

# INDICATEURS DE PERFORMANCE POUR LA CARACTÉRISATION DU NIVEAU DE SÉCURITÉ DES GIRATOIRES

S. CANALE, S. LEONARDI, G. PAPPALARDO

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Catania, Italia  
scanale@dica.unict.it, sleona@dica.unict.it, giusy.pap@dica.unict.it

## RÉSUMÉ

Les giratoires extra-urbains présentent une qualité importante: l'amélioration des caractéristiques de par rapport à les autres typologies de carrefours. Avec la présente étude, on veut proposer une méthodologie de validité générale qui, en se basant sur une série de paramètres (de géométrie, de trafic, de vitesses effectives), permet de caractériser les prestations, en termes de sécurité, des giratoires. L'objectif final est celui de déterminer des indicateurs de performance nécessaires pour définir le niveau de dangerosité des giratoires de grand diamètre, typiques des contextes extra-urbains. Les indicateurs ainsi déduits, s'appuieront aux paramètres traditionnels (niveau de service, capacité) que, à l'état actuel, ils définissent les prestations des giratoires exclusivement dans les termes de la qualité du service de transport.

## MOTS CLÉS

INTERSECTIONS / GIRATOIRES / SÉCURITÉ / PERFORMANCE / INDICATEURS

## 1. INTRODUCTION

L'évaluation de la sécurité des intersections routières est un problème très fréquent et déterminant pour élaborer les techniques d'intervention pour l'entretien et pour orienter les choix des projets des infrastructures de nouvelle réalisation.

L'expérience italienne est encore trop limitée pour pouvoir fournir des jugements définitifs sur les avantages réels, en termes de sécurité des giratoires par rapport aux autres typologies de carrefour.

Dans le conteste international, où des investigations très rigoureuses ont déjà été faites, il existe déjà une grande quantité de données qui met en évidence que les giratoires sont très efficaces pour la réduction du niveau de risque associé à leur utilisation (AA.VV. 2000).

Quant à la possibilité de prévoir les accidents des intersections routières, il est nécessaire de remarquer que en littérature il y a beaucoup de modèles de prévision applicables aux nœuds des réseaux routiers. Ces modèles exigent, d'après des formulations diverses, deux catégories de paramètres d'input: les flux du trafic et les caractéristiques géométriques des éléments qui définissent l'intersection (Curti, Marescotti, Mussone, 2001).

Un modèle "historique" pour évaluer le nombre des accidents des giratoires est celui qui a été proposé par Maycock et Hall en 1985. Il s'agit d'un modèle d'origine expérimentale, basé sur la valeur du trafic journalier moyen, (TJM) qui permet d'évaluer le nombre des accidents mortels et avec blessés (A) sur chaque bras d'accès au giratoire.

La formule proposée par Maycock et Hall est la suivante:

$$A = K \cdot Q_e^\alpha \cdot Q_c^\beta \cdot e^{\sum (b_i \cdot X_i)} \quad (1)$$

Où:

- $K, b_i$  = coefficients qui doivent être calculés par moyen des régressions;
- $\alpha, \beta$  = coefficients qui doivent être calculés d'après le flux;
- $Q_e, Q_c$  = flux entrants et sortants (TJM);
- $X_i$  = variables géométriques.

Un modèle plus récent, mais spécifique, pour la prévision des accidents des giratoires dans le cadre urbain, est celui de Kennedy, Hall et Barnard (1997).

Ce modèle est aussi d'origine expérimentale et sa représentation analytique est formellement identique à la formule (1).

Un autre modèle analytique pour l'évaluation des accidents des giratoires est celui d'Arndt et Troutbeck (Arndt, Troutbeck, 1995), successivement perfectionné par Arndt même (Arndt, 2000). Ce modèle n'est pas expérimental, mais théorique et les données d'input sont:

- le schème géométrique du giratoire;
- la vitesse sur chaque bras d'accès;
- les volumes de trafic pour toutes les manœuvres.

Les formules proposées par Arndt consentent d'évaluer, pendant un période d'une année, le nombre des sinistres associés à chaque typologie d'accident:

- 1) accidents d'un véhicule isolé;
- 2) tamponnements aux accès;
- 3) tamponnements entre les véhicules entrants et sortants;
- 4) tamponnements entre les véhicules sortants et circulants;
- 5) tamponnements latéraux;
- 6) autres types d'accidents.

Ce modèle, bien que soit basé sur des suppositions totalement théoriques, a donné, quand on l'a appliqué, des résultats très semblables à la situation réelle; pour cette raison ce group de recherche à décidé d'employer ce modèle pour l'évaluation de l'indicateur de performance des giratoires. On doit souligner, que les auteurs de cet article s'occupent depuis quelques années des problèmes qui concernent l'évaluation des caractéristiques

de prestation des giratoires, tant urbains que extra urbains (Canale, Leonardi, Pappalardo, 2001; Canale, Leonardi, Pappalardo, 2002; Leonardi, Pappalardo, 2002).

Avec la présente étude, on veut proposer une méthodologie de validité générale qui, en se basant sur une série de paramètres d'input (géométrie, trafic, vitesses effectives), permet de caractériser les prestations, en termes de sécurité des giratoires.

On va définir des indicateurs de prestation qui permettent de quantifier un seul Indicateur de Performance, utile pour caractériser le niveau de sécurité des giratoires.

## **2. PROCEDURE POUR L'EVALUATION DE L'INDICATEUR DE PERFORMANCE**

La première phase de la procédure comporte l'évaluation de l'indicateur synthétique approprié pour décrire le niveau de sécurité d'un giratoire extra-urbain. On a jugé convenable de se référer au nombre total des accidents prévus pendant une année, évalué en se basant sur le modèle théorique élaboré par Arndt.

On a donc déterminé l'indicateur des accidents (A), quantifiable par moyen des relations proposées par Arndt (Arndt, 2000):

$$A = A_{sp} + A_{sa} + A_r + A_e + A_d + A_{SS} + A_l \quad (2)$$

On a prévu d'évaluer l'indicateur des accidents pour un ensemble de giratoires potentiellement présents dans les contextes extra-urbains, dans le but de proposer une méthodologie de validité générale.

En particulier:

- on a considéré des giratoires avec quatre bras disposés symétriquement;
- on a adopté des rayons extérieurs variable entre 30 et 100 m, à intervalles de 10 m;
- les conformations des accès ont été variées à la mesure que l'occasion présente, en fonction du rayon adopté pour la couronne giratoire, afin que du rayon de déflexion des trajectoires véhiculaires, cohérents avec les vitesses prévues, soient toujours garantis;
- on a choisi deux configurations différentes en relation au nombre des voies: la couronne giratoire avec une seule voie et celle avec deux voies (module minimum de 3.75 mètres par voie).

Quant aux données du trafic on a prévu que:

- on se réfère au flux, circulant sur tous les giratoires, variable dans un intervalle entre 5000 et 50000 véhicules/jour, avec des degrés successifs de 5000 véhicules/jour;
- on subdivise également chaque flux sur les quatre bras qui composent l'intersection;
- on repart uniformément le flux de chaque bras, sur toutes les trois possibilités de manœuvre (traverser, tourner à gauche, tourner à droite).

Quant aux vitesses effectives des bras d'accès, en fin:

- on a considéré des valeurs entre 50 km/h et 100 km/h, à intervalles de 10 km/h;
- chaque valeur de la vitesse a été attribuée, sans variations, au quatre bras d'accès du giratoire considéré;
- les variations des vitesses effectives, a partir de la valeur d'entrée, ont été calculées en fonction de la conformation des toutes les trajectoires véhiculaires, selon la procédure proposée par Arndt.

