

# UNE ANALYSE DE RESEAU DE LA GEOMETRIE ROUTIERE HORIZONTALE

D. O'Connor  
National Roads Authority, Irlande  
[DOCONNOR@NRA.IE](mailto:DOCONNOR@NRA.IE)

## RÉSUMÉ

Ce document examine les données GPS recueillies à partir de relevés d'état des routes réalisés sur environ 2 500 kilomètres de routes en Irlande, dont une grande partie sont en mauvais état. Ces relevés sont réalisés de façon périodique sur le réseau. L'analyse exploite certaines des données sous-utilisées recueillies dans le cadre de ces relevés, particulièrement celles qui ont trait à la vitesse. En employant ces données GPS, il s'est avéré possible de détecter des écarts de vitesse significatifs sur les itinéraires à des intervalles spécifiques. Cela a permis l'identification des incohérences sur l'alignement horizontal des routes. Le volume de données actuellement disponibles a permis la réalisation d'une analyse de réseau sur 2 750 km de routes nationales secondaires en Irlande. Les données de collision et de trafic ont été traitées afin de calculer les taux de collision pour les endroits se caractérisant par de larges écarts de vitesse associés à des difficultés d'alignement horizontal. De plus, la cohérence horizontale des routes a été évaluée au moyen d'une valeur de sinuosité. Ces deux résultats ont été combinés pour montrer la façon dont les virages horizontaux des routes peuvent être classés en l'absence d'informations géométriques détaillées.

Les résultats indiquent que les routes rurales, qui se caractérisent par des virages isolés, sont les meilleures pour les usagers de la route. La variance des écarts de vitesse observés n'est pas un facteur concourant au risque de collision aussi critique que nous le prévoyions.

## 1. INTRODUCTION

La vitesse enregistrée le long d'un itinéraire peut servir à calculer des zones d'accélération et de décélération. Les écarts de vitesse liés à la qualité de la conception ont été traités par Lamn et al. [18] entre autres [14], [29]. Les écarts de vitesse inférieurs à 10 km/h sont considérés comme indicateurs de bonne qualité, tandis que les écarts entre 10 et 20 km/h sont acceptables. Tout ce qui dépasse 20 km/h met en évidence une mauvaise qualité de conception. En général, plus la différence est marquée, plus la probabilité de passer par les virages en toute sécurité diminue. La probabilité de collision augmente si la réduction de vitesse est soudaine. Une brusque réduction de la vitesse est plus susceptible de se produire en rencontrant un virage solitaire après une longue section routière droite [3].

En mesurant la vitesse différentielle le long des routes, il est possible d'obtenir des indications raisonnables des endroits où se produisent les changements abrupts dans la géométrie routière horizontale. De Waard [9] démontre la façon dont les routes rurales peuvent modifier la charge de travail mentale exercée sur le conducteur lorsque l'environnement routier devient plus difficile. La figure 1 illustre à quel point l'environnement peut être éprouvant pour le conducteur, quelles que soient les incohérences de la géométrie routière.

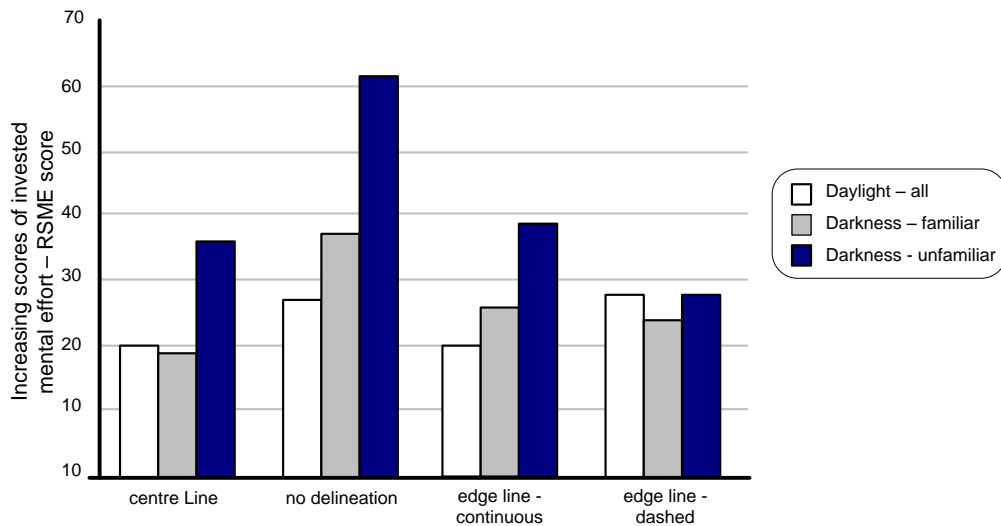


Figure 1 - Résultats de de Waard (2002) illustrant la charge de travail mentale sur des routes rurales tracées différemment [9]

Smith et al. [26] a souligné que les conducteurs ont plus de difficulté à se concentrer sur les routes moins exigeantes que sur celles qui le sont davantage. Par ailleurs, il a été remarqué que les transition des routes plus exigeantes vers celles qui le sont moins, et vice-versa, sont les zones où peuvent avoir lieu des collisions. Cela peut être imputé aux conducteurs qui ne s'adaptent pas aux changements des exigences de la route.

