

Université Libre de Bruxelles

CoDE - SMG

**Multicriteria decision analysis applied to
the evaluation of road projects at the
design stage with regards to sustainable
road safety**

CoDE-SMG – Technical Report Series

Renaud SARRAZIN

CoDE-SMG – Technical Report Series

Technical Report No.

TR/SMG/2012-003

July 2012

CoDE-SMG – Technical Report Series
ISSN 2030-6296

Published by:

CoDE-SMG, CP 210/01
UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES
Bvd du Triomphe
1050 Ixelles, Belgium

Technical report number TR/SMG/2012-003

The information provided is the sole responsibility of the authors and does not necessarily reflect the opinion of the members of CoDE-SMG. The authors take full responsibility for any copyright breaches that may result from publication of this paper in the CoDE-SMG – Technical Report Series. CoDE-SMG is not responsible for any use that might be made of data appearing in this publication.

Multicriteria decision analysis applied to the evaluation of
road projects at the design stage with regards to sustainable
road safety

CoDE-SMG – Technical Report Series

Renaud SARRAZIN

`r.sarrazin@brrc.be`

Belgian Road Research Centre (BRRC), Wavre, Belgium

CoDE-SMG, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

July 2012

Routes/Roads issue n°356 (October 2012)

Abstract submission – “Ex-ante / a priori evaluation of road projects in a sustainable development perspective”

English version

Title: Multicriteria decision analysis applied to the evaluation of road projects at the design stage with regards to sustainable road safety

Author: Ir. Renaud SARRAZIN, Belgian Road Research Centre (BRRC) and University of Brussels (ULB), Belgium

INTRODUCTION

National and European political context

For many years, considering sustainable development and improving road safety have been two majors concerns in mobility and transport policies in Europe. In 2001, the European Commission (EC) had published a rapport on the European transport policies and their directions by 2010 [1] in which an objective of halving the number of deaths in 10 years on the European road network had been defined. In 2003, the European Road Safety Charter had been published and submitted to several actors of the road sector, as a commitment to take concrete actions in order to reduce road accident fatalities. In 2003, the *Directive 2008/96/CE* on road infrastructure safety management had been published [2] and it aims to ensure a global and integrated assessment of the road safety performance of the infrastructure from the planning stage to the operational stage (fig.1). Finally, in 2010, the EC had published the *Greening Transport Package* about strategies to apply in order to strive for a transport system more respectful of the environment.

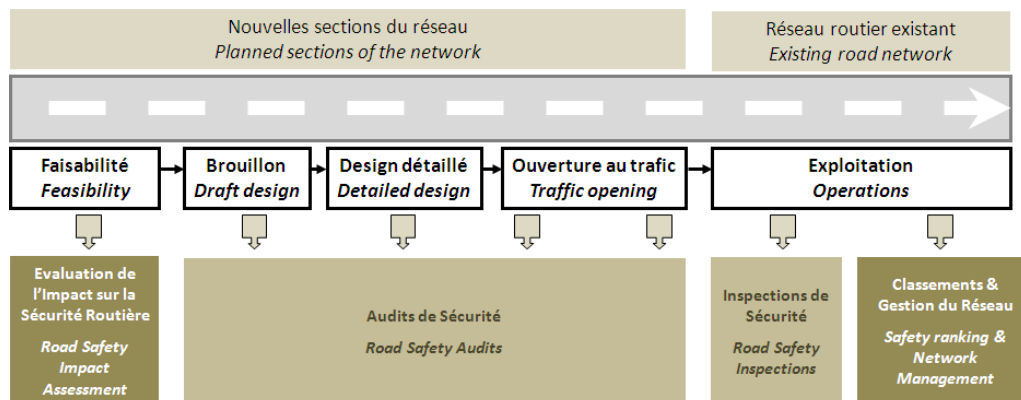


Fig.1: Assessment of the road safety at every stage of the road lifecycle

In Belgium, the Federal Commission for the Road Safety had been formed in 2002 with the intention of fulfill the EC objectives of improving the road safety on the European road network. To achieve this, several actions were identified including the “*development of indicators and tools that can provide information about the evolution of road safety*” or even

the modeling of a “*specific approach for the road safety issues peculiar to the road infrastructure*” [3]. In Wallonia, the government reaffirmed its willingness to promote sustainable mobility for every road users in its *declaration of regional policy for the period 2009-2014*.

Actions and strategies for a sustainable and preventive safety

To date, the assessment of the road safety of an infrastructure is essentially based on the evaluation of statistical data that offers the administration a support in the identification of the areas or routes with high accident concentration – or *black spots* [4]. These methods are based on a reactive approach since they consist of curative analysis and handling of the high accident concentration areas. However, to meet the objectives of improving road safety and considering sustainable character of the road transport infrastructure, it has become essential to develop new preventive and innovative tools.

Based on these observations, we had initiated the research project *MULTISED* whose main aim is to develop a multicriteria analysis methodology to carry out an integrated and preventive assessment of the road safety performances of infrastructures at the design stage. In addition, the assessment takes into account the sustainability of the road infrastructure projects by measuring them economic, social and environmental compatibility.

