

UNE NOUVELLE MÉTHODE D'ÉVALUATION DU RAPPORT ENTRE LE PROJET D'UN TRACÉ ET LE FACTEUR HUMAIN

A. BUCCHI, A. SIMONE & K. BIASUZZI

Département DISTART Sect. Routes, Université de BOLOGNE, Italie

alberto.bucchi@mail.ing.unibo.it

RÉSUMÉ

Le facteur humain est l'élément le plus important dans l'étude de la sécurité routière: en effet, les mécanismes de perception et de reconnaissance du risque et les processus décisionnels de l'utilisateur de la route conditionnent directement le risque d'accident. Le facteur naturel d'imprévisibilité des hommes rend difficile toute enquête visant à l'étude du comportement des usagers: il est évident que la psychologie et les réactions des conducteurs face à un contexte routier donné ne peuvent pas être quantifiées, mais il est nécessaire de les connaître afin de concevoir un environnement routier cohérent avec la perception, les capacités et les actions des conducteurs.

Ce sont là les raisons qui ont encouragé de nombreuses recherches visant à déterminer des paramètres révélant le comportement des usagers de la route. Le niveau de risque perçu sur des morceaux de route particuliers est sans aucun doute un des paramètres les plus valables et flexibles. En effet, le risque moyen perçu par les usagers sur un morceau de route donné est un indicateur de l'homogénéité du tracé même; de plus, il influence directement le comportement des usagers pendant leur chemin.

Sur la base de ces principes, on a développé une méthodologie d'analyse du comportement de l'utilisateur de la route: un formulaire-interview à remplir, par lequel un échantillon représentatif de la population des usagers exprime un jugement personnel sur le niveau de risque perçu dans des situations et des contextes routiers particuliers; la valeur du niveau de risque est indiquée sur une échelle de points. Grâce à ce procédé on a pu recueillir une grande quantité de données numériques sur lesquelles on a conduit une analyse statistique approfondie; d'une part, cette analyse a donné des conclusions intéressantes d'un point de vue psycho-comportemental; de l'autre part, au moyen de quelques modèles de régression dédiés, elle nous a permis de mettre en relation directe le niveau de risque moyen perçu par les usagers et les caractéristiques géométriques et environnementales du tracé routier. Il s'agit d'un résultat très important dans le domaine de la construction routière, car il représente une des premières approches concrètes qui prend directement en compte les attentes des usagers qui devront parcourir les routes à réaliser.

MOTS-CLÉS

SÉCURITÉ ROUTIÈRE / RISQUE PERÇU / FACTEUR HUMAIN / HOMOGENÉITÉ DU TRACÉ (DESIGN CONSISTENCY).

1. INTRODUCTION

Les méthodologies qui tiennent compte de l'interaction homme-infrastructure dans le projet d'un tracé routier peuvent être subdivisées en trois grands groupes:

1. les méthodes qui classifient l'activité de conduite à travers l'évaluation de paramètres de contrôle, comme la vitesse opérationnelle (représentée normalement par la V_{85}), les trajectoires effectuées par les conducteurs et le diagramme des vitesses (Lamm et al., 1999);

2. les méthodes qui évaluent le profil géométrique du tracé, à travers l'analyse de la coordination plani-altimétrique et la détermination de la design consistency avec des paramètres géométriques appropriés (*Degree of Curvature – DC, Horizontal/Vertical Curvature Change Rate – CCR*) (Lamm et al., 1994);

3. les méthodes qui évaluent le comportement des conducteurs en rapport au tracé grâce à des listes spéciales de contrôle (*consistency checklists*) ou de paramètres (*Driver Workload, Driver Visual Demand, Driver Hazard Perception*) déterminés par des études sur des tracés d'essais sur route ou à l'aide de simulateurs de conduite (Wooldridge et al., 1994).

C'est dans ce dernier groupe que se place la méthodologie développée dans cette étude. À partir de la prémisse que l'activité de conduite est sans cesse modulée par le degré réel de danger perçu par l'utilisateur en parcourant la route, nous avons pris le Risque Perçu comme paramètre d'évaluation du rapport homme-infrastructure.