Sur les 220 collisions mortelles enregistrées sur les routes irlandaises en 2008, 66 pour cent s'étaient produites en dehors des zones urbaines. Sur ces collisions, il a été rapporté que 30 pour cent s'étaient produites dans des endroits où le caractère principal de la route était décrit comme un virage [25]. Des études internationales [7], [18], [21] ont montré une situation semblable, avec un nombre considérable de collisions se produisant dans les virages sur les routes rurales. Bien que le nombre de collisions routières ait diminué sur le réseau routier rural au cours des dernières années, le pourcentage de collisions mortelles a atteint les 30 pour cent. L'examen des chiffres de collision précédents pour l'Irlande [2] a révélé que le pourcentage de collisions se produisant dans les virages était plus bas, à 20 pour cent.

Pour faire face à la situation actuelle, la National Roads Authority (NRA) a entrepris de réaliser une analyse l'ensemble du réseau routier secondaire. Ce document décrit le travail entrepris afin de déterminer l'étendue des écarts de vitesse significatifs sur les routes nationales secondaires. Une grande partie de ces routes consistent en routes rurales en mauvais état. En comparant les observations avec la documentation publiée, une estimation fiable de la qualité des routes, en termes de cohérence sur le plan horizontal, a été effectuée. Le calcul des taux de collision pour ces routes n'était pas l'objectif en soi. Il existe des enjeux bien documentés pour ce qui est de sélectionner les sections de route à traiter, selon les données historiques de trafic et de collision. Ils traitent avant tout de la régression vers la moyenne [4],[28],[30] et des soucis liés à l'omission de rapports concernant les collisions avec blessé [23]. La priorité a été accordée à l'élaboration d'une méthodologie, au moyen des données déjà utilisées par la NRA, permettant la réalisation d'une analyse de réseau afin d'identifier les itinéraires présentant de mauvais alignements horizontaux. Les recherches ont montré que pour « 62 % des accidents mortels et 49 % des autres incidents se produisant dans les virages, la première manœuvre conduisant à l'accident se produisait au début ou à la fin du virage » (Council cité en [3]). Par conséquent, toute information supplémentaire concernant les conditions

typiques affrontées par les conducteurs en négociant les virages est profitable pour prendre en charge les incidents spécifiques à ces sites.

Quelques travaux ont récemment été publiés [17], [29], particulièrement sur la géométrie horizontale des routes irlandaises. Ce document vise à développer les travaux préalablement réalisés dans ce domaine en utilisant les données existantes qui ont été recueillies sur le réseau routier irlandais, en particulier les données GPS.

La structure de ce document est la suivante : la section 2 offre un bref aperçu des publications disponibles sur des sujets tels que l'identification de sections de route dangereuses, etc., la section 3 traite de la collecte de données, et la section 4 se penche sur la façon dont ces données sont utilisées et traitées afin d'obtenir de nouvelles informations à partir de sources de données existantes. Ces nouvelles informations sont présentées dans la section 5. La section 6, qui est la dernière, s'étend sur ces informations et présente des conclusions basées sur le travail réalisé.

## 2. APERÇU DES PUBLICATIONS

Dans le but de déterminer les pratiques actuelles en matière d'analyse et de quantification des incohérences de l'alignement horizontal d'un réseau routier, les publications contemporaines traitant du sujet ont été passées en revue. Cela s'est avéré nécessaire compte tenu qu'il n'était pas possible de recueillir de nouvelles données et que toute méthodologie adoptée exigeait donc l'utilisation d'ensembles de données routières existants actuellement disponibles auprès de la NRA. Cet aperçu des publications a examiné les documents et papiers spécifiques aux routes irlandaises traitant des collisions et de la géométrie routière, ainsi que les études internationales.

Certains travaux liés à l'identification de routes de types semblables et à l'établissement de risques de sécurité associés à des fins de comparaison sont détaillés et largement diffusés [10], [12], [27]. Cependant, en raison de la nature souvent éparpillée des études publiées sur la sécurité routière, dont certaines sont publiées sans évaluation adéquate, il est difficile de définir la démarche à adopter afin de suivre les meilleures pratiques. Par conséquent, *« il arrive que les résultats de recherches onéreuses ne soient pas utilisés, qu'une expérience précieuse soit négligée, et que les pratiques disponibles pour résoudre ou réduire un problème ne soient pas entièrement prises en compte »* [29]. Cette section se penche sur certaines des études disponibles concernant l'évaluation des risques pour l'utilisateur de la route au moyen de l'analyse des collisions, ainsi qu'en examinant la courbure horizontale et sa contribution à la sécurité routière. Le traitement des données GPS et les concepts liés à l'exploration de données sont également inclus dans l'aperçu des publications.

### 2.1. Analyse des collisions

Il existe généralement trois types fondamentaux d'analyse de collision pouvant être utilisés pour identifier les emplacements dangereux sur un réseau routier. Tout d'abord, il y a le calcul de la fréquence des collisions sur les sites le long du réseau routier. Cette démarche est souvent désignée comme analyse des « points noirs ». Lorsque le nombre de collisions dépasse une quantité prédéfinie pendant une période de temps donnée, le site est considéré comme dangereux. Ces sites dangereux sont ensuite examinés de plus près afin de définir les contre-mesures appropriées à mettre en place. Le deuxième type d'analyse implique la prise en compte d'une exposition à un indicateur de risque, tel que

les volumes de trafic, afin de calculer les taux de collision. Un site ou une section routière peuvent être considérés comme dangereux si le taux dépasse un taux moyen pour un type de route particulier. L'approche finale consiste à identifier les sites dangereux en fonction d'indicateurs topologiques. Cette analyse cherche généralement à isoler des groupes de collisions semblables à partir de facteurs communs au niveau de l'environnement ou de l'infrastructure [16].