ROAD SAFETY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Road safety through the prism of the road environment

To evaluate the road safety performances of an infrastructure, it is agreed to consider the elementary triangle of the road safety (fig.2) defined by the dimensions *human*, *vehicle* and *road environment*. Therefore, it is satisfactory to consider that improving road safety can also be done by improving one or the others components of this triangle. As part of this research, we are focusing on the *road environment* dimension and the interactions *human factors* and *physical factors* (i.e. road safety of the infrastructure and its interactions with the road users and vehicles).

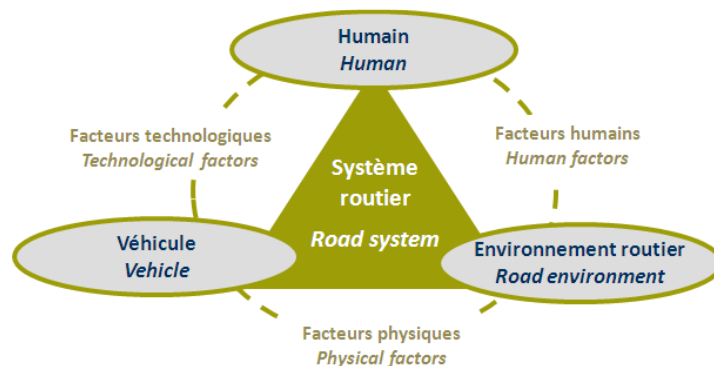


Fig.2: Elementary triangle of road safety

In order to develop a relevant evaluation methodology, it is essential to define the theoretical framework of the road safety studied through the prism of the road infrastructure. Several studies had been conducted on this subject (e.g. *SafetyNet*, *OECD*

1999) and have enabled us to define the eight following topics, spread in the dimensions *Infrastructure (INF)* and *Services (SRV)*:

- INF1 – Legibility and consistency of the infrastructure
- INF2 – Visibility of the infrastructure
- INF3 – Protection of the Vulnerable Roads Users (VRU)
- INF4 – Quality of the road pavement materials
- INF5 – Design and safety equipment
- INF6 – Intersections
- INF7 – Safety in construction stage
- SRV1 – Information and intervention services

These topics make up the set of criteria that is used in our multicriteria decision analysis methodology to measure the performances of road infrastructure projects in relation to road safety.

Sustainable road safety

Moreover, if road safety constitutes one of the fundamental concepts of our multicriteria analysis, we had the volition to include it into a sustainable approach by defining the concept of *sustainable road safety*. Several studies had been conducted on this topic (e.g. *Vision Zero, Sustainable Safety*) but they are exclusively focused on the social dimension of the sustainable development. As part of the project *MULTISED*, we have broadened the sustainability notion to the three pillars of sustainable development – economic (*ECO*), social (*SOC*) and environmental (*ENVI*) – and its main concerns. We have then selected the five following topics to illustrate the sustainability issues in our analysis:

- ENVI1 – Reducing greenhouse gases emissions (GHG)
- ENVI2 – Limitation of noise pollution
- SOC1 – Ensure mobility of all
- ECO1 – Limitation of the construction costs
- ECO2 – Limitation of the maintenance costs

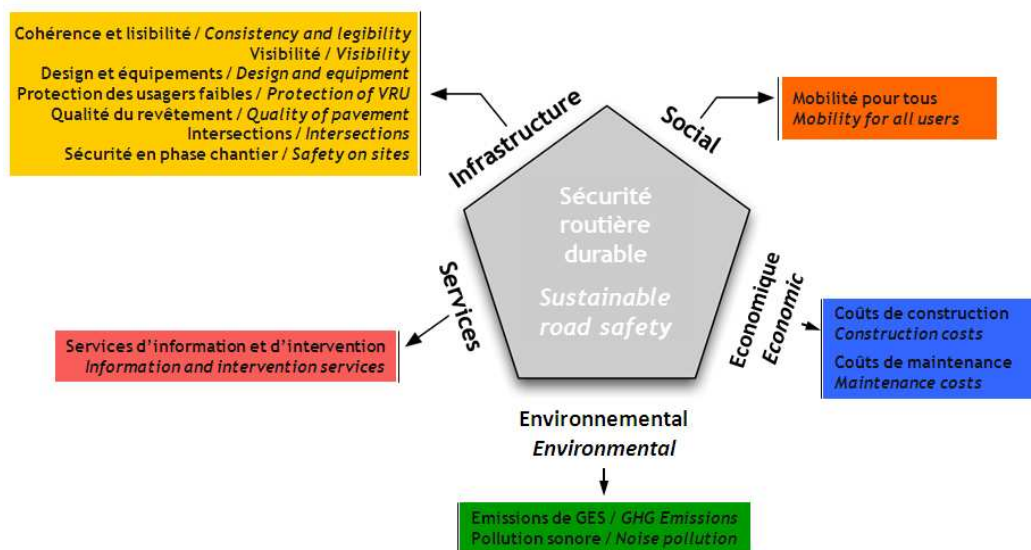


Fig.3 : Sustainable road safety

Then, the combination of these 13 topics illustrates the concept of *sustainable road safety* (Fig.3). They are also the set of criteria of our multicriteria evaluation.