2. L'ENQUÊTE-PILOTE

Pour effectuer l'étude, nous avons filmé un tronçon d'une route départementale d'environ 10 km, à chaussée unique et ayant une voie par sens de circulation, et avec intersections à niveau sans réglage de feux de circulation. Cette route traverse de petits centres urbains et est dépourvue de barrières de sécurité. La caméra a été placée à hauteur de l'œil d'un conducteur dans un véhicule léger ayant roulé à une vitesse moyenne de 55 km/h. Sur la base de ce film, nous avons rédigé un questionnaire-interview qui a été proposé à un échantillon sélectionné de 51 automobilistes, de 22 à 79 ans, ayant des expériences de conduite automobile différentes et mesurées sur la base des années de permis et de km parcourus par année. Dans le questionnaire, nous avons d'abord demandé un jugement subjectif sur le degré de risque perçu, sur la prévisibilité du développement plani-altimétrique, sur la section routière, sur la vitesse de parcours du tronçon en conditions de sécurité en cas de pluie et sur l'influence des éventuels dispositifs de retenue dans la sécurité de cette route. Successivement, nous avons de nouveau proposé les images de deux petits tronçons de la route, un en milieu urbain et un en milieu extra-urbain, tous les deux caractérisés par une série de quatre tournants, et en demandant le risque perçu sur le parcours de chacun des tournants et ensuite de l'ensemble du tronçon (Fig. 2). Tous les jugements subjectifs ont été exprimés sur une échelle ponctuelle de 1 à 7 (Fig. 1).

D.3 QUEL DEGRÉ DE RISQUE PERCEVEZ-VOUS EN PARCOURANT LA ROUTE?

(1 = très faible, 7 = très élevé)



-	1	2	3	4	5	6	7	+
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figure 1 – Structure du questionnaire

3. ANALYSE ET ÉLABORATION DES DONNÉES

3.1. Considérations de type psycho-comportemental sur les usagers de la route

L'interprétation des statistiques descriptives et des histogrammes des fréquences relatifs aux données recueillies, appuyée par une analyse de type à échantillons, a permis d'obtenir des considérations de caractère psycho-comportemental sur la population des usagers de la route de l'Italie du nord. La route a été classée comme moyennement dangereuse, car la valeur du risque moyen perçu est de 4.12 points sur 7. L'échantillon soutient cependant qu'il pourrait la parcourir à une vitesse plus élevée de celle proposée par le film, en maintenant la vitesse de reprise (55 km/h) seulement en cas de mauvais

temps. Il en ressort donc la tendance, typique sur les routes départementales de prendre des vitesses trop élevées par rapport à la typologie de la route parcourue. L'analyse des corrélations linéaires bivariées a montré ensuite qu'un tracé prévisible et la présence de barrières de sécurité diminuent de façon significative le risque perçu. Nous avons enfin évalué l'influence de l'expérience de conduite automobile sur les réponses en divisant l'échantillon en deux groupes sur la base de l'âge et des années de conduite, et en appliquant les procédures "ANOVA" et les "Tableaux de Contingence". Toutes les deux ont montré que le groupe des "usagers experts" (âge moyen de 55 ans, moyenne d'années de conduite de 32) a tendance à maintenir des vitesses de parcours inférieures par rapport au groupe des "usagers inexperts" (âge moyen de 23 ans, moyenne d'années de conduite de 5), soit en bonnes conditions atmosphériques qu'en cas de pluie, et malgré le fait de considérer la route moins dangereuse.

3.2. Risque perçu et caractéristiques géométriques de la route

L'enquête a permis d'évaluer par la suite l'influence que peuvent exercer les caractéristiques géométriques et environnementales de la route sur le risque perçu par l'usager qui la parcourt. L'échantillon comme prévu, considère, de façon significative, le milieu urbain plus dangereux que celui en campagne. Pendant la conduite en tournant le risque moyen perçu augmente avec la largeur et diminue quand augmente le rayon du tournant parcouru.