Les résultats des élaborations ont été représentés par moyen d'une série de douze diagrammes (figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12).

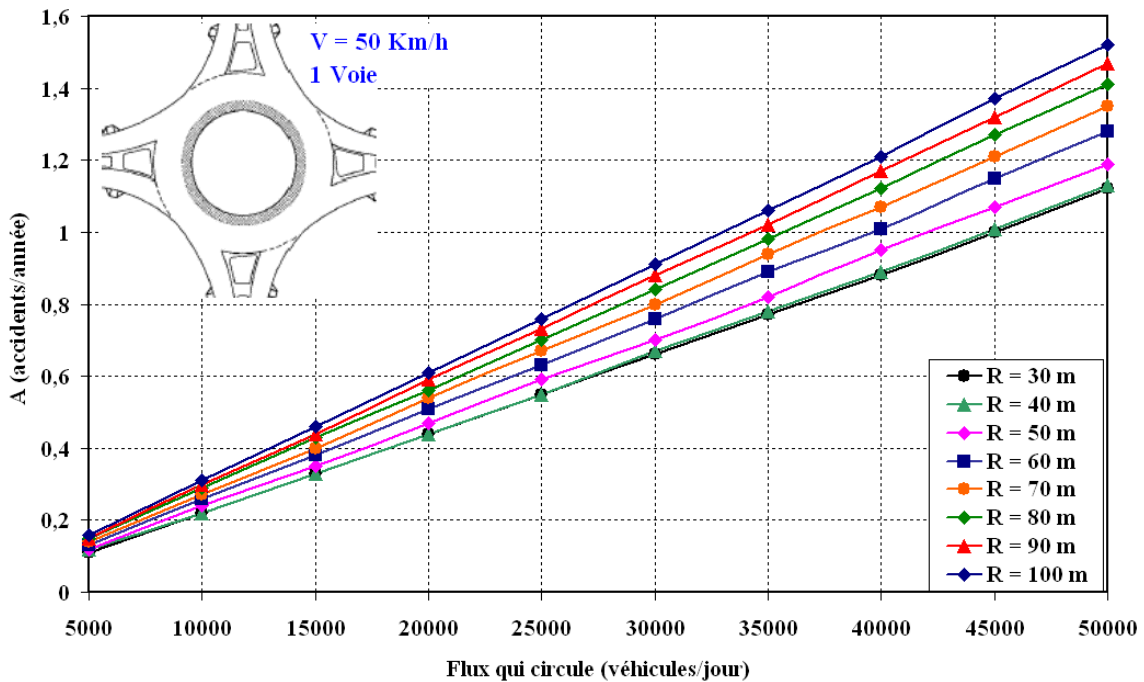


Figure 1 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=50 km/h)

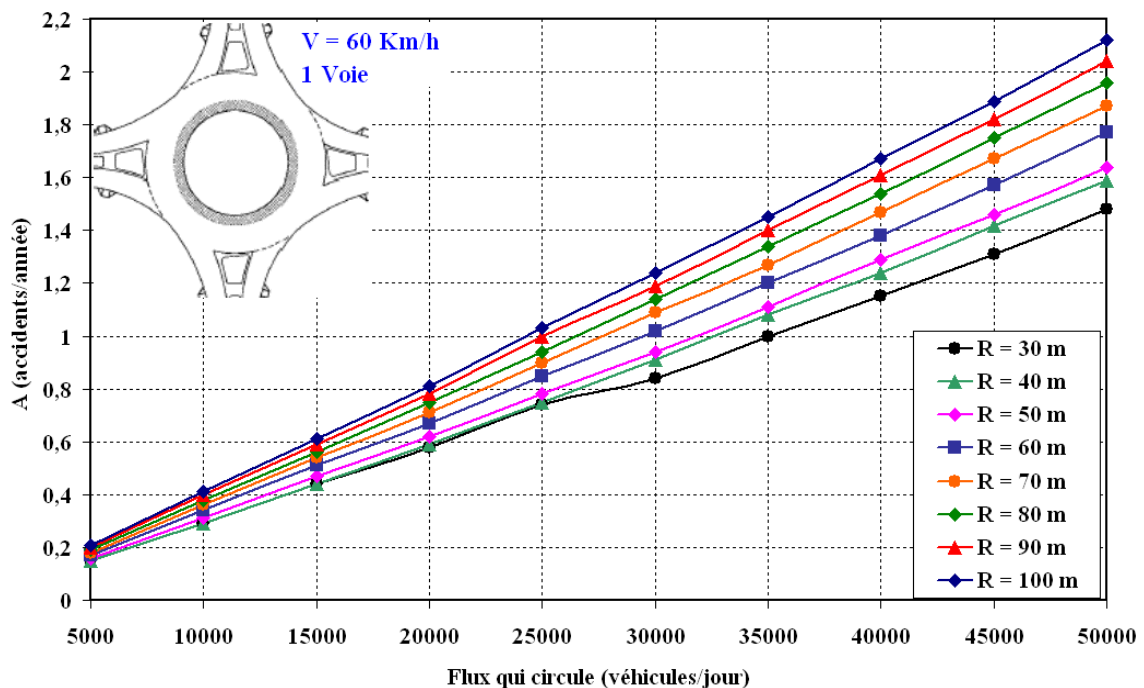


Figure 2 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=60 km/h)