MULTICRITERIA DECISION AIDING APPLIED TO ROAD SAFETY

Introduction of the multicriteria decision problem

During the design stage of a road infrastructure, several alternatives are modeled by the design engineers in charge of the project. Different design choices are made by varying several parameters that represent the main characteristics of the project (e.g. number of lanes, lane width, nature of an eventual cycle lane, nature of the road signs or vehicle restraint systems, type of intersections, etc.). At the end of this modeling stage, an alternative is selected among all of those that were modeled (Fig. 4). But even if this selection is not exclusively motivated by the economic criterion, there is to date any integrated tool that could help the design engineers to analyze each alternative and to select the most adapted to the challenges and the stakes of the project.

Therefore, using the multicriteria decision analysis tool *MULTISED*, the decision maker (i.e. the design engineer) will be able to measure the performance of each alternative on each criteria of the evaluation and thereby generate a ranking of the best alternatives of its project. With the assistance of this tool, the designer will be supported in the analysis and the selection of the best alternative – if not of the *best compromise solution*. Moreover, depending of the characteristics and the stakes of the project, le decision maker may assign different weights to each criterion in order to enhance the relative importance of one or more criteria of the set. Nevertheless, assigning weights to criteria may be a very complex task that we will have to investigate in the future development of this research¹.

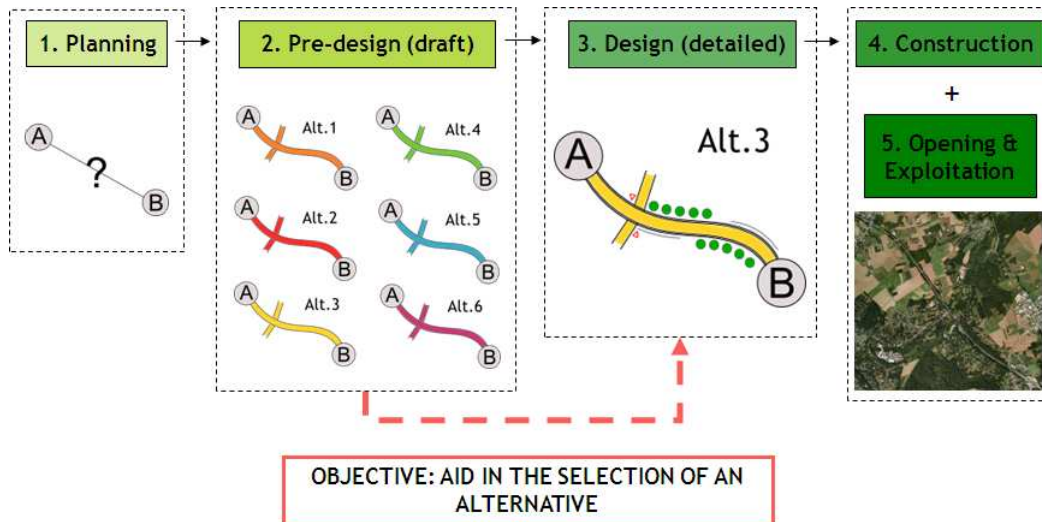


Fig.4 : Integration of the multicriteria decision analysis in the design stage of an infrastructure

As explained above, the multicriteria analysis of the design alternatives aims to measure their performances in terms of sustainable road safety. To do so, we have transformed 13 different topics into relevant criteria. An important stage of modeling and creation of data

¹ Null weights allowed? Weights defined on a limited interval?

had been necessary to transform these topics – sometimes exclusively qualitative or descriptive – into quantitative criteria which ensure a consistent and meaningful analysis.

Given the complexity of some practical phenomena or theoretical concepts associated with these topics, the developed criteria are of a different nature². For some criteria, developments have been deliberately limited to a qualitative assessment to ensure at first their understanding by the decision maker and also the progress of the research. Nevertheless, these methodological strategies do not undermine the relevance and the overall consistency of the analysis. Moreover, the set of criteria has been submitted for review to several experts from the road sector and it will evolve thanks to the results of the studies that will be conducted in the fields of research associated with the different criteria.

Solving the multicriteria ranking problem: methodology

For a given infrastructure project, the decision maker identifies the variable input parameters. Then, we generate all the possible alternatives by combination of parameters. Then, we obtain the set of alternatives of our multicriteria problem.

The first step in solving the multicriteria ranking problem consists in the identification of the best candidates. To do this, we focus on the Pareto optimal character of each alternative. In other words, we identify the non-dominated solutions.

