcul, impossible de trouver pour des grands réseaux.

Il existe dans la littérature un type de mesure beaucoup plus riche que les mesures de simple connexité. Il s'agit des espérances de certains paramètres du réseau de flot.

Supposons que dans un réseau donné $|H|$ éléments (arcs ou noeuds) peuvent subir des pannes et que ces pannes sont "tout ou rien". Alors, il y aura $2^{|H|}$ états possibles du système, un état i étant défini par l'état (opération ou panne) de l'élément (arc` ou noeud) du réseau. L'espérance mathématique d'une mesure Z est alors donnée par:

$$E[Z] = \sum_{i=1}^{2^{|H|}} Z(i)P_r(i) \qquad (4)$$

Dans (4), *Z(i)* représente le paramètre de performance qui peut être, par exemple, le délai dans le cas des réseaux d'ordinateurs, le trafic refusé dans les réseaux téléphoniques ou la demande non-acheminée dans les réseaux électriques.

Ce type de mesure de fiabilité a été baptisé "mesures de performabilité". Il est évident que, dans le cas des espérances mathématiques, il est impossible d'évaluer ces mesures de façon exacte lorsque le nombre d'éléments $|H|$ du réseau est élevé. Il est cependant possible de trouver des bornes supérieures $E[Z]^{\text{sup}}$ et inférieures $E[Z]_{\text{inf}}$ de l'expression (4). En effet, si nous sommes capables d'énumérer, en ordre décroissant, les *t* états les plus probables du système, nous pouvons facilement exprimer ces bornes:

$$E[Z]^{sup} = \sum_{i=1}^{t} Z(i)P_r(i) + \sum_{i=1}^{t} Z(1)(1 - P_r(i)) \qquad (5)$$

$$E[Z]_{inf} = \sum_{i=1}^{t} Z(i)P_r(i) + \sum_{i=1}^{t} Z(2^{|H|})(1 - P_r(i)) \qquad (6)$$

Les formules précédentes sont valides uniquement lorsque la mesure de performance décroît au fur et à mesure que le système se détériore.

Pour certains systèmes, il est très facile d'énumérer les t états les plus probables. Cependant, pour d'autres, des algorithmes spécialisés d'énumération partielle d'états sont nécessaires. Mentionnons les travaux de Li et Silvester (1984), Chiou et Li (1986), Lam et Li (1986), Shier (1988). Dans la prochaine section nous entrerons plus en détail sur la possibilité d'évaluer (5) et (6) dans les cas des réseaux de transport.

III. TRAVAUX EN TRANSPORT TOUCHANT A LA FIABILITE

Nous avons étudié dans les sections précédentes pourquoi il est si difficile d'évaluer des mesures de fiabilité dans les réseaux de transport routier. Malgré la difficulté de trouver de bonnes mesures et de bons algorithmes de résolution, quelques auteurs se sont attaqués au problème. Dans cette section nous faisons un bref survol des travaux divers qui relèvent la notion de fiabilité et la planification en transport.

Jordan et Turnquist (1979) ont étudié le problème de la fiabilité du service d'autobus et l'influence de délimiter différentes zones de service pour augmenter la fiabilité telle que perçue par les passagers. Même s'il ne s'agit pas de réseaux de transport routier, le travail est un des seuls travaux qui présentent des modèles mathématiques appliqués aux transports, incorporant la notion de fiabilité.

Turnquist et Bowman (1980) présentent un ensemble d'expériences de simulation pour étudier l'effet de la structure du transport routier sur la fiabilité du service d'autobus. Ce travail est intéressant car, pour la première fois, la structure du graphe sous-jacent au réseau est reliée à la fiabilité du service.

Mentionnons aussi qu'il existe des travaux antérieurs à 1979 qui soulèvent l'importance de la fiabilité dans les services d'autobus, sans toutefois entrer dans les détails mathématiques (voir les références de Turnquist et Bowman).

Hagstrom (1983) présente un algorithme de décomposition pour trouver la probabilité de connexion entre deux noeuds et entre tous les noeuds d'un petit réseau de transport, le réseau étant pris comme exemple d'application de l'algorithme. Cependant, il s'agit, encore une fois, d'une mesure de connexité avec tous les inconvénients au niveau du temps de calcul que ce type de mesure apporte.

A part les articles publiés en fiabilité des services d'autobus, il existe très peu de publications concernant la fiabilité du transport routier. En effet, nous avons vu que les mesures de connexité pure ne sont pas réalistes et ne peuvent être trouvées, comme dans le cas des travaux de Hagstrom (1983), que pour des petits réseaux.