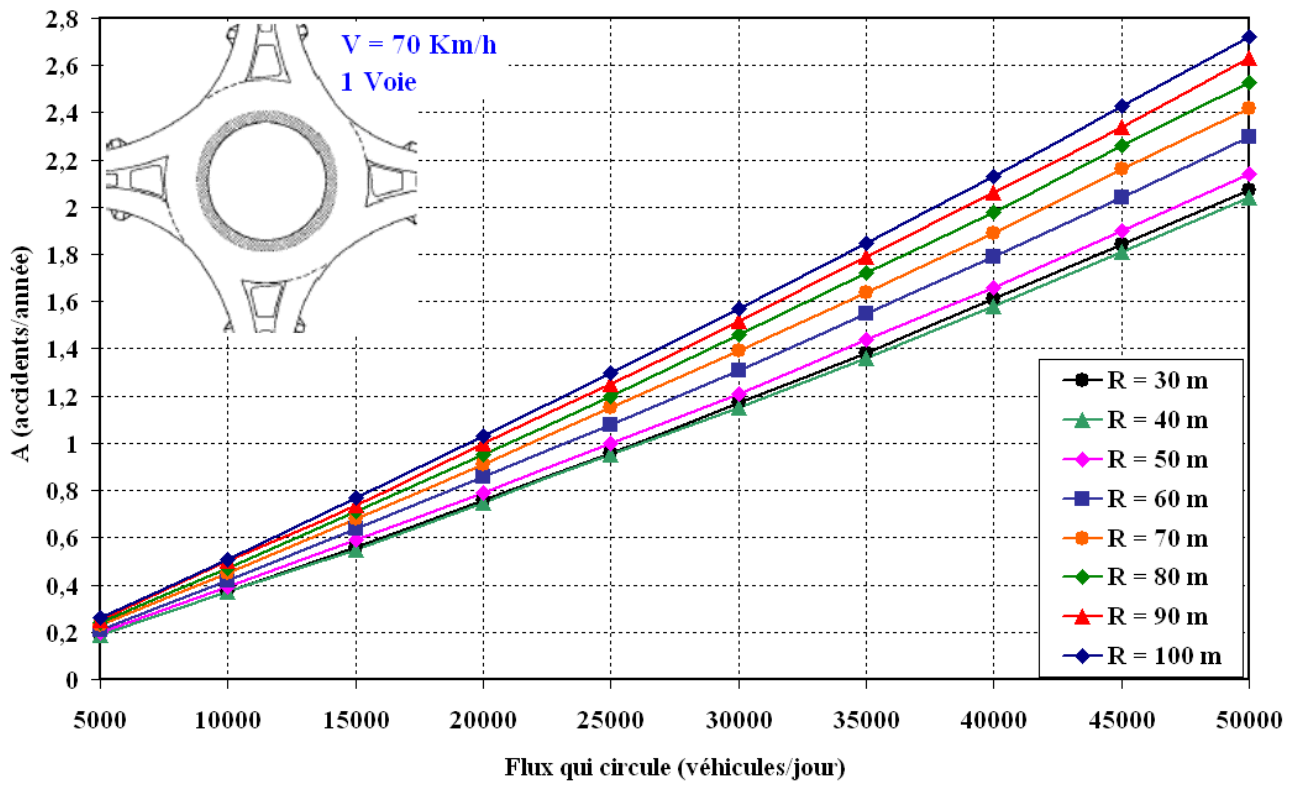


Figure 3 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=70 km/h)

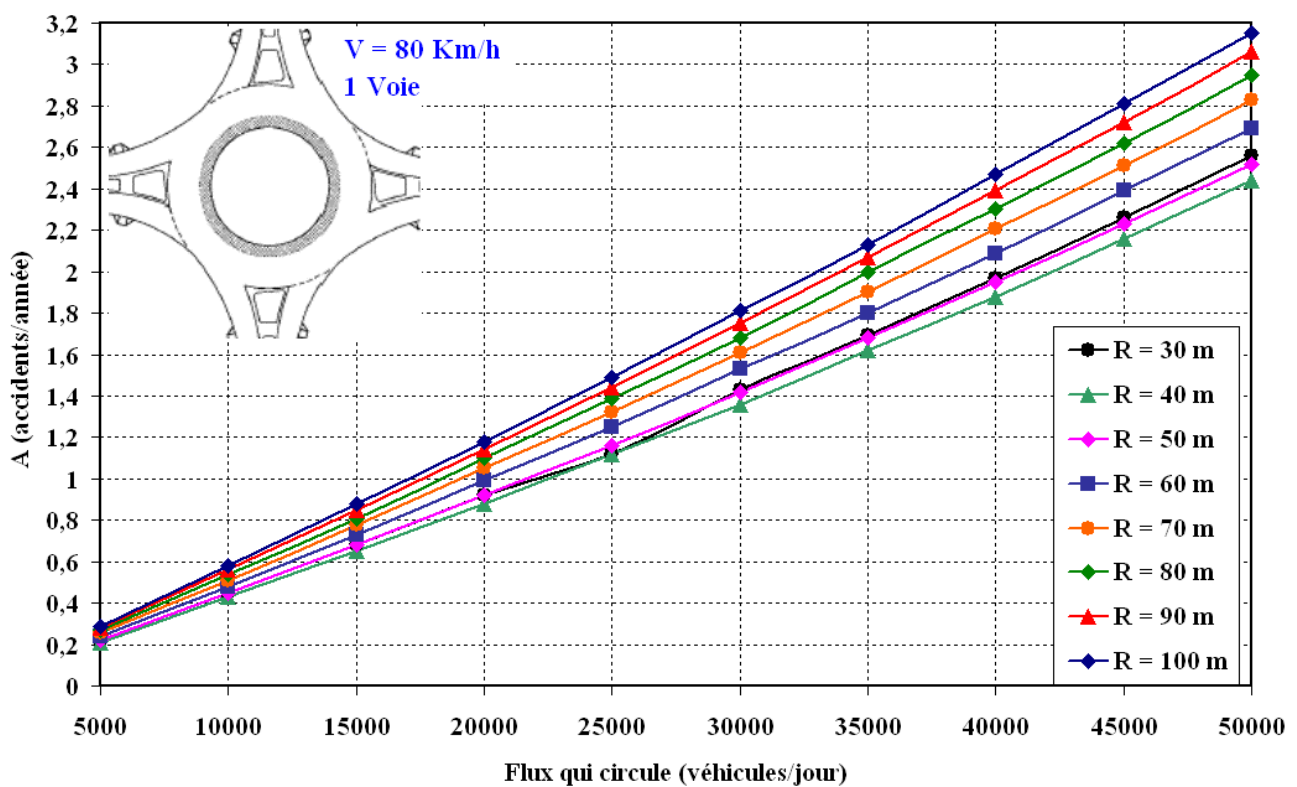


Figure 4 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=80 km/h)

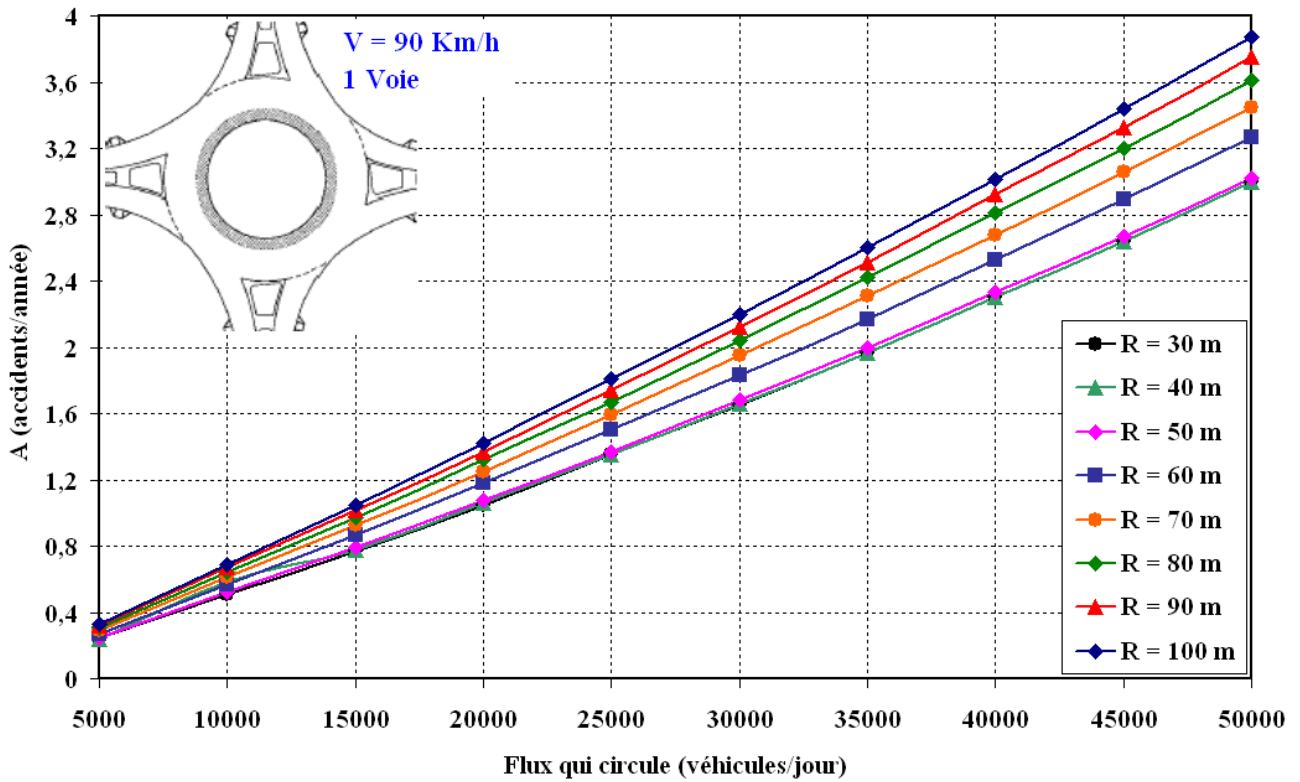


Figure 5 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=90 km/h)