Definition: Let the multicriteria problem $\max(f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) | x \in A)$
A the set of alternatives, f_i the evaluations on the criteria i
The solution x dominates the solution y if and only if:
 $\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}: f_i(x) \geq f_i(y)$ et $\exists j \in \{1, 2, \dots, k\}: f_j(x) > f_j(y)$

Considering the set of non-dominated solutions, we solve the multicriteria problem by applying an adapted methodology of our problem. Here, we apply an hybrid methodology which uses the pairwise comparison method of PROMETHEE II [5] and the utility functions. Then, we obtain a ranking of the non-dominated solutions that the decision maker can use to make a choice in the selection of an alternative (Fig.5).

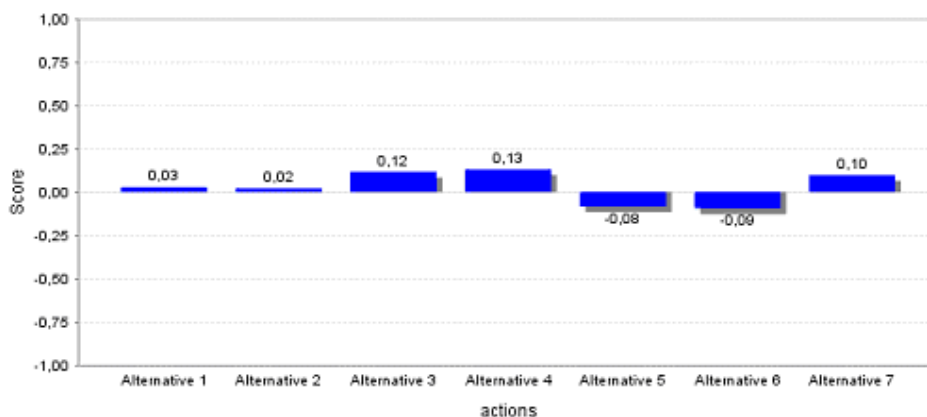


Fig5 : Example of a multicriteria ranking for a problem with 7 alternatives

² Qualitative and quantitative criteria, ordinal and cardinal scales, etc.

CONCLUSIONS

Considering the objectives of the European Commission to improve road safety and the need to gradually integrate the design process of a road infrastructure into a sustainable development approach, developing a methodology for a preventive evaluation of the sustainable road safety has become essential. Furthermore, given that the analysis of the different alternatives of a project needs to take into account multiple criteria, the use of multicriteria decision analysis seems entirely appropriate.

However, the concepts of preventive methodology and sustainable road safety are relatively innovative and developing relevant criteria is then a particularly complex task. Thus, a first set of criteria has been developed and its review by a panel of experts from the road sector would be ended in the next few months. This should allow us to focus more specifically on the development of a methodology adapted to the constraints and the stakes of our multicriteria problem. Case studies will also be studied to ensure the overall relevance of the analysis and the accuracy of the results.

Nevertheless, based on the results of the first tests we made and the discussions we had with many industry experts, our preliminary results are promising and tend to demonstrate the benefits of such a study. On the long run, this project should be a first step towards a preventive and integrated evaluation process of the sustainability of the road infrastructures.

References

- [1] Commission of the European communities, *White Paper on European transport policy for 2010: time to decide*, European Commission, September 2001.
- [2] Commission européenne, *Proposition de Directive du Parlement Européen et du Conseil concernant la gestion de la sécurité des infrastructures routières*, 10/2006, COM(2006) 596 final.
- [3] Commission Fédérale pour la Sécurité Routière, *Charte pour une circulation plus sûre* présentée à l'occasion des Etats Généraux de la Sécurité Routière 2007, Brussels, 2007.
- [4] Cocu X., Jacobs R., Van Geelen H., *Gestion de la sécurité des infrastructures routières: d'une politique curative à une politique préventive : politiques de sécurité routière actuelles, engagements européens, rôle et actions récentes du CRR*. Publication de synthèse 45, Centre de recherches routières, Bruxelles, 2011.
- [5] Brans J.P. et Mareschal B., *PROMETHEE-GAIA : une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*, Statistiques et mathématiques appliquées, Editions de l'Université Libre de Bruxelles, ULB, 2002.

Routes/Roads issue n°356 (October 2012)

Abstract submission – “Ex-ante / a priori evaluation of road projects in a sustainable development perspective”

Version française

Titre : Analyse multicritère à la décision appliquée à l'évaluation de projets routiers en phase de conception vis-à-vis de la sécurité routière durable

Auteur : Ir. Renaud SARRAZIN, Centre de Recherches Routières (CRR) et Université Libre de Bruxelles (ULB), Belgique

INTRODUCTION

Contexte politique national et européen

Depuis de nombreuses années, la prise en considération du développement durable et l'amélioration de la sécurité routière constituent deux préoccupations majeures des politiques de transport et de mobilité en Europe. En 2001, la Commission Européenne (CE) a publié un rapport sur les politiques de transport européennes et sur leurs orientations à l'horizon 2010 [1], fixant notamment un objectif de réduction de 50% du nombre de morts sur le réseau routier européen entre 2001 et 2010. En 2003, la Charte Européenne pour la Sécurité routière a également été rédigée et soumise à la signature de nombreux acteurs du secteur routier. En 2008, la *Directive 2008/96/CE* sur la gestion de la sécurité des infrastructures routières a été publiée [2] et vise à garantir une évaluation globale et intégrée de la sécurité routière depuis la phase de planification de l'infrastructure jusqu'à son exploitation (fig1). Enfin, en 2010, la CE a publié le *Greening Transport Package* dans lequel sont reprises des stratégies à appliquer pour tendre vers un système de transport plus respectueux de l'environnement.