Un objectif clé de l'analyse de la sécurité routière est d'identifier les sites pouvant améliorer leurs performances sur le plan de la sécurité, et non pas simplement les sites présentant le plus grand nombre de collisions. Cela exige de l'analyste qu'il définisse les populations de référence. Ces populations sont utilisées pour sous-diviser le réseau routier en sections de route homogènes [4]. À titre d'exemple, toutes les autoroutes appartenant à un réseau peuvent constituer une population de référence. Il est raisonnable de supposer que les autoroutes ont été conçues à l'aide des mêmes normes et que le comportement des conducteurs est homogène sur le réseau autoroutier. Plus précisément, nous nous attendons à ce que l'élément de géométrie routière de toute autoroute soit cohérent du début à la fin, avec par exemple l'absence d'apprentis conducteurs et l'interdiction de s'arrêter sur la bande d'arrêt d'urgence.

L'analyse théorique des données de collision peut augmenter la banque de connaissances disponibles sur laquelle on peut s'appuyer pour déterminer la solution à un problème spécifique de sécurité routière. Cette solution devrait être l'intervention la plus efficace pour éliminer, ou du moins réduire, la gravité de toute future collision à un emplacement spécifique qui a été identifié au moyen de l'analyse des données pertinentes. Les particularités de l'emplacement et la géographie routière environnante sont l'un des éléments cruciaux faisant partie des données pertinentes. Comme l'indique Elvik [11], la géographie peut contribuer aux phases d'identification et de diagnostic de l'analyse des collisions. Certains problèmes de sécurité routière peuvent être identifiés par « *une dimension géographique distinctive... généralement des problèmes liés à la qualité de l'infrastructure* » [11].

Lorsqu'il classe les types de route en sections homogènes, l'analyste, pour des raisons pratiques, part du principe que « *tous les sites de la même population de référence présentent la même fréquence moyenne d'accidents à long terme* » [4]. Ainsi, toute fluctuation du nombre de collisions peut être imputable, soit à la nature aléatoire des collisions, soit à une réduction ou augmentation réelle de la sécurité routière en raison de conditions localisées. Il faut tenir compte des facteurs liés à la « régression vers la moyenne » pour sélectionner un site en vue d'une mesure de sécurité correctrice. Comme le rapporte SWOV [27], il n'existe pas de démarche absolue pour ce qui est d'employer une méthode de correction pour la régression vers la moyenne. Une solution consiste à contrôler l'effet en examinant les sites non traités dans des endroits semblables. Cela n'est cependant pas acceptable dans la pratique. Le groupe de contrôle identifié est peut-être déjà passé par des travaux de sécurité dans le cadre de programmes d'ingénierie ou de mise en application. Par ailleurs, des problèmes sérieux sur les plans moral et juridique seraient soulevés si des emplacements établis comme dangereux n'étaient pas traités pour des raisons liées à la régression vers la moyenne.

## 2.2. Évaluation des virages horizontaux

*« La sécurité relative d'un virage ne dépend pas seulement de sa vitesse nominale, mais aussi de la façon dont il s'intègre à son environnement de vitesse local. La signalisation routière et autres éléments de traitements de virage doivent refléter la sécurité relative du*

*virage et non pas simplement la vitesse souhaitable maximale.* »[7]. Il est donc tout aussi important de décrire un virage dans le contexte de la route lui attendant que de décrire la géométrie horizontale individuelle de ce virage. Dans de nombreux cas, les routes rurales en mauvais état ne disposent pas de données détaillées relatives à l'alignement routier. Sur le plan pratique, effectuer des relevés et collecter des quantités astronomiques de données sur la géométrie routière coûte du temps et de l'argent [13]. En l'absence de données détaillées sur la géométrie routière, certains travaux [24] ont été réalisés pour établir la courbure d'une route au moyen de la mesure de la sinuosité. Le rapport entre la longueur d'une section de route et le chemin le plus court entre les extrémités de la même section de route est défini comme l'indice de sinuosité (IS). On peut s'attendre à une valeur IS égale à un dans le cas d'une section droite et nivelée. Plus la route comporte de virages, plus la valeur IS augmente.

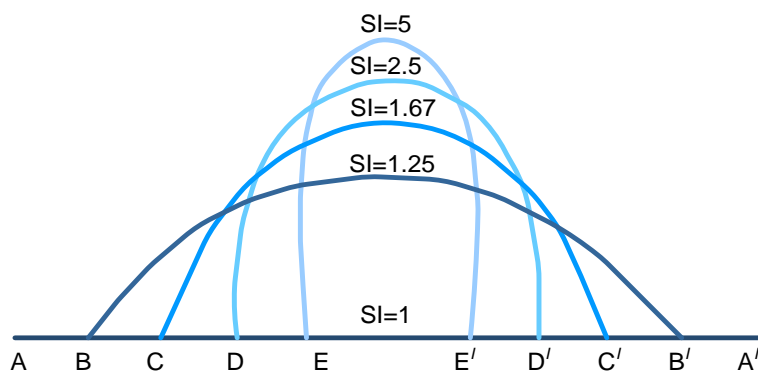


Figure 2 – Diagramme schématique illustrant l'augmentation de l'indice de sinuosité (IS) avec l'augmentation de la sinuosité (courbure) d'une section de route donnée. Les valeurs IS des sections de route de même longueur augmentent avec la réduction de la distance aérienne entre leurs extrémités (A-A', B-B', C-C') [25]