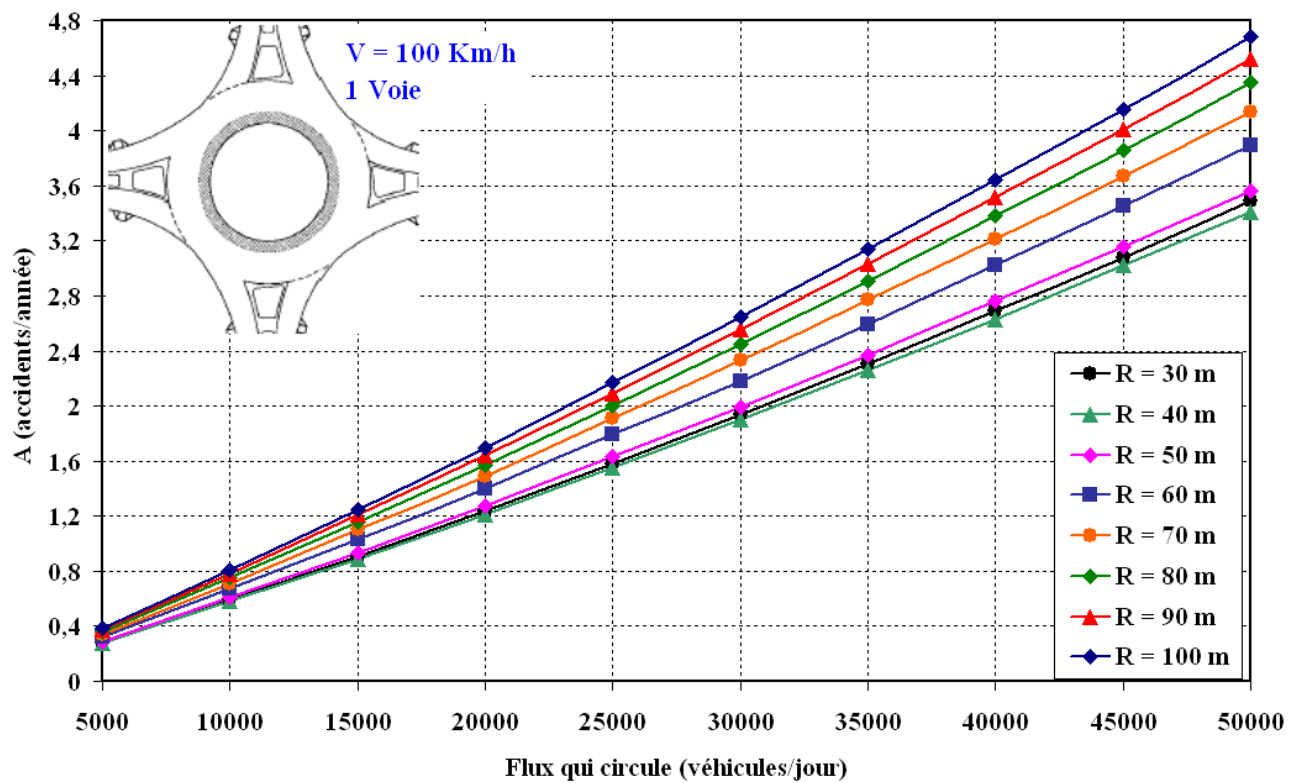


Figure 6 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (une voie, V=100 km/h)

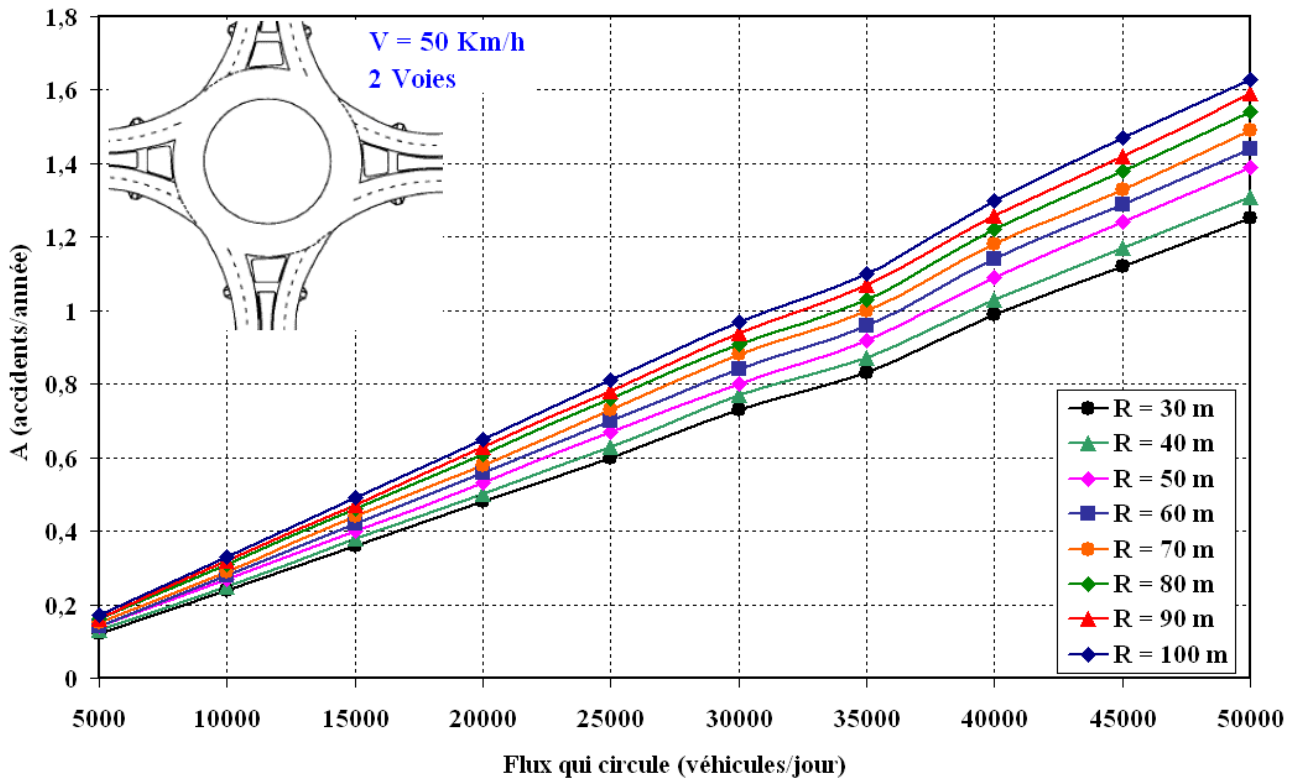


Figure 7 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=50 km/h)