Sansó et Soumis (1991) proposent, pour la première fois, une méthode généralisée pour évaluer une mesure de fiabilité, pour plusieurs types de réseaux de flot. La méthode est basée sur l'énumération partielle des états les plus probables et la mesure et l'espérance d'un certain paramètre Z qui varie selon le type de réseau et selon qu'il s'agit d'une mesure vue par le client ou par le planificateur de système. Sansó et Soumis (1991) introduisent brièvement la problématique derrière l'évaluation de $E[Z]$ dans le cas du transport routier. Pour ce type de réseau, la panne est représentée par un accident dans un tronçon de circulation. L'évaluation de $Z(i)$ dans les formules (5) et (6) entraîne la résolution d'un problème dynamique d'affectation du trafic. De plus, Sanso et Soumis (1991) considèrent que, dans le cas des réseaux de transport, il est plus intéressant d'énumérer les états les plus importants. Des détails sur les considérations de modélisation dans le cas des réseaux de transport sont donnés dans Sansó (1992).

Si Sansó et Soumis sont les premiers à proposer un modèle reliant les notions d'accident, d'affectation dynamique et de fiabilité des réseaux de transport, ils ne sont cependant pas les premiers à incorporer les accidents à la planification du transport routier.

Deux problèmes ont été identifiés. Le premier porte sur le comportement du conducteur étant donné qu'il sait qu'il existe une possibilité d'accident sur son chemin et qu'il essaiera d'emprunter une route alternative. Ce problème est traité dans la littérature d'équilibre stochastique.

Le premier modèle d'assignation probabiliste a été proposé par Dial (1971). Le modèle considère une répartition de la demande sur plusieurs chemins, d'après une proportion qui peut être interprétée comme une probabilité (voir Florian et Fox, 1975).

A partir du modèle de Dial, d'autres modèles ont été proposés en ce qui a trait à l'assignation du trafic en fonction de la notion de probabilité. Ces travaux ont été classifiés de façon exhaustive dans l'article de Mirchandani et Soroush (1987) où, pour la première fois on présente un modèle généralisé d'équilibre du trafic qui tient compte des variations probabilistes des temps de parcours et des perceptions des utilisateurs vis-à-vis de la possibilité d'avoir un accident.

Le deuxième point reliant fiabilité et assignation du trafic est celui de l'étude du trafic qui se réajuste après un accident. Ce problème touche les modèles dynamiques d'assignation de trafic (voir, par exemple, Iida Kitamura, 1990, Drissi et Hameda 1992; Chang, Ho et Wui, 1993).

IV. CONCLUSIONS

La fiabilité n'est pas un paramètre très étudié dans le cas des réseaux de transport routier. Ce fait surprenant est dû principalement aux types de mesures classiques de fiabilité qui ne sont pas appropriées, par leur nature et leur difficulté de calcul, aux réseaux de transport.

Nous avons fait un survol des mesures les plus répandues et des approches de résolution pour les calculer. Après une critique sur l'applicabilité de chacune de ces mesures et méthodes de calcul aux réseaux de transport routier, nous pouvons conclure que les mesures de performance ("performabilité") sont les plus appropriées. Nous renvoyons le lecteur intéressé au travail de Sanso (1992), où l'application de ces mesures est explorée.

Des problèmes connexes à celui traité ont été survolés, à savoir, la littérature des modèles stochastiques d'équilibre et celle de l'affectation dynamique. Ces deux problèmes sont étroitement reliés aux problèmes de fiabilité en transport et ceux-ci devraient éventuellement être interreliés. Cependant, bien que l'assignation dynamique de trafic soit la voie de l'avenir pour incorporer les accidents à la planification du transport, on est encore loin d'un algorithme performant pour résoudre ces problèmes de façon exacte. Des modèles plus complexes, qui tiennent compte et du comportement du conducteur face à une situation stochastique et du comportement dynamique du trafic devraient être développés pour tenir compte des accidents dans la planification du transport routier.

V. REFERENCES

Aggarwal, K.K., Chopra, Y.C. et Bajwa, J.S. (1982), "Capacity Consideration in Reliability Analysis of Communication Systems", *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 31, pp.177-181.

Agrawal, A. et Satyanarayna (1984), "An O(IEI) Time Algorithm for Computing the Reliability of a Class of Directed Networks", *Operations Research* 32, pp. 493-515.

Ball M.O. (1979), "Computing Network Reliability", *Operations Research* 27 (4), pp.823-838.

Ball, M.O., Hagtrom, J.N. et Provan, J.S. (1993), "Threshold Reliability of Networks with Small Failure Sets", Working paper TR93J,3, The Institute for Systems Research, University of North Carolina at Chapell Hill.

Ball, M.O., Colburn, C. et Provan, J.S. (1993), "Network Reliability", à paraître, *Handbook of Operations Research.*

Cavers, J.K. (I975), "Cutset Manipulations for Communication Network Reliability Estimation", *IEEE Transactions on Commurucations*, vol. COM-23, no 6.

Chang, G.L., Ho, PK. et Wei, C.H. (1993), "A Dynamic System-Optimum Control Model for Commuting Traffic Corridors", *Transportation Research C*, vol. lC, no 1, pp. 3-22.

Chiou, S.N. et Li, V.O.K. (1986), "Reliability Analysis of a Communication Network with Multimode Components", *IEEE Transactions on Selected Areas of Communication*, SAC-4, pp. 1156-1161.

Dial, R.B. (1971), "A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model which Obviates Path Enumeration", *Transportation Research* 5, pp. 83-111.