### 2.3. Données GPS et exploration de données

« *Les applications réussies de l'exploration de données ne sont pas courantes, malgré la grande quantité de publications qui s'accumulent sur le sujet. Cela est dû au fait que, bien qu'il soit relativement simple de découvrir un schéma ou une structure dans les données, il est très difficile de définir sa pertinence et d'en expliquer les causes.* » [5]. Pour s'étendre sur ce sujet, il vaut la peine de se pencher sur le travail réalisé par Chen et al. [8] sur l'exploration de données provenant de champs de texte dans une grande base de données (6556 entrées) pour une compagnie d'assurance automobile. Leur démarche, bien qu'originale, n'a pas tenu compte du biais inhérent à la base de données. Les règles qu'ils ont appliquées se concentraient sur l'âge du conducteur, l'âge du véhicule et la présence de certains mots clés, tels que perte du contrôle, étroit, mouillé, abrupt, gravier. Une mesure de fréquence des mots clés a alors été associée à un type d'accident particulier. Les résultats de cette exploration de données ont révélé que les plus hauts facteurs de risque contribuant aux collisions dans les virages sont les conducteurs ayant de 25 à 42 ans d'expérience de conduite et qui conduisent un véhicule relativement neuf [8]. Bien qu'un schéma ait été découvert grâce à cette analyse d'exploration de données, les résultats sont plus révélateurs des individus faisant des réclamations auprès de leur compagnie d'assurance particulière que des facteurs de collision routiers concourants.

Malgré l'affirmation par Buttenfield et al. [8] selon laquelle l'exploration de données n'est pas un processus direct, nombreux sont ceux qui l'utilise quotidiennement sans avoir recours à une technologie de boîte noire quelconque [31].

L'augmentation de l'utilisation des systèmes GPS en temps réel et d'autres systèmes de collecte de données spatiales, tels que la télédétection, a permis de recueillir des quantités considérables de données spatiales. De nouvelles approches de l'analyse de collision sont nécessaires pour extraire les informations parfois difficiles à discerner des ensembles de données recueillies de façon routinière par la police et les autorités routières [8]. La classification est l'une des façons par lesquelles les informations sont découvertes dans de gros volumes de données. La classification des données peut s'effectuer en se basant sur certaines règles. Ces règles doivent être définies par des individus disposant de connaissances suffisantes pour interagir avec les données, ce qui est souvent désigné comme apprentissage automatique supervisé. Il est « supervisé » en ce sens qu'il est nécessaire que l'individu ou l'analyste identifie un champ contenant les attributs à explorer dans les données [32].

D'autres études appuient l'utilisation des données GPS pour établir des endroits de signification [1] ou des systèmes d'alerte en cas d'excès de vitesse intégrés aux systèmes de navigation des véhicules [19]. Un point de vue gagnant actuellement de nombreux adeptes considère que le GPS, non content d'être rapide et fiable pour définir la géométrie routière [6], est souvent la solution la plus rentable en la matière. Dans la pratique, il n'est pas possible de se rapporter à un ensemble de conceptions routières détaillées « conformes à l'exécution », car bien des routes rurales n'ont pas été conçues selon des normes particulières. Les données GPS sont une excellente source de données primaires. Les récepteurs GPS sont de plus en plus précis et bon marché. Les signaux GPS provenant des constellations satellitaires sont gratuits et accessibles partout dans le monde. Sous de nombreux aspects, pour ce type d'analyse, le GPS est supérieur aux sources secondaires de données routières, telles que les cartes.

### 3. COLLECTE DE DONNEES

Les données sur l'état des routes sont enregistrées lors des relevés routiers annuels réalisés pour le compte de la NRA au moyen d'un véhicule muni d'un profilomètre de route (RSP). Toutes les données recueillies lors du relevé routier sont référencées sur le GPS. Le RSP/GPS fonctionne à des intervalles de 10 Hz et 5 mètres. Cela signifie que, tous les 5 mètres, les données sont enregistrées comme chaînes d'information dans le fichier Global Positioning System Fix Data (GPGGA). Il s'agit de l'une des normes internationales pour l'enregistrement des données GPS, et elle contient des entrées telles que l'heure, la latitude, la longitude, le nombre de satellites en vue, etc. avec les données du RSP. L'horodatage (t) effectué tous les 5 mètres (d) est particulièrement intéressant. À partir de ces données de base, la vitesse du véhicule (v) peut être calculée ainsi :

$$V = d/t \quad \text{eqn. (1)}$$

Toutes les données GPS sont traitées ultérieurement afin de corriger les erreurs du GPS, ce qui est désigné comme GPS différentiel (DGPS). Le DGPS est employé pour prendre en charge et annuler les petites erreurs dues au récepteur même, aux conditions atmosphériques et aux distorsions de trajets multiples (signaux reflétés par des obstacles locaux).

La portée de cette analyse s'est limitée au réseau national secondaire. Le réseau national secondaire a une longueur de 2 690 km. Suite à quelques erreurs de traitement, la N51 et la N78 ont été éliminées de l'ensemble de données. Cela réduit l'étendue totale du réseau analysé à 2 570 km. Nous avons supposé que ces omissions n'affecteraient pas le résultat global.

#### 4. TRAITEMENT DES DONNEES

La classification simple des données est une technique courante d'exploration de données. La méthodologie adoptée pour cette classification se base sur certaines règles. Dans le cadre de cette analyse, nous avons défini une règle pour déterminer la différence de vitesse ( $S_d$ ) du véhicule de relevé telle qu'enregistrée par les données GPS recueillies tout au long de l'itinéraire. Plusieurs suppositions ont été faites. Nous sommes partis du principe que le véhicule de relevé s'est déplacé librement à une vitesse typique correspondant au trafic sur la route. Une autre supposition a été que les intempéries n'ont pas affecté négativement la vitesse du véhicule et que les vitesses n'ont pas beaucoup changé par rapport aux données de l'année précédente.