Sur la base de ces considérations, nous avons formulé des modèles de régression linéaire pour établir une relation numérique entre la variable dépendante risque perçu en tournant (RP) et les variables indépendantes largeur (A), rayon du tournant (r) et milieu routier (T). La procédure utilisée (*Stepwise Backward Regression*) a fourni trois modèles alternatifs et a mis en évidence que la largeur du tournant A est la caractéristique géométrique qui influence le plus le risque moyen perçu, suivie par le rayon r, tandis que le milieu routier T n'offre aucune capacité explicative importante de la variable dépendante. Cette considération, unie à une analyse des coefficients de détermination (R^2 , R^2 correct, R multiple) des trois alternatives a permis de choisir le modèle le plus explicatif et s'adaptant le mieux à la population; celui-ci résulte:

$$RP = \beta_0 + 0.035A - 0.002r$$
$$R^2 = 0.67$$

où:

RP est le risque moyen perçu par l'échantillon en parcourant le tournant,

$\beta_0 = 3.068$ est une constante qui dépend du type de route et des caractéristiques de l'échantillon témoin,

A est la largeur du tournant, en degrés décimaux ($^{\circ}$),

r est le rayon du tournant, en mètres (m).

L'interprétation des graphiques de dispersion du modèle a mis en évidence que la valeur numérique de R^2 est influencée en partie par la présence de trois valeurs aberrantes: nous notons en particulier qu'au tournant 2 (Fig. 2), de largeur relativement faible, correspond un risque relativement élevé, à cause d'un dos d'âne situé juste à cheval du tournant même, tandis que le tournant 4 a un risque faible par rapport à la largeur, probablement dû au fait qu'il se trouve entre deux tournants beaucoup plus dangereux. Cette dernière anomalie met donc en lumière une hétérogénéité du tracé qui peut porter à des comportements incorrects en conduite. Enfin, au tournant 5 est également associé un risque moyen perçu faible par rapport à la largeur: ceci peut être dû à la bonne visibilité du tournant et à la présence d'un raccordement graduel avec la ligne droite qui le précède.

3.3. Les critères d'évaluation de la design consistency

Le modèle élaboré démontre que le risque subjectif perçu est un paramètre lié aux caractéristiques planimétriques de la route, et peut donc être utilisé pour évaluer l'homogénéité géométrique d'un tracé et, par conséquent, pour en évaluer le niveau de sécurité. Sur la base des données et des élaborations disponibles, nous avons donc formulé deux critères d'évaluation de sécurité, valables pour les routes secondaires départementales qui, avec le modèle de régression, se sont révélés des instruments utiles pour le projet de tracé routier en ligne avec les attentes des usagers.

Le premier critère de caractère général, se réfère à l'homogénéité planimétrique de l'entier tracé et établit que, pour les routes secondaires départementales:

$$RP < 4.61$$

Le risque perçu doit donc être contenu dans une limite supérieure, qui correspond dans ce cas à la limite supérieure maximum de l'intervalle de confiance du risque moyen perçu sur le parcours des tronçons étudiés. Le second critère a le but de garantir la cohérence géométrique des éléments planimétriques successifs et a été obtenu en évaluant les intervalles de confiance des risques moyens perçus sur le parcours de chacun des tournants; celui-ci a la valeur, pour deux tournants génériques adjacents i et $i+1$:

$$|RP_i - RP_{i+1}| < 0.86$$

Avec ces critères et avec le modèle de régression, une nouvelle définition des tronçons objet de l'étude a été proposée de façon à garantir aux usagers une plus grande homogénéité géométrique, une meilleure praticabilité de parcours et donc de meilleures conditions de sécurité (Fig. 2).

En conclusion de l'étude, pour avoir une mesure qualitative du degré de validité du paramètre RP et du relatif modèle dans la mesure de la design consistency, nous avons opéré synthétiquement une comparaison avec d'autres paramètres présents en bibliographie et qui ont la même fonction (Tab. 1). Nous observons tout de suite que la variable largeur apparaît seulement dans le modèle lié au risque perçu, tandis que dans les autres cas, les paramètres dépendent uniquement du rayon. Nous avons donc rendu le modèle indépendant de cette variable en retenant $A = 45^\circ$. La comparaison a mis en évidence que le modèle résulte moins sensible aux variations du rayon par rapport aux autres, et que, d'une manière cohérente avec les hypothèses initiales, le paramètre RP diminue quand augmente la V_{85} tout comme les deux autres paramètres liés au comportement du conducteur (WL et VD). Il est opportun d'observer enfin, que l'indice RP fournit des résultats congruents aux autres modèles présents en bibliographie, mais il ne doit pas être considéré un paramètre équivalent à V_{85} , car il n'évalue pas l'effet des conditionnements du tracé sur l'action de conduite, mais il cherche à quantifier le risque perçu par le conducteur durant le premier stade du processus décisionnel qui règle l'activité de conduite.