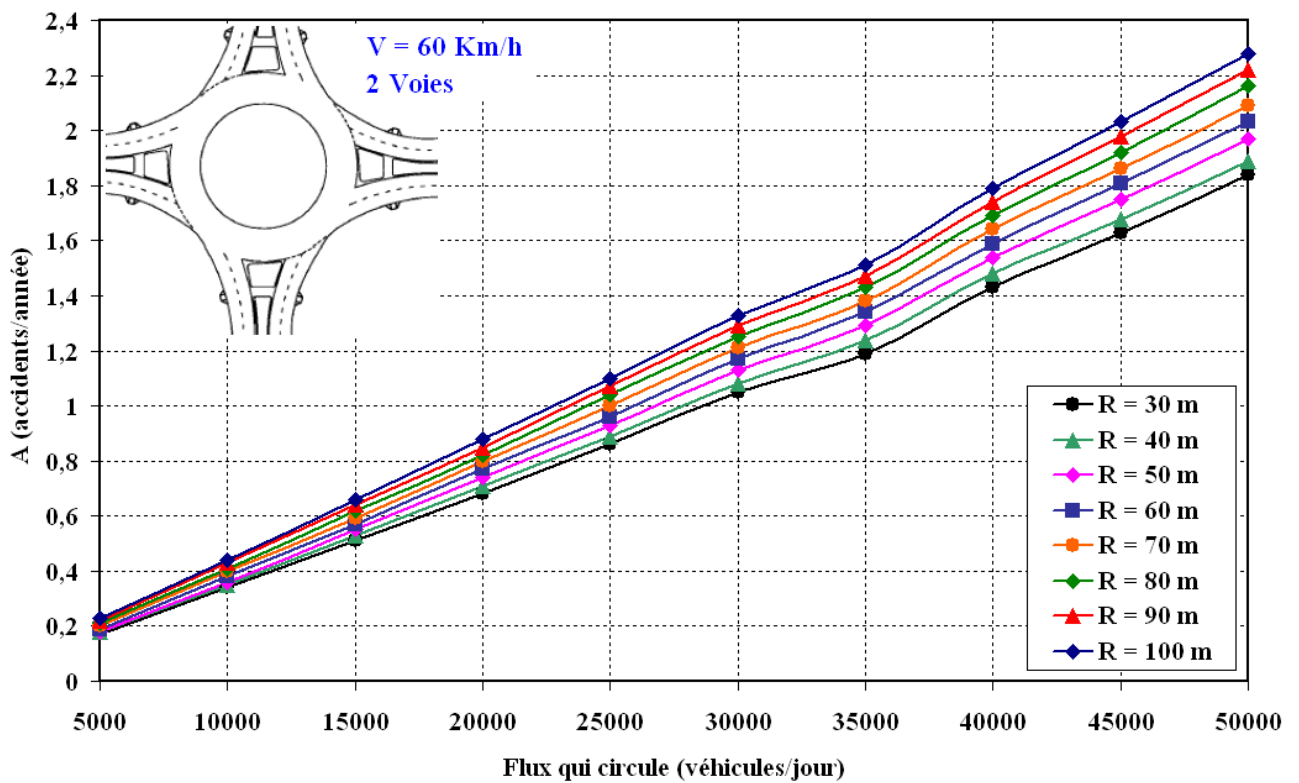


Figure 8 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=60 km/h)

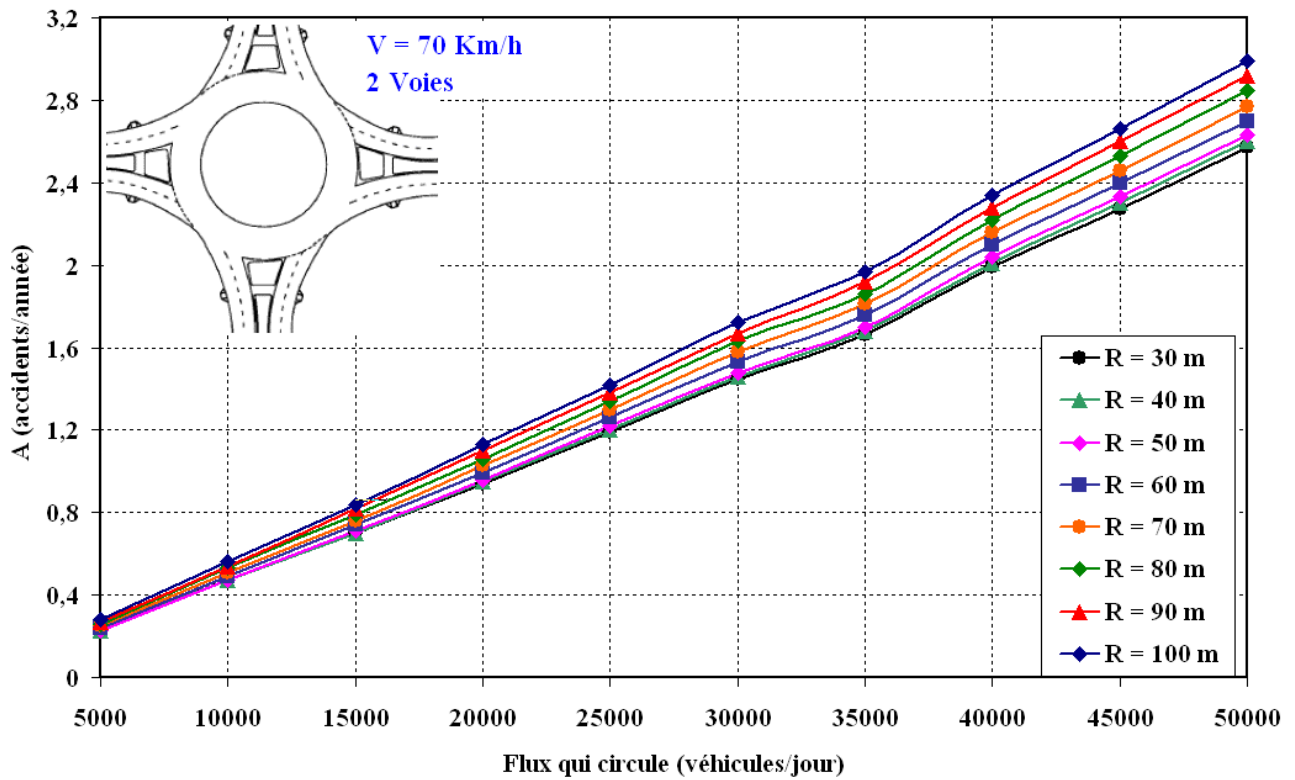


Figure 9 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=70 km/h)