L'écart de vitesse du véhicule est obtenu par

$$S_d = S_a - S_{a+v} \quad \text{eqn. (2)}$$

Où  $S_a$  est la vitesse à un point et  $S_{a+v}$  la vitesse à un autre point sur la même route dans la direction du déplacement, à une distance  $v$ . Où  $v$  est une valeur constante et représente la distance sur laquelle se produit l'écart, en fonction des études sur la réaction des freins et les distances de freinage du véhicule [3],[23]

L'équation (2) a été réalisée à plusieurs reprises dans un processus répétitif afin de déterminer le début de la section d'écart de vitesse et la fin de la section (c.-à-d. des descripteurs de distance). Une application standard par feuille de calcul a été employée pour exécuter cette fonction sous la forme d'une instruction IF conditionnelle. Elle a été exécutée jusqu'à ce qu'apparaisse un schéma de vitesses associé au freinage et à l'accélération. Le processus de classification a filtré environ 520 000 entrées d'évènements de vitesse mesurés à des intervalles de 5 mètres sur environ 2 600 km de routes nationales secondaires. Les résultats de cette exercice d'exploration de données ont indiqué qu'il existait 2 109 sections de route sur le réseau national secondaire avec des différentiels de vitesse supérieurs à 10 km/h.

La NRA tient et met à jour les données routières de façon périodique dans un système d'information géographique (SIG), et les évènements liés à ces routes, tels que les données provenant des relevés de l'état des routes, sont sauvegardées sous des fichiers séparés. L'emplacement de ces données dans le réseau est décrit comme une série d'entrées associées « début de distance » et « fin de distance ». Ces données d'évènements routiers peuvent être manipulées à l'intérieur comme à l'extérieur du SIG. Par exemple, si ces données sont exploitées sur une feuille de calcul, elles peuvent être réutilisées avec le SIG dans la mesure où les précautions nécessaires ont été prises. Cet outil SIG utilisé par la NRA permet d'obtenir des données tabulaires, de maintenir des informations sur les routes et les distances et de pouvoir faire référence à un réseau routier commun. Cela est souvent désigné comme référencement linéaire. La capacité à référencer des évènements, qu'ils soient ponctuels ou linéaires, sur une route définie est une condition requise pour ce type d'analyse.