Tableau 1 – Modèles expérimentaux d'évaluation de la design consistency

N	Paramètre	Description	Modèle	Variables	R ²
1	RP	Risque Perçu	$RP = 3,068 + 0,035 A - 0,002 r$	A = largeur (°) r = rayon (m)	0,67
2	WL	Driver Workload	$WL = 0,193 + 0,016 CD$	CD = degré de courbe (°/100 m)	0,90
3	VD	Driver Visual Demand	$VD = 0,297 + 25,832 r^{-1}$	r = rayon (m)	0,71
4	V_{85} (km/h)	85° percentile des vitesses	$V_{85} = 93,96 - 0,633CD + 0,0026CD^2$	CD = degré de courbe (°/100 m)	0,86
5		opérationnelles	$V_{85} = 104,82 - 3574,51 r^{-1}$	r = rayon (m)	0,76

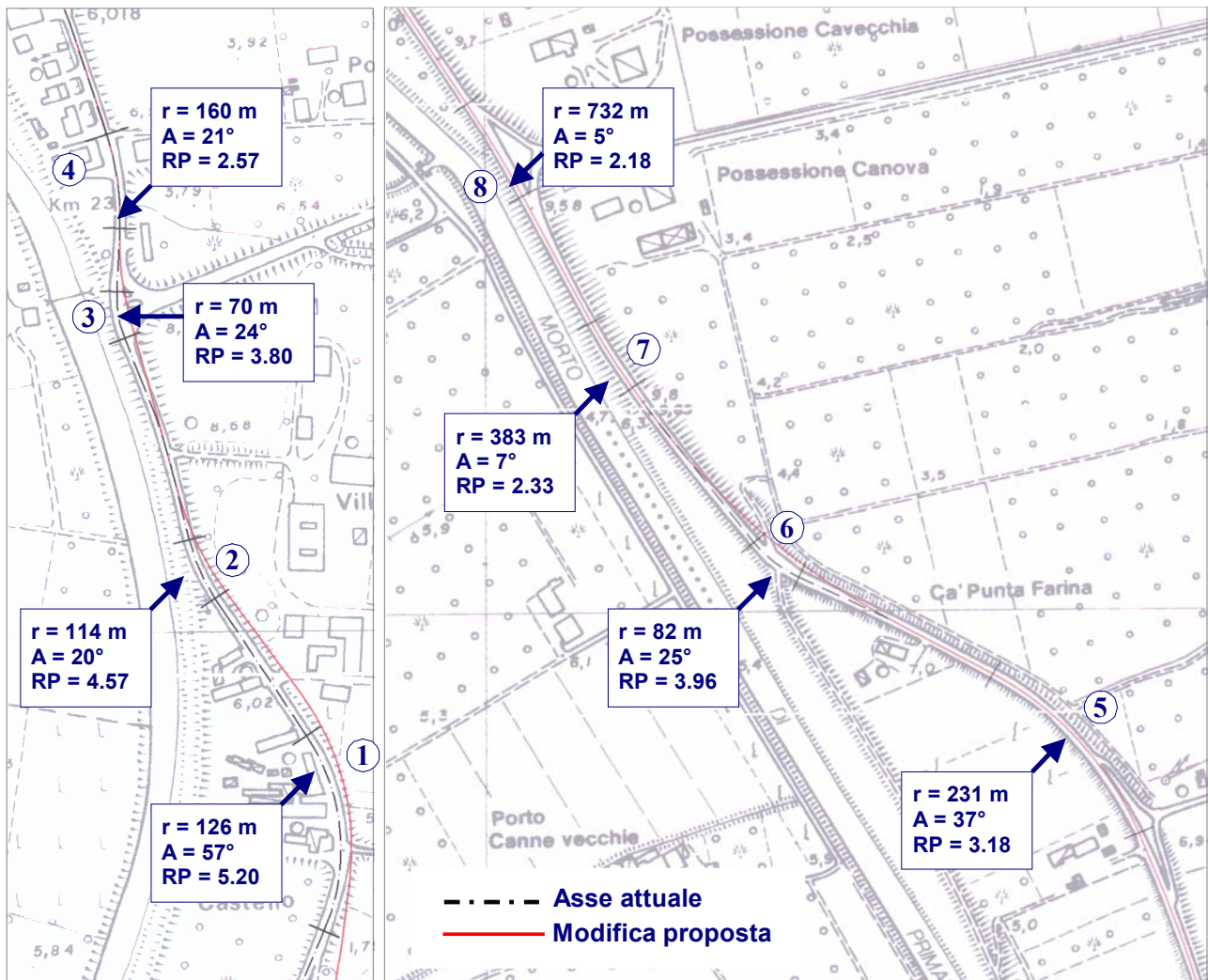


Figure 2 – Tronçons modifiés

4. CONCLUSIONS

Le facteur humain, en sécurité routière en général, et en conception routière en particulier, peut difficilement être "contrôlé" mais il peut et doit être absolument évalué et "projeté" en détail dans son interaction avec la géométrie du tracé de façon à rendre la route lisible, cohérente aux attentes du conducteur et homogène dans son développement.

Toutes les normes les plus récentes de conception routière (italiennes, européennes, américaines et canadiennes) vont dans cette direction et prévoient une ou plusieurs méthodes d'évaluation de l'homogénéité du tracé (*design consistency*) de façon à minimiser les décisions des conducteurs et de réduire les situations inattendues.

Les méthodes les plus utilisées consistent dans l'évaluation de la cohérence des sections transversales, des vitesses opérationnelles et de la charge de travail (*workload*) du conducteur le long du tracé.

L'indice RP ne peut et ne veut pas être un instrument alternatif à ceux décrits précédemment mais il s'y adjoint dans l'étude et dans l'évaluation de la cohérence "dynamique" des tracés. En outre, les données expérimentales ont permis de construire de nouveaux critères d'évaluation de l'homogénéité géométrique du tracé qui se sont révélés d'utilisation opérationnelle pratique.

L'indice RP et le relatif modèle d'évaluation de la géométrie du tracé en relation au risque perçu par le conducteur représentent sans aucun doute un premier pas vers une future