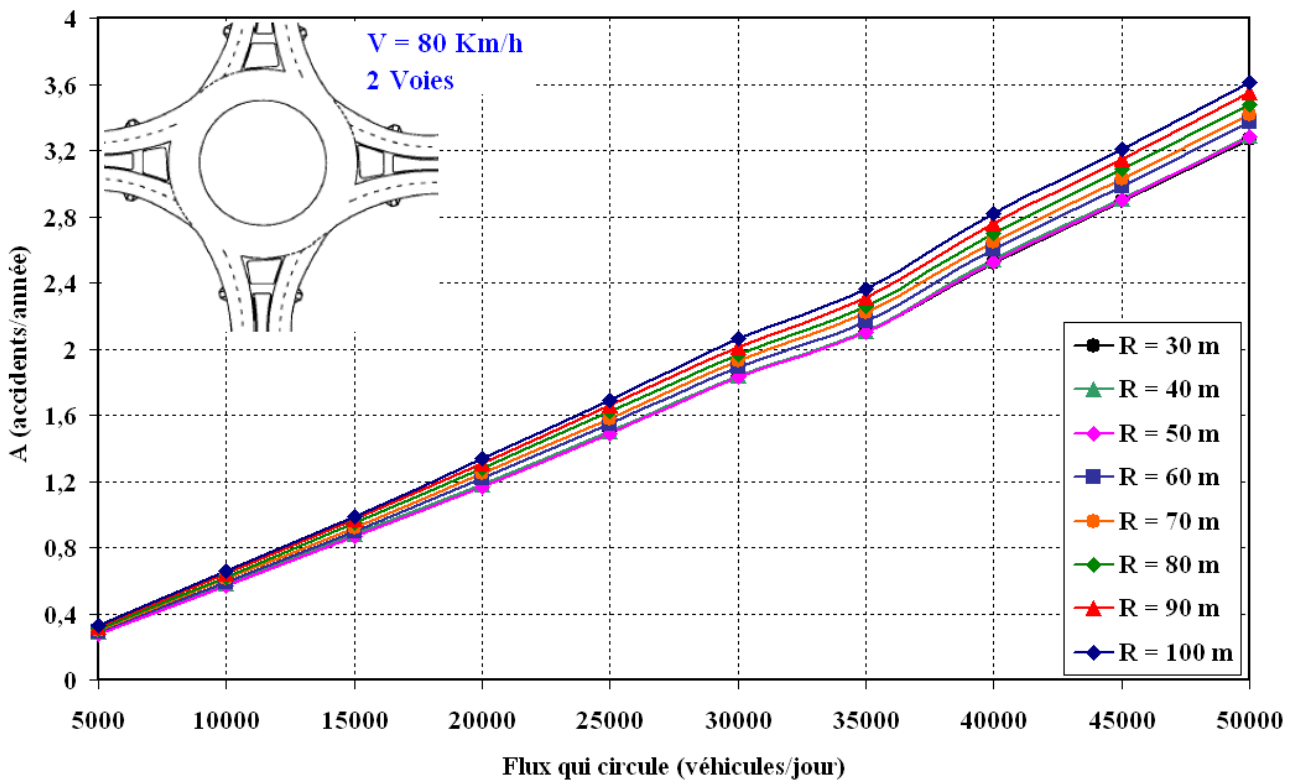


Figure 10 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=80 km/h)



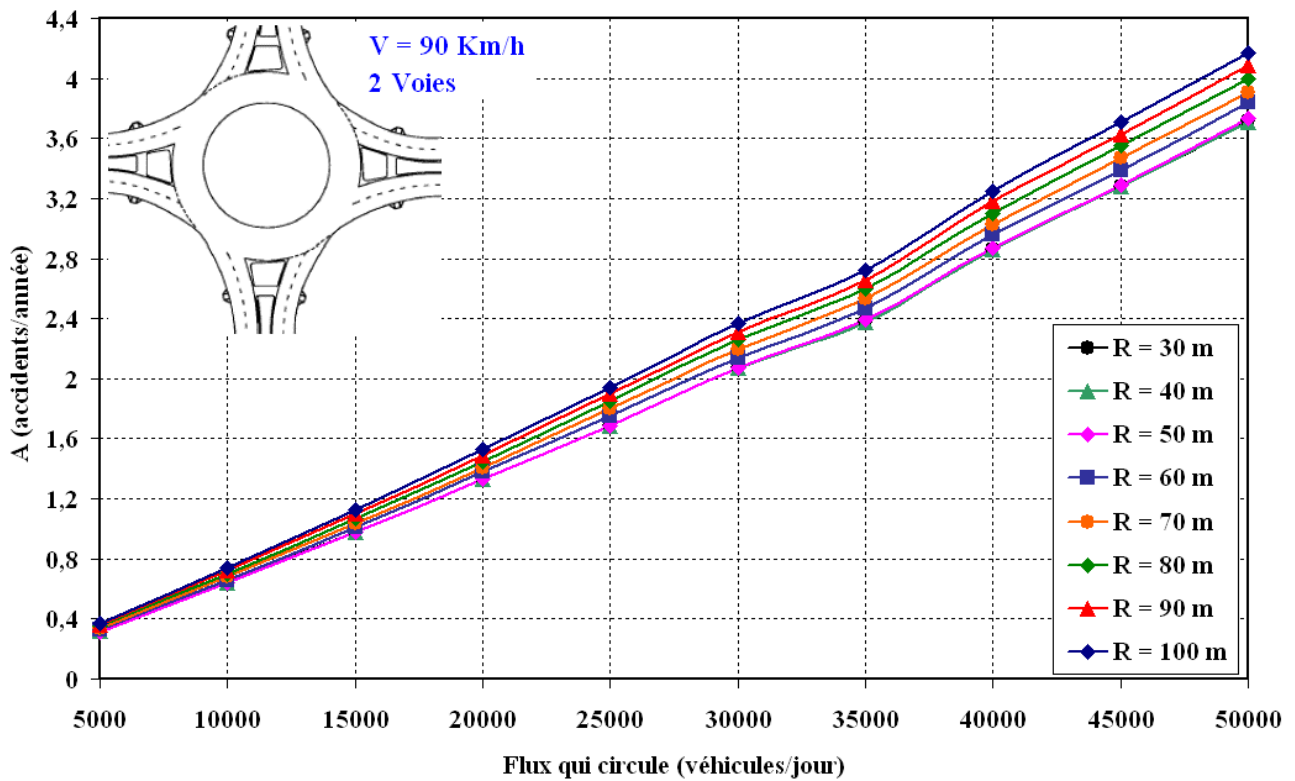


Figure 11 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=90 km/h)