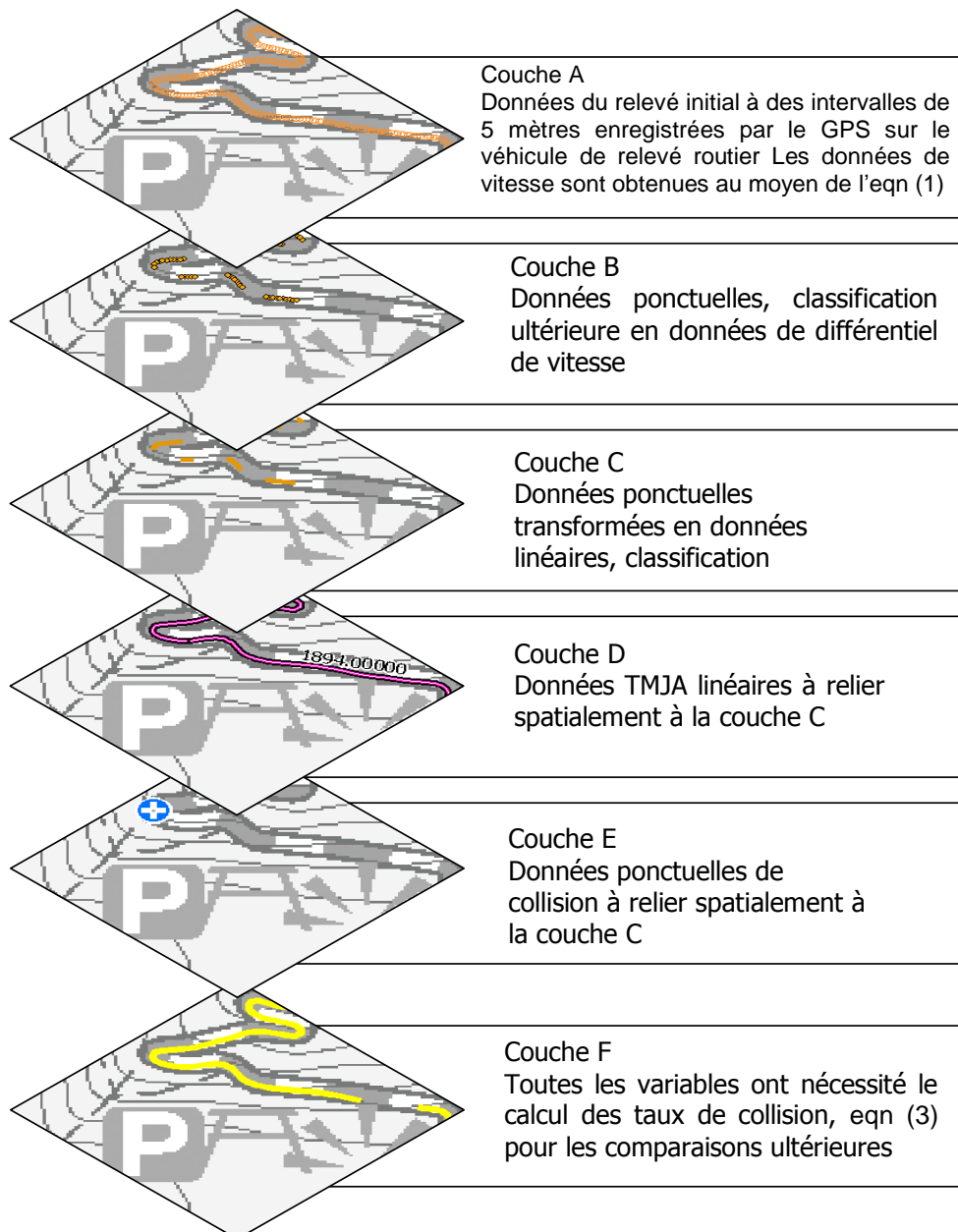


Figure 3 - Description des couches de données du SIG produites dans le cadre de l'exercice d'exploration de données

## 5. RESULTATS

Les résultats sont présentés en deux sections. La première traite des résultats provenant du calcul des taux de collision en fonction des écarts de vitesse. La deuxième traite des résultats provenant de l'analyse de sinuosité sur les routes nationales secondaires.

### 5.1. Résultats relatifs aux écarts de vitesse et aux taux de collision

La longueur relativement petite des routes identifiées comme comprenant des écarts de vitesse supérieurs à 10 kilomètres par heure a été un sujet de préoccupation pour calculer les taux de collision. Ces sections ( $L_i$ ) de route ne représentaient que 416 km, soit à peine 16 pour cent, de l'ensemble des routes nationales secondaires. Les taux se basent donc sur un ensemble de données de collisions relativement réduit (1339). Ces 1339 collisions ( $f_j$ ) ont eu lieu pendant une période de sept ans ( $P$ ), de 2001 à 2007. Les données de



volume de trafic à la mi-année (TMJA 2004) ont été employées pour calculer les taux de collision. Le calcul est parti du principe que le volume de trafic pour la période analysée est mieux représenté par les données du volume de trafic à la mi-année ( $Q_i$ ) [4].

$$R_j = \frac{f_i \times 10^8}{365,25 \times PL_j Q_i} \quad \text{eqn. (3)}$$

À titre de référence, les taux de collision ont été calculés (eqn. (3)) pour toutes les sections du réseau national secondaire, désignées comme population A. Cette population de routes se compose de sections rurales et urbaines. En consultant le tableau 1, il est évident que les taux de collision sont considérablement supérieurs (1,6 fois plus hauts) sur les sections urbaines que sur les sections rurales.

La population de référence B se compose de toutes les sites dont l'écart de vitesse dépasse 10 km/h sur toutes les routes nationales secondaires. Une fois encore, cette population de routes comporte des sections urbaines et rurales, et les taux de collision sont largement supérieurs (2,25 fois plus hauts) sur les sections urbaines que sur les sections rurales. Cependant, dans les environnements urbains, la différence entre les vitesses observée dans les données n'est pas imputable à un alignement horizontal difficile. Cela est sans doute davantage lié à la nature du trafic dans les villes et les villages, avec ses marches-arrêts.

La population de référence C se compose de toutes les sites dont l'écart de vitesse dépasse 20 km/h sur toutes les routes nationales secondaires. Comme précédemment, il est peu probable que les taux de collision et les écarts de vitesse en milieu urbain soient expliqués par l'alignement horizontal, car ils peuvent découler des mouvements plus complexes du trafic et de la présence accrue d'usagers de la route vulnérables. Il existe néanmoins peu de différence entre les taux de collision des populations rurales B et C. Malgré un plus grand écart de vitesse pour C, il y a une légère diminution des taux de collision. Ce résultat n'était pas prévu.

Tableau 1 – Résumé des taux de collision calculés pour les routes nationales secondaires

<b>Population de référence</b>	<b>Total des longueurs de site (km)</b>	<b>Total des collisions avec blessé</b>	<b>Véhicules-kilomètres exposés</b>	<b>Taux de collision / <math>10^8</math> véh-km</b>
<b>A</b>	2547	4327	12257773	13,81
<b>A urbain</b>	1777	2380	8041659	18,06
<b>A rural</b>	770	1947	4216114	11,58
<b>B</b>	416	1339	2023816	25,88
<b>B urbain</b>	124	850	882393	37,68
<b>B rural</b>	293	489	1141423	16,76
<b>C</b>	223	928	1234034	29,41
<b>C urbain</b>	92	695	682625	38,82
<b>C rural</b>	131	233	551381	16,53
<b>D</b>	253	666	1209517	21,54
<b>D urbain</b>	50	304	387733	30,67
<b>D rural</b>	203	362	821784	17,23
<b>E</b>	163,7	673	814299	32,33
<b>E urbain</b>	74,2	546	494660	44,81
<b>E rural</b>	89,5	127	319639	14,03

Afin d'étudier la différence constatée entre les populations rurale B et rurale C, on a comparé le nombre de zones présentant des écarts de vitesse chez les deux populations.