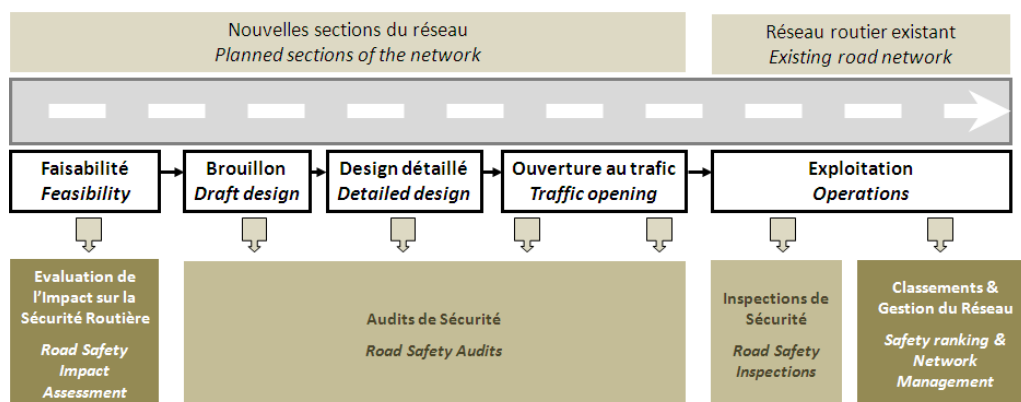


fig1 : Evaluation de la sécurité routière à toutes les phases du cycle de vie de l'infrastructure

En Belgique, la Commission Fédérale pour la Sécurité Routière a été mise en place en 2002 dans le but d'appliquer les objectifs définis par la CE en faveur d'un réseau routier européen sécurisé. Pour y parvenir, plusieurs lignes d'action ont été définies, parmi lesquelles le

« développement d'indicateurs et d'outils qui puissent fournir une information à propos de l'évolution de la sécurité routière » ou encore la modélisation « d'une approche spécifique pour les problèmes de sécurité propre à l'infrastructure routière » [3]. En Wallonie, le gouvernement a réaffirmé dans sa *déclaration de politique régionale pour la période 2009-2014* sa volonté de promouvoir une mobilité durable pour tous les usagers.

Actions et stratégies pour une sécurité durable et préventive

A ce jour, l'évaluation de la sécurité routière d'une infrastructure en Belgique repose essentiellement sur l'évaluation de données statistiques favorisant l'identification de zones ou d'itinéraires à forte concentration d'accidents – ou *points noirs* [4]. Ces méthodes sont basées sur une démarche exclusivement réactive puisqu'elles consistent en une analyse et un traitement curatif des zones à forte concentration d'accidents. Or, afin de respecter les objectifs de sécurisation du réseau routier et de prise en considération du caractère durable des infrastructures de transport, il est devenu indispensable de développer de nouveaux outils préventifs et innovants.

Sur base de ces observations, nous avons entamé le projet de recherche *MULTISED* dont l'enjeu principal réside dans le développement d'une méthodologie d'analyse multicritère pour une évaluation préventive et intégrée de la sécurité des infrastructures dès la phase de conception. L'évaluation tient également compte de la durabilité des projets d'infrastructure en mesurant leur compatibilité économique, sociale et environnementale.

SÉCURITÉ ROUTIÈRE ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

La sécurité routière au travers du prisme de l'environnement routier

Afin d'évaluer la performance d'une infrastructure en matière de sécurité routière, il est convenu de tenir compte du triangle élémentaire de la sécurité routière (fig2) défini par les composantes *humain*, *véhicule* et *environnement routier*. Par conséquent, travailler à l'amélioration de la sécurité routière revient – d'une certaine manière – à travailler à l'amélioration de l'une ou l'autre des composantes de ce triangle. Dans le cadre de cette recherche, nous nous intéressons spécifiquement aux composantes *environnement routier*, *facteurs humains* et *facteurs physiques*, c'est-à-dire à la sécurité routière relative l'infrastructure et à ses interactions avec les usagers et leur véhicule.