intégration nécessaire entre conception routière, psychologie de la circulation et sécurité. En conclusion, il faut rappeler que dans la réalité, les conducteurs "lisent" la route et le milieu environnant et conduisent en fonction de ce qu'ils "voient". Pour cette raison, un important et nouveau champ de recherche et de développement pour l'évaluation du rapport entre projet du tracé et facteur humain est représenté par les programmes de visualisation à 3 dimensions et par les nouvelles techniques de réalité virtuelle.

BIBLIOGRAPHIE

- Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D. W., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I. B., Krammes, R. A., Irizarry, N., Parma, K. D., Bauer, K. M. and Passetti, K. (2000) Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways, Final Report. FHWA-RD-99-171, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Fitzpatrick, K., Wooldridge, M. D., Tsimhoni, O., Collins, J. M., Green, P., Bauer, K. M., Parma, K. D., Koppa, R., Harwood, D. W., Anderson, I., Krammes, R. A., and Poggioli, B. (2000) Alternative Design Consistency Rating Methods for Two-Lane Rural Highways, Final Report. FHWA-RD-99-172, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Krammes, R. A., Brackett, R. Q., Shafer, M. A., Ottesen, J. L., Anderson, I. B., Fink, K. L., Collins, K. M., Pendleton, O. J. and Messer, C. J. (1995) Horizontal Alignment Design Consistency for Rural Two-Lane Highways. Report No. FHWA-RD-94-034, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Lamm R., Psarianos B. and Mailander T. (1999) Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. Professional Book Group, McGraw-Hill, New York, N.Y., USA.
- Lamm R., Smith B.L. (1994) Curvilinear Alinement: An Important Issue for More Consistent and Safer Road Characteristic. Transportation Research Record No. 1445, Highway and Facility Design, Cross Section and Alinement Design Issues, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., pp. 12-21.
- Marchionna, A., Crisman, B., Roberti, R. and Perco, P. (2002) Il Comportement degli Usagers à travers la Valutazione delle Vitesses opérationnelles. Strade & Autostrade, Anno VI - n°2, Marzo/Aprile 2002, pp.145-152.
- Wooldridge M.D. (1994) Design Consistency and Driver Error. Transportation Research Record No. 1445, Highway and Facility Design, Cross Section and Alinement Design Issues, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., pp. 148-155.