En général, un virage isolé sur une ligne droite sera identifié par une chute soudaine de la vitesse. La population de référence D se compose de toutes les sections de route comportant une ou deux zones à écart de vitesse dans un même site. Les taux de collision sont ensuite comparés à ceux de la population de référence E. Cette population de sections routières se compose des sites présentant quatre écarts de vitesse ou plus. Nous partons du principe que les virages isolés présentent un risque plus élevés pour les usagers de la route qu'une série de virages. Les résultats confirment cette hypothèse, et les taux de collision pour la population rurale D sont plus élevés que pour la population rurale E. La population rurale D dispose d'à peine plus de 200 km de routes pour l'analyse. Cette longueur de route se caractérise par des écarts de vitesse localisés (> 10 km/h). En moyenne, chaque écart de vitesse a été observé sur 80 m. Afin d'évaluer la gravité de l'alignement horizontal lié à ces écarts de vitesse isolés, une valeur d'indice de sinuosité (IS) a été calculée.

## 5.2. Résultats de l'analyse de sinuosité

À titre d'évaluation alternative de l'alignement horizontal des routes nationales secondaires, une analyse de sinuosité a été réalisée. Comme nous l'avons mentionné dans la section 2.2, nous ne disposons pas de données détaillées d'alignement routier pur les routes rurales en mauvais état. Collecter des quantités astronomiques de données sur la géométrie routière coûte du temps et de l'argent. En l'absence des données détaillées relatives à la géométrie routière qui sont généralement nécessaires pour définir le rayon d'une courbure, une mesure de la sinuosité des routes a été utilisée pour évaluer la cohérence de l'alignement horizontal à une résolution de 1 km, sur l'ensemble du réseau routier national (environ 5 500 km). Le rapport entre la longueur réelle ( $L_{al}$ ) d'une section de route ( $X_1, Y_1$  à  $X_2, Y_2$ ) et le chemin le plus court ( $L_{sp}$ ) de la même section routière est défini comme indice de sinuosité (SI).

$$SI = \frac{L_{al}}{L_{sp}} \quad \text{eqn. (4)}$$

On peut s'attendre à une valeur IS égale à 1 dans le cas d'une section droite et nivelée. Plus la route comporte de virages, plus la valeur IS augmente. La figure 4 montre les couches spatiales utilisées dans le SIG pour évaluer les valeurs IS pour chaque segment de 1km sur le réseau routier national.

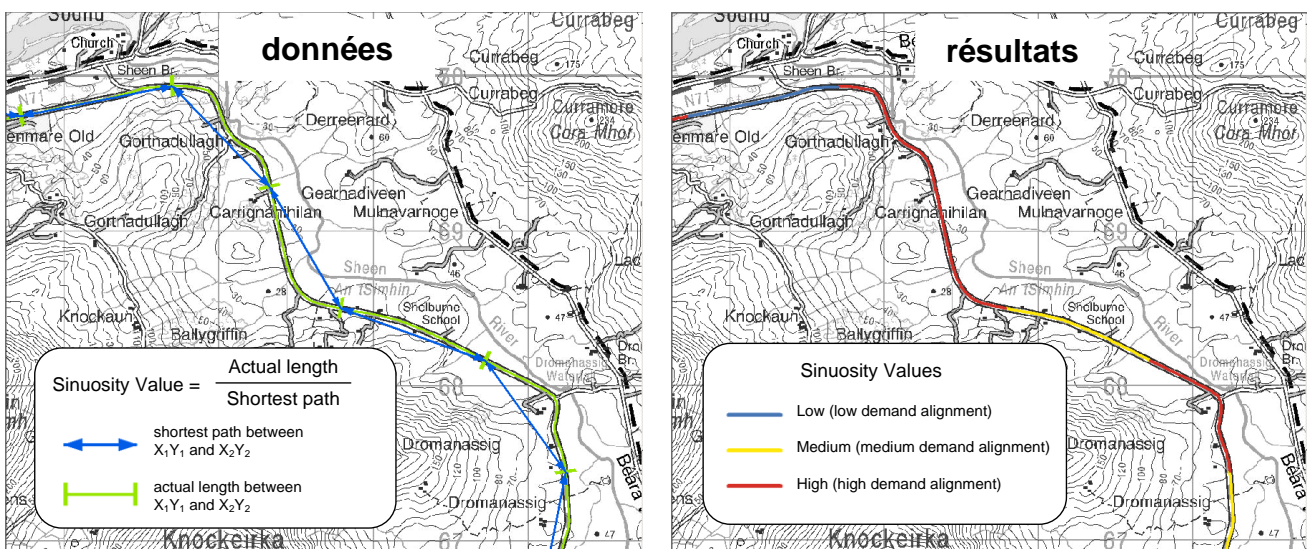


Figure 4 – Référencement linéaire, sections de 1 km, le long des données routières existantes (longueur réelle) et des distances en ligne droite (chemin le plus court) générées à partir des données X, Y associées dans le SIG

La figure 4 indique les résultats d'une classification par quantiles des valeurs de sinuosité produites en divisant la longueur réelle sur laquelle on conduit dans une section routière par le chemin le plus court entre le début et la fin de cette section. La classification par quantiles est une méthode standard dans le SIG pour regrouper les valeurs de données égales parmi un certain nombre de catégories. Cette classification inclut les réseaux nationaux secondaire et primaire, qui représentent au total environ 5 500 km de routes, y compris les autoroutes. Dans ce cas, trois catégories ont été utilisées pour définir l'alignement (à savoir sinuosité basse, modérée et haute). Les résultats pour le réseau national secondaire considéré dans la section 5.1 sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 – Résultats de l'analyse de sinuosité par route synthétisés par longueur