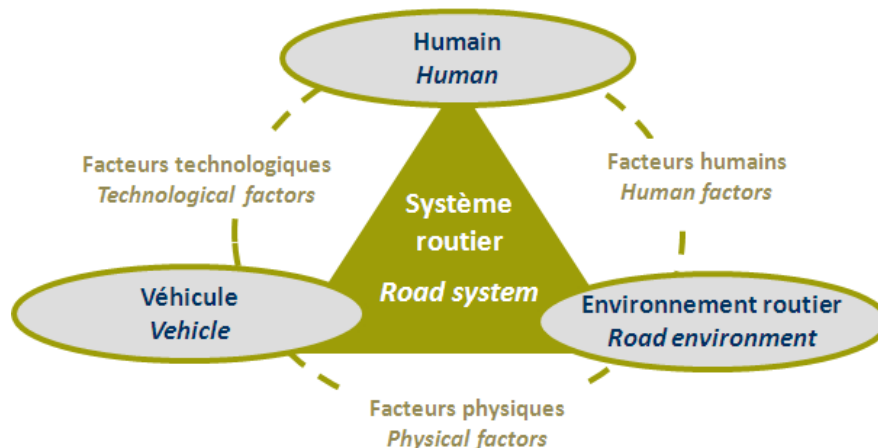


Fig2 : Triangle élémentaire de la sécurité routière

En vue d'aboutir à une évaluation pertinente, il est dès lors essentiel de définir le cadre théorique de la problématique de la sécurité routière étudiée au travers du prisme de l'environnement routier. Plusieurs études ont été menées à ce sujet (e.g. SafetyNet, OCDE 1999) et nous ont ainsi permis de définir les huit thématiques suivantes, réparties dans les dimensions *Infrastructure (INF)* et *Services (SRV)* :

- INF1 - Lisibilité et cohérence de l'infrastructure
- INF2 - Visibilité de l'infrastructure
- INF3 - Protection des usagers faibles
- INF4 - Qualité des matériaux de revêtement
- INF5 - Design et équipements de sécurité
- INF6 - Intersections
- INF7 - Sécurité en phase chantier
- SRV1 - Services d'information et d'intervention

Dans notre méthodologie d'analyse multicritère, ces thématiques constituent les critères d'évaluation qui permettent de mesurer les performances des projets d'infrastructure vis-à-vis de la sécurité routière.

La sécurité routière durable

D'autre part, si la sécurité routière constitue l'un des concepts fondamentaux de notre analyse, nous avons souhaité intégrer cette dernière dans une démarche de développement durable en introduisant le concept de *sécurité routière durable*. Plusieurs études ont été réalisées à ce sujet (e.g. *Vision Zero, Sustainable Safety*) mais se limitent exclusivement à la dimension sociale du développement durable. Dans le cadre de cette étude, nous avons donc élargi la notion de durabilité aux trois piliers du développement durable – social, économique et environnemental – et à ses préoccupations majeures.

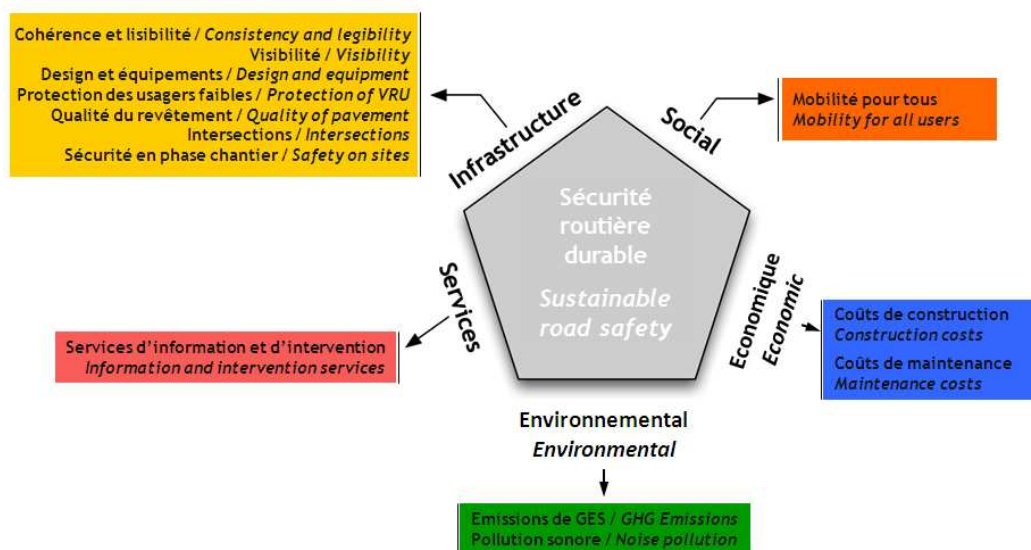


Fig3 : La sécurité routière durable

Nous avons ainsi retenu les thématiques suivantes pour notre analyse :

- ENVI1 - Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)
- ENVI2 - Limitation des nuisances sonores
- SOC1 - Garantir la mobilité pour tous
- ECO1 - Limiter les coûts de construction
- ECO2 - Limiter les coûts d'entretien

La réunion de ces 13 thématiques illustre ainsi le concept de *sécurité routière durable* (fig3). Elles constituent par ailleurs le set de critères de notre évaluation.

AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION AU SERVICE DE LA CONCEPTION ROUTIÈRE

Introduction du problème d'aide à la décision

Lors de la conception d'une infrastructure routière, plusieurs alternatives différentes sont modélisées par les ingénieurs en charge du projet. Des choix de conception différents sont réalisés en faisant varier plusieurs paramètres représentatifs des caractéristiques majeures du projet (nombre de bandes, largeur des bandes, nature d'un aménagement cyclable éventuel, nature des équipements de signalisation ou des dispositifs de retenue, aménagement des intersections, etc.). A la fin de cette phase de modélisation (ou de conception non détaillée), une alternative est sélectionnée parmi toutes celles qui ont été modélisées (fig. 4). Or, quand bien même cette sélection ne serait pas exclusivement motivée par le critère économique, les ingénieurs ne disposent pas à ce jour d'outils intégrés permettant d'analyser chaque solution et de sélectionner la plus adaptée aux enjeux du projet.

Par conséquent, à l'aide de l'outil d'aide multicritère à la décision *MULTISED* que nous développons dans le cadre de cette recherche, le concepteur pourra mesurer les performances de chaque alternative sur chacun des critères et générer en conséquence un classement de ses meilleures alternatives. Avec cet outil, le décideur sera alors assisté dans l'analyse de ses alternatives et dans la sélection de la meilleure solution – sinon de la solution de meilleur compromis. De plus, en fonction des spécificités de son projet et des enjeux qu'il vise, le décideur pourra attribuer des poids différents à chacun des critères afin de renforcer l'importance relative d'un ou plusieurs critères par rapport aux autres. Néanmoins, la problématique de la pondération des critères peut se révéler particulièrement complexe et il sera donc nécessaire de s'intéresser plus précisément à la façon dont on procèdera lors de l'attribution des poids (poids nul autorisé ? poids définis sur un intervalle limité ? etc.).

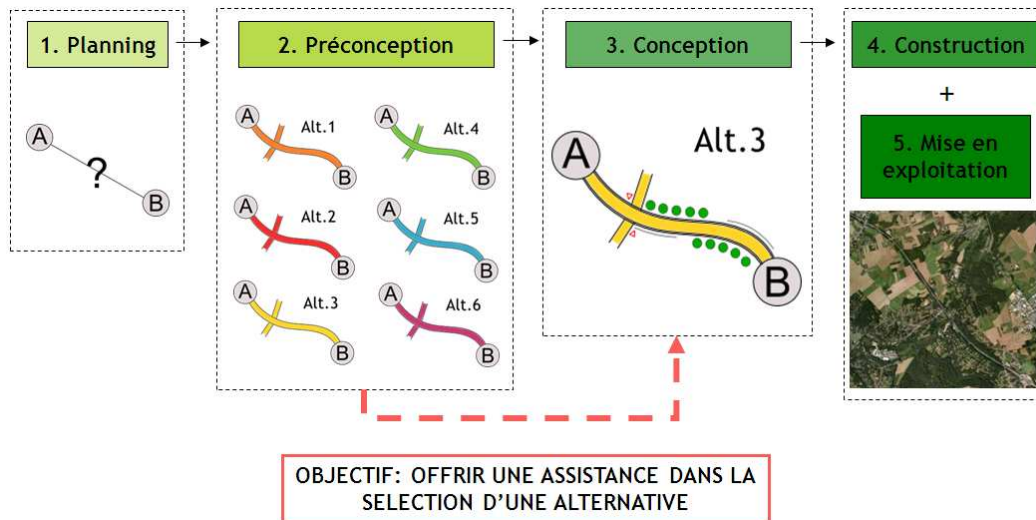


Fig4 : Intégration de l'aide à la décision dans le processus de conception d'une infrastructure

Comme expliqué précédemment, l'analyse multicritère des alternatives tient compte de leurs performances en matière de sécurité routière durable à partir de 13 thématiques différentes que nous avons tenté de traduire en critères d'évaluation pertinents (fig. 3). Une phase importante de modélisation et de création de données fut donc nécessaire afin de transformer ces thématiques – parfois exclusivement qualitatives – en critères quantitatifs favorisant une analyse pertinente et cohérente.

Compte tenu de la complexité de certains phénomènes pratiques ou des concepts théoriques associés à ces thématiques, les critères développés sont parfois de nature différente¹. Pour certains critères en particulier, les développements ont été volontairement limités à une évaluation qualitative afin de favoriser d'une part leur appréhension par l'utilisateur et d'autre part l'avancement de la recherche. Néanmoins, ces stratégies méthodologiques ne remettent pas en cause la pertinence et la cohérence globale de notre analyse. De plus, le set de critères a été soumis à la révision de plusieurs experts du secteur routier et il évoluera encore en fonction des résultats d'études réalisées dans les domaines de recherche associés aux différents critères.

Résolution du problème de classement multicritère : méthodologie

Pour un projet d'infrastructure donné, nous identifions l'ensemble des paramètres d'entrée que le décideur souhaite faire varier. Puis, nous générons toutes les alternatives possibles par combinaison de paramètres. Nous obtenons alors le set d'alternatives de notre problème multicritère.