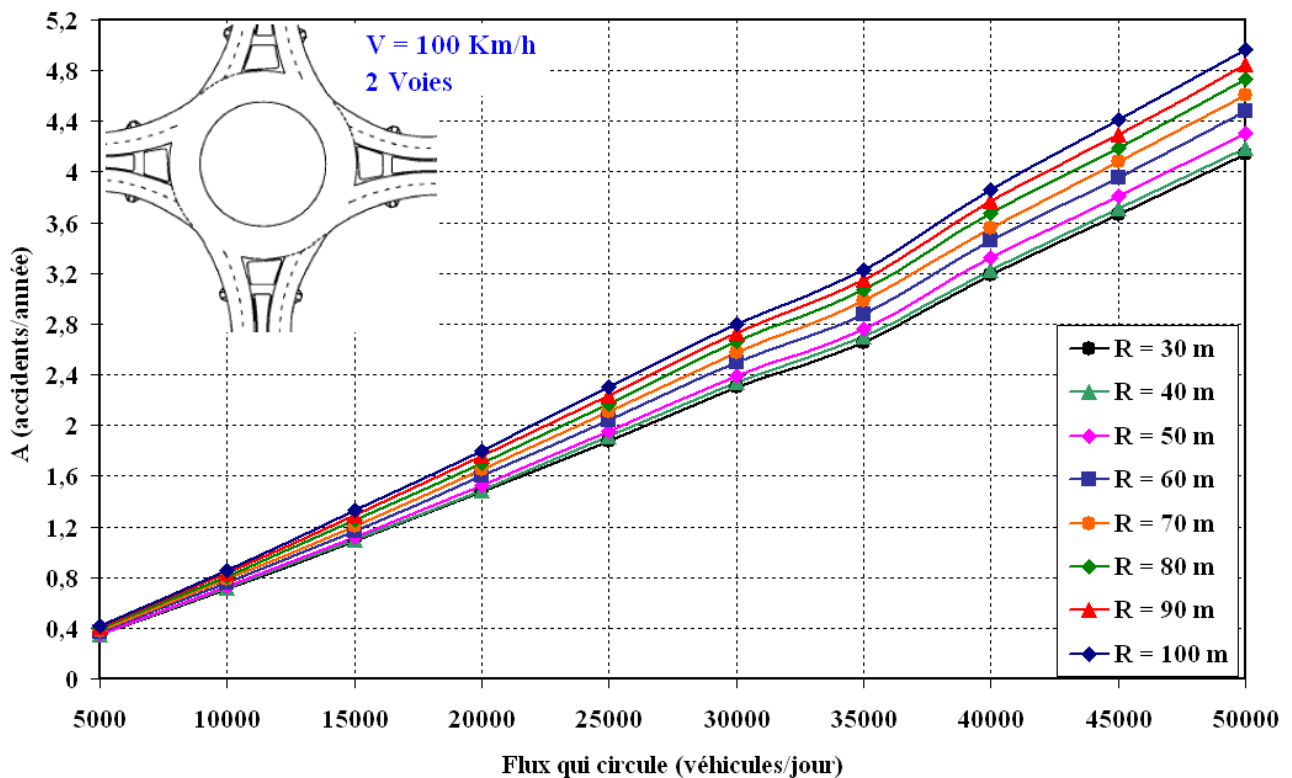


Figure 12 - Indicateurs des accidents sur les giratoires (deux voies, V=100 km/h)

De ces diagrammes on peut déduire immédiatement l'indicateur des accidents (A) associé à n'importe quelle configuration d'un giratoire; de leur analyse on peut déduire deux conclusions importantes:

- 1) Les giratoires avec deux voies sont plus dangereux que ceux avec une voie. Si l'on observe, par exemple, les configurations relatives à la vitesse de 90 Km/h, on peut observer que l'indicateur des accidents varie entre 3.85 et 2.95 pour les giratoires avec une seule voie, et entre 4.15 et 3.70 pour ceux avec deux voies; il y a un signifiant incrément du niveau moyen de dangerosité du 15%. Il s'agit d'un résultat prévu, si l'on considère l'incrément des conflits qui se manifeste sur les giratoires particulièrement grands.
- 2) Le niveau de dangerosité des giratoires augmente proportionnellement au rayon extérieur. Si l'on analyse, par exemple, le diagramme de la figure 2, relatif aux giratoires avec une voie et vitesse opérative de 60 km/h, on peut observer que l'indicateur des accidents a une valeur de 1.30, quand le rayon du giratoire est 30 m, mais le même indicateur a la valeur 2.15 si le rayon a une valeur plus élevée (R = 100 m); donc le niveau de risque augmente d'environ 60%.

On continue maintenant l'exposition de la méthodologie pour la détermination de l'Indicateur de Performance. Quant à la possibilité de considérer la circulation à vitesses différentes sur les bras d'accès du même giratoire, on a pensé de répéter toutes les élaborations dans l'hypothèse qui entre les deux directrices du giratoire, subsistent des écarts de vitesse de 10 km/h à 50 km/h.

Les résultats des élaborations ont permis de déduire une série de facteurs correctifs ( $f_v$ ), indiqués dans le table 1, qui peuvent être appliqués aux indicateurs des accidents.

Table 1 - Coefficients correctifs ( $f_v$ ) dus à la différenciation des vitesses

Vitesse (km/h)		Directrice principale					
		50	60	70	80	90	100
Directrice secondaire	50	$f_v=1.0$	$f_v=1.2$	$f_v=1.5$	$f_v=1.7$	$f_v=1.8$	$f_v=2.0$
	60		$f_v=1.0$	$f_v=1.15$	$f_v=1.3$	$f_v=1.4$	$f_v=1.6$
	70			$f_v=1.0$	$f_v=1.1$	$f_v=1.2$	$f_v=1.3$
	80				$f_v=1.0$	$f_v=1.1$	$f_v=1.2$
	90					$f_v=1.0$	$f_v=1.1$

Le deuxième aspect, qu'on doit considérer, concerne l'éventualité que les flux ne soient pas uniformément distribués.

Pour calculer le facteur correctif relativement à la distribution des flux, on a procédé de cette façon:

- on a commencé 18 cycles de calcul, caractérisés par des distributions différentes des flux, indiquées dans la table 2, pour un seul bras de la giratoire. Pendant l'exécution de chaque cycle de calcul, on a maintenu constamment uniforme le trafic des trois manœuvres associées aux trois bras;

Table 2 - Distribution des flux adoptée pour les manœuvres sur chaque bras

Cycle de calcul	Distribution du flux pour la manœuvre de tourner à droite	Distribution du flux pour la manœuvre de traverser	Distribution du flux pour la manœuvre de tourner à gauche
1°	40%	30%	30%
2°	30%	40%	30%
3°	30%	30%	40%
4°	50%	25%	25%
5°	25%	50%	25%
6°	25%	25%	50%
7°	60%	20%	20%
8°	20%	60%	20%
9°	20%	20%	60%
10°	70%	15%	15%
11°	15%	70%	15%
12°	15%	15%	70%
13°	80%	10%	10%
14°	10%	80%	10%
15°	10%	10%	80%
16°	90%	5%	5%
17°	5%	90%	5%
18°	5%	5%	90%

- on a comparé les valeurs des indicateurs de l'accident obtenus avec les indicateurs qui correspondent à la situation de base qui est caractérisée par des flux identiques pour toutes les manœuvres. De cette comparaison on a pu quantifier les facteurs correctifs relativement à la distribution des flux ( $f_a$ ) en fonction des répartitions des flux supposées pour les trois manœuvres possibles (Tab. 3). Les notations symboliques indiquées dans le tableau se réfèrent au schéma de la figure 13.

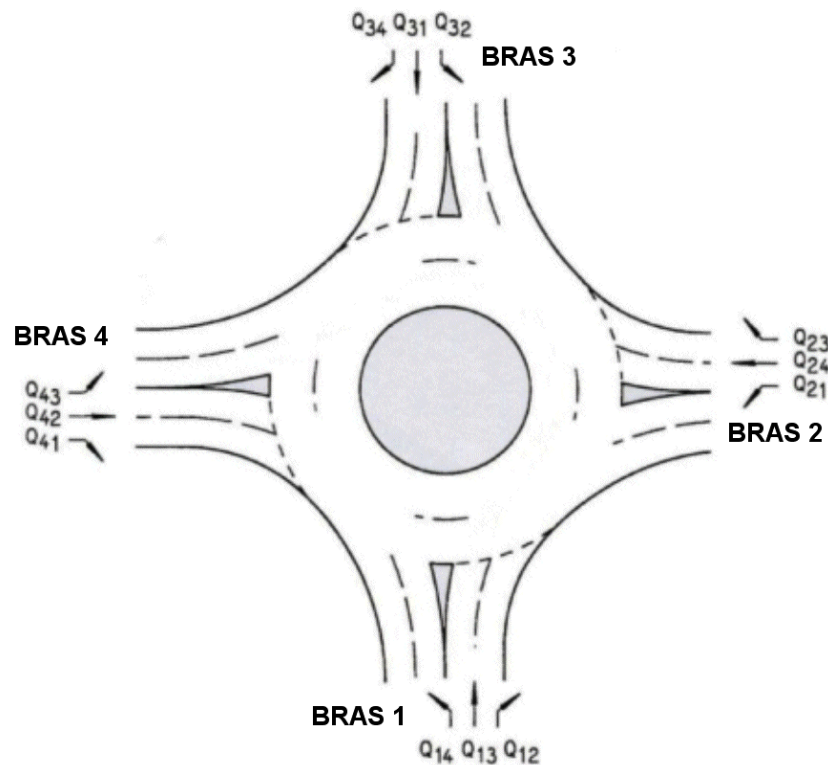


Figure 13 - Schéma d'un giratoire et notations symboliques des flux

Table 3 - Coefficients correctifs ( $f_a$ ) dus à la différente distribution des flux