Douillez, P. et Jamoulle, E. (1972), "Transportadon Networks with Random Arc Capacities", *Revue Française d'Automatique, Informatique et Recherche Opérationnelle*, pp. 45-49.

Drissi-Kaitouni, O. et Hamada-Benchekroun, A. (1992), "A Dynamic Traffic Assignment Model and a Solution Algorithm", *Transportation Science* 26, pp. 119-128.

Fishman, G.S. (1987), "A Monte Carlo Sampling Plan for Estimating Reliability Parameters and Related Funcdons", *Networks* 17, pp. 169-186.

Florian, M. (1982), "An Introduction to Network Models Used in Transportation Planning", publication #i62, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Florian, M. et Fox, B. (1976), "On the Probabilistic Origin of Dial's Multipath Traffic Assignment Model", *Transportation Research*, vol. 10, pp. 339-341.

Ford, L.R. et Fulkerson, D.R. (1974), "Flots dans les graphes", Gauthiers-Villars éditeur, Paris.

Frank, H. (1974a), "Survivability Analysis of Command and Control Networks - Part *I*", *IEEE 7ransactions on Communications*, vol. COM-22, no 5, pp. 589-595.

Frank, H. (1974b), "Survivability Analysis of Command and Control Networks - Part II", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-22, no 5, pp. 596-605.

Hagstrom, J.N. (1990), "Computing the Probability Distribution of Project Duration in a PERT Network",, *Networks* 20, pp. 231-244.

Hagstrom, J.N. (1983), "Using the Decomposition-Tree of a Network in Reliability Computation", *IEEE Transactions on Reliability* 32, pp. 71-78.

Hansler, E., McAuliffe, G.K. et Wilkov, R.S. (1974), "Exact Calculation of Computer Network Reliability", *Networks* 4, pp. 95-112.

Iida, Y. et Kitamura, R. (1990), "Dynamic Travel Behavior Analysis", Special issue, *Transportation Research* 24A.

Jordan, W.C. et Turnquist, M.A. (1979), "Zone Scheduling of Bus Routes to Improve Service Reliability", *Transportation Science 13(3)7* pp. 242-268.

Lam, Y. et Li, V.O.K. (1986), "An Improved Algorithm for Performance Analysis of Networks with Unreliable Components", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-34, pp. 496-497.

Lee, S.H. (1980), "Reliability Evaluation of a Flow Network", *IEEE Transaction on Reliability*, vol. 29, no 1, pp. 24-26.

Li, V.O.K. et Silvester, J.A. (1984), "Performance Analyses of Networks with Unreliable Components", *IEEE Transactions on Communicanons* 32, pp. 1105-1110.

Mirchandani, P. et Soroush, H. (1987), "Generalized Traffic Equilibrium with Probabilistic Travel Times and Perceptions", *Transportation Science* 21(3), pp. 133-151.

Politof, T. et Satyanarayana (1986), "Network Reliability and Inner-Four-Cycle-Free Graphs", *Mathematics of Operations Research* 7, pp. 97-111.

Resende, L.I.P. (1988), "Implementation of a Factoring Algorithm for Reliability Evaluation of Undirected Networks", *IEEE Transactions on Reliability* R-37.

Resende, M.G.C. (1986), "A Program fcr Reliability Evaluation of Undirected Networks via Polygon-to-Chain Reductions", *IEEE Transactions on Reliability* R-35, pp. 24-29.

Sansó, B. (1992), "Planification des réseaux de transport routier en fonction de la notion de fiabilité", publication #847, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Sansó, B. et Soumis, F. (1991), "Communication and Transportation Networks Reliability Using Routing Models", *IEEE Transactions on Reliability* 40(1), pp. 29-38.

Sansó, B. (1988), "Fiabilité et routage dans un réseau de télécommunicadons", thèse de doctorat, publication #602, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

Sheffi, Y. et Powell, W. (1981), "A Comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignement Over Congested Networks", *Transportation Research* 15B, pp. 53 64.

Sheffi, Y. et Powell, W. (1982), "An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times", *Networks* 12, pp. 191-207.

Shier, D.R. (1988), "A New Algorithm for Performance Analysis of Communication Systems", *IEEE Transactions on Communicatins,* vol. COM-36, pp. 516-519.

Shogan, A.W. (1982), "Modular Decomposition and Reliability Computation in Stochastic Transportation Networks Having Cutnodes", *Networks* 12, pp. 255-275.

Turnquist, M.A. et Bowman, L.A. (1980), "The Effect of Network Structure on Reliability of Transit Service", *7'ransportation Research* 14B, pp. 79-86.

Van Slyke, R.M. et Frank, H. (1992), "Network Reliability Analysis: Part *I*", *Nenvorks* 1, pp. 279-290.

Wald, J.A. et Colbum, C.J. (1983), "Steiner Trees in Probabilistic Networks", *Microelectronics and Reliability* 23, pp. 837-840.

Wood, R.K (1985), "A Factoring Algorithm Using Polygon-to-Chain Reductions for Computing k-terminal Network Reliability' *Networks* 15, pp. 173-190.