La première étape de la résolution du problème de classement multicritère consiste en l'identification des *meilleurs candidats*. Pour ce faire, on s'intéresse au caractère Pareto optimal de chaque alternative. En d'autres termes, on évalue quelles sont les solutions non dominées.

Définition : Soit le problème multicritère $\max(f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) | x \in A)$
 A le set d'alternatives, f_i les évaluations sur les critères i

¹ critères qualitatifs ou quantitatifs, échelles de performance ordinales ou cardinales, etc.

La solution x domine la solution y si et seulement si :
 $\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}: f_i(x) \geq f_i(y)$ et $\exists j \in \{1, 2, \dots, k\}: f_j(x) > f_j(y)$

A partir du set de solutions non dominées, nous procédons à la résolution du problème multicritère en appliquant une méthodologie adaptée à notre problème. Ici, nous utilisons une méthodologie de résolution *hybride* employant la méthode de comparaison de paires de PROMETHEE II [15] et les fonctions d'utilité. Nous obtenons ainsi un classement des solutions non dominées à partir duquel le décideur pourra faire un choix pour la sélection d'une alternative (fig. 5).

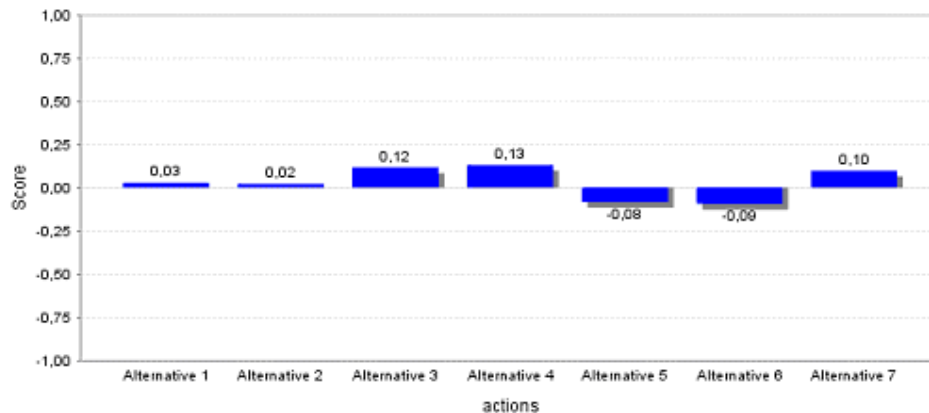


Fig5 : Exemple de classement multicritère pour un problème à 7 alternatives

CONCLUSIONS

Compte tenu des objectifs de sécurisation du réseau routier fixés par la Commission Européenne et de la nécessité d'intégrer peu à peu le processus de conception d'une infrastructure routière dans une démarche de développement durable, le développement d'une méthodologie d'évaluation préventive de la *sécurité routière durable* des infrastructures est devenu indispensable. De plus, l'analyse des différentes alternatives d'un projet nécessitant la prise en considération de critères multiples, l'utilisation de l'aide multicritère à la décision semble totalement adaptée.

Cependant, les concepts de méthodologie préventive et de sécurité routière durable étant relativement novateurs, le développement de critères d'évaluation pertinents constitue une tâche particulièrement complexe. Un premier set de critères a été développé et sa révision par plusieurs experts du secteur routier devrait arriver à échéance dans les prochains mois. Cela devrait nous permettre de nous intéresser de façon plus précise au développement d'une méthodologie adaptée aux contraintes et aux enjeux de notre problème multicritère. Des cas d'études seront par ailleurs étudiés afin de garantir la pertinence globale de l'analyse et la justesse des résultats.

Néanmoins, sur base des résultats des premiers tests réalisés et des échanges que nous avons pu avoir avec de nombreux experts du secteur, les résultats obtenus à ce jour sont prometteurs et tendent à démontrer l'intérêt d'une telle étude. A terme, ce projet devrait constituer un premier pas vers un processus d'évaluation préventif et intégré de la durabilité des infrastructures routières.

Références

- [1] Commission of the European communities, *White Paper on European transport policy for 2010: time to decide*, European Commission, September 2001.
- [2] Commission européenne, *Proposition de Directive du Parlement Européen et du Conseil concernant la gestion de la sécurité des infrastructures routières*, 10/2006, COM(2006) 596 final.
- [3] Commission Fédérale pour la Sécurité Routière, *Charte pour une circulation plus sûre* présentée à l'occasion des Etats Généraux de la Sécurité Routière 2007, Brussels, 2007.
- [4] Cocu X., Jacobs R., Van Geelen H., *Gestion de la sécurité des infrastructures routières: d'une politique curative à une politique préventive : politiques de sécurité routière actuelles, engagements européens, rôle et actions récentes du CRR*. Publication de synthèse 45, Centre de recherches routières, Bruxelles, 2011.
- [5] Brans J.P. et Mareschal B., *PROMETHEE-GAIA : une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*, Statistiques et mathématiques appliquées, Editions de l'Université Libre de Bruxelles, ULB, 2002.