Distribution en pour-cent des flux			$f_a$
$Q_{12}$	$Q_{13}$	$Q_{14}$	
$Q_{23}$	$Q_{24}$	$Q_{21}$	
$Q_{34}$	$Q_{31}$	$Q_{32}$	
$Q_{41}$	$Q_{42}$	$Q_{43}$	
40%	30%	30%	0.99
30%	40%	30%	1
30%	30%	40%	1.01
50%	25%	25%	0.98
25%	50%	25%	1
25%	25%	50%	1.02
60%	20%	20%	0.96
20%	60%	20%	1
20%	20%	60%	1.03
70%	15%	15%	0.94
15%	70%	15%	1
15%	15%	70%	1.04
80%	10%	10%	0.93
10%	80%	10%	1
10%	10%	80%	1.05
90%	5%	5%	0.91
5%	90%	5%	1
5%	5%	90%	1.06

On a prévu d'évaluer les indicateurs des accidents dans les situations où, pour deux ou plus bras, les flux sont distribués parmi les manœuvres selon les schèmes de répartition indiqués dans le tableau 2. On a donc commencé d'autres cycles de calculs organisés afin que l'on puisse prévoir que tous les quatre bras du giratoire aient des flux inégalement distribués sur les trois manœuvres.

De l'analyse des indicateurs des accidents obtenus et de la comparaison avec les indicateurs relatifs aux configurations précédentes (celle parfaitement équilibrées et celle avec un seul bras "non uniforme") il est résulté qu'il est possible de se référer aux coefficients correctifs indiqués dans le tableau 3, aussi pour ces cases où les bras déséquilibrés sont plus qu'un; *dans ce cas, il est nécessaire de considérer d'une fur à l'autre un seul bras déséquilibré, calculer les valeurs de  $f_a$ , et, en fin, multiplier entre eux les facteurs correctifs singulièrement obtenus.*

Le coefficient correctif global ( $f_{ag}$ ) pour la distribution inégale des flux sur chaque bras peut être représentée par la formule suivante:

$$f_{ag} = f_{a1} \cdot f_{a2} \cdot f_{a3} \cdot f_{a4} \quad (3)$$

où  $f_{a1}$ ,  $f_{a2}$ ,  $f_{a3}$  et  $f_{a4}$  sont les valeurs de  $f_a$  associées à tous les bras qui composent le giratoire.

Nous pouvons, donc, introduire le paramètre qui consent de quantifier le niveau global de sécurité qui est présenté potentiellement par les giratoires. Il s'agit de l'Indicateur de Performance des Giratoires ( $I_{PR}$ ) déterminé par la relation suivante:

$$I_{PR} = A \cdot f_v \cdot f_{ag} \quad (4)$$

On a pensé de subdiviser l'intervalle de variabilité de l'Indicateur de Performance en six classes fonctionnelles; cette subdivision a consenti d'introduire les Niveau de Service en termes de sécurité ( $LOS_S$ ):

- $LOS_S=A$  ( $0 < I_{PR} < 0.33$ ): indique les conditions idéelles, en termes de sécurité. L'indicateur  $I_{PR}$  est un indicateur d'accident relativement à l'intervalle temporel de 1 année; la fréquence d'un accident est donc théoriquement réduite à un seul sinistre tous les trois années (cette fréquence peut être normalement due à un taux d'accident "physiologique" qui ne peut pas être prévue et qui ne peut pas être éliminée).
- $LOS_S=B$  ( $0.33 < I_{PR} < 0.5$ ): indique les conditions favorables de sécurité. On a un seul accident tous les deux années.
- $LOS_S=C$  ( $0.5 < I_{PR} < 1.0$ ): détermine les configurations des giratoires modérément pas sûres. En effet, la valeur limite d'un accident par année est un indicateur des conditions de risque qui ne peuvent être plus dues au component physiologique ou casuel.
- $LOS_S=D$  ( $1.0 < I_{PR} < 2.0$ ): on peut affirmer que l'intersection est dangereuse et que des mesures doivent être adoptées (réduction de la vitesse, variation de la géométrie, limitation des flux véhiculaires, etc.) pour la diminution de la probabilité d'accident.
- $LOS_S=E$  ( $2.0 < I_{PR} < 3.0$ ): représente une situation limite quant à la dangerosité d'un carrefour. Une intersection que, pendant la phase de projet, présent ce niveau d'exercice doit être projetée de nouveau. Un giratoire que, pendant l'exercice, présent un niveau de service E, doit être prise en considération d'urgence pour des interventions de requalification.
- $LOS_S=F$  ( $I_{PR} > 3.0$ ): représente le dépassement de la valeur limite: cette situation indique que le réserve de sécurité est désormais épuisée.

### 3. CONCLUSIONS

Le but de l'étude présente était d'obtenir une procédure très facile et adéquate pour caractériser le niveau de sécurité des giratoires ( $R > 30$  m).

La définition des niveaux du service en termes de sécurité ( $LOS_S$ ) n'est que le but qu'une voulait obtenir.

L'Indicateur de Performance pour les giratoires ( $I_{PR}$ ) est justement le paramètre que, avec les autres indicateurs de transport traditionnels (capacité, retard), augmente le panorama des indicateurs de prestation des intersections routières et donne la possibilité de considérer aussi le niveau de sécurité des giratoires extra-urbains.

Les résultats obtenus encouragent les auteurs à rechercher d'autres méthodologies pour la caractérisation du niveau de sécurité d'autres typologies d'intersections routières, qui définissent les nœuds des réseaux routiers urbains et extra urbains.

## RÉFÉRENCES

- AA.VV. (2000) Roundabouts: an informational guide. Publication n° FHWA-RD-00-067. Department of Transportation. Federal Highway Administration. June 2000.
- O. Arndt (2000). Roundabouts. Chapter 14 in Road planning and design manual. Queensland Department of Main Roads. August 2000.
- O. Arndt, R. J. Troutbeck (1995). Relationships between roundabout geometry and accident rates. 1st International Symposium. TRB. Boston. August 1995.
- S. Canale, S. Leonardi, G. Pappalardo (2001). Mini-rotatorie urbane: ingressi a rischio. Rivista Onda Verde. Novembre/Dicembre 2001.
- S. Canale, S. Leonardi, G. Pappalardo (2002). Proposta di una metodologia per il calcolo del livello di servizio delle mini-rotatorie in ambito urbano. Atti del XXIV Convegno Nazionale Stradale dell'A.I.P.C.R. Saint Vincent (Aosta), 26/29 Giugno 2002.
- V. Curti, L. Marescotti, L. Mussone (2001). Rotonde. Progetto e valutazione per la sistemazione a rotonda delle intersezioni. Libreria CLUP. Milano, Febbraio 2001.
- S. Leonardi, G. Pappalardo (2002). Analisi delle prestazioni di sicurezza delle mini-rotatorie. Definizione del livello di servizio allargato. Atti del XII Convegno SIV. Parma, 30-31/10/2002.