Route n°	Sinuosité			Niveau en %
	Basse	Modérée	Haute	
52	43,0	68,0	91,6	45,2 %
53	9,0	6,2	3,0	16,5 %
54	10,0	12,0	13,5	38,1 %
55	27,0	17,2	35,0	44,2 %
56	19,0	43,0	94,4	60,4 %
58	1,0	3,0	7,3	64,5 %
59	58,0	85,0	154,9	52,0 %
60	31,0	31,4	30,0	32,5 %
61	27,7	21,0	26,0	34,8 %
62	39,0	33,0	23,6	24,7 %
63	46,0	20,0	28,8	30,4 %
65	10,0	21,8	21,0	39,8 %
66	9,0	10,5	7,0	26,4 %
67	27,0	42,0	60,3	46,7 %
68	19,0	17,0	4,9	11,9 %
69	26,0	37,2	38,0	37,6 %
70	23,0	31,0	88,7	62,2 %
71	15,0	38,0	137,2	72,1 %
72	45,0	53,5	67,0	40,5 %
73	11,0	16,0	7,5	21,7 %
74	4,0	9,0	7,1	35,4 %
75	4,0	1,0	2,8	35,7 %
76	3,0	26,0	14,7	33,7 %
77	4,0	7,0	16,2	59,5 %
80	41,0	50,0	45,9	33,5 %
81	9,0	34,0	40,0	48,2 %
82	0,0	0,0	2,6	100,0 %
83	22,2	12,0	11,0	24,3 %
84	28,0	26,0	20,0	27,0 %
85	5,0	5,0	22,2	69,0 %
86	10,0	13,0	26,6	53,6 %
87	2,0	11,1	15,0	53,5%
<b>Longueur totale en km</b>	<b>628,0</b>	<b>801,0</b>	<b>1163,8</b>	

Presque 45 pour cent (1 164 km) des routes répertoriées dans le tableau 5 sont des routes dont l'IS est considéré comme élevé avec une classification par quantiles. À peine 24 pour cent (628 km) sont classées avec un faible IS. Sur les 32 routes considérées, neuf comportent une majorité de valeurs IS élevées. Cela implique que plus de 50 pour cent de leurs longueurs sont considérées comme des routes exigeantes en termes d'alignement horizontal.

Une analyse semblable a été réalisée avec la population de référence rurale D. L'hypothèse était que les écarts de vitesse observés dans les données GPS provenaient de routes exigeantes avec des valeurs de sinuosité significatives. Le tableau 3 indique que 412 km de routes nationales secondaires se caractérisent par des virages isolés. Il est probable que ces virages soient exigeants si l'on s'en tient à l'IS élevé.

Tableau 3 – Résultats de l'analyse de sinuosité par route et par longueur sur la route de référence « Rurale D »

Route n°	Sinuosité			Niveau en %
	Basse	Modérée	Haute	
52	9,0	19,0	36,5	56,6 %
53	2,0	2,0	1,0	20,0 %
54	1,0	2,7	5,0	57,8 %
55	7,0	8,6	20,0	56,1 %
56	4,0	14,0	42,0	70,0 %
58	0,0	0,0	5,0	100,0 %
59	11,0	18,0	53,0	64,6 %
60	2,0	5,0	5,0	41,7 %
61	5,7	2,0	5,0	39,2 %
62	3,0	10,0	4,0	23,5 %
63	6,0	3,0	8,0	47,0 %
65	2,0	6,8	9,0	50,5 %
66	1,0	0,0	1,0	50,0 %
67	10,0	18,0	23,0	45,1 %
68	3,0	0,0	1,0	25,0 %
69	3,0	6,0	4,0	30,8 %
70	5,0	9,0	51,0	78,5 %
71	5,0	12,0	55,6	76,6 %
72	9,0	12,5	23,0	51,6 %
73	3,0	8,0	4,0	26,7 %
74	1,0	2,0	2,1	41,5 %
75	1,0	1,0	1,8	47,0 %
76	0,0	4,0	5,0	55,6 %
77	0,0	2,0	2,0	50,0 %
80	1,0	3,0	4,0	50,0 %
81	1,0	3,0	10,0	71,4 %
82	NA	NA	NA	
83	3,0	4,0	4,0	36,4 %
84	8,0	2,0	2,0	16,7 %
85	0,0	0,0	1,0	100,0 %
86	1,0	8,0	14,0	60,9 %
87	2,0	5,1	10,0	58,6%
<b>Longueur totale en km</b>	<b>109,8</b>	<b>190,7</b>	<b>412,0</b>	

Les résultats des routes N56, N59, N70 et N71 sont particulièrement intéressants. Toutes ces routes présentent des longueurs considérables de ce type d'alignement horizontal éprouvant. Les résultats figurant dans le tableau 1 suggèrent que les taux de collision ont tendance à être plus élevés sur ce type de routes rurales que sur toute autre. Cependant, toutes ces routes ont plus de 80 km de longueur classés avec des valeurs IS élevées, et elles peuvent donc être considérées comme des routes exigeantes, qui nécessitent de hauts niveaux d'attention de la part du conducteur. Comme nous l'avons mentionné précédemment et comme le fait remarquer Smith et al. [26] les conducteurs ont plus de difficulté à se concentrer sur les routes moins exigeantes que sur celles qui le sont davantage. De plus, les zones critiques se situent dans les points de transitions des

sections exigeantes vers celles qui le sont moins, et vice-versa. Il faut donc prêter une attention particulière aux transitions entre les scores IS faibles et élevés sur chaque route, et non se concentrer seulement sur les routes sections exigeantes à haut IS.

## 6. EXPLICATIONS ET CONCLUSIONS

Les résultats de l'analyse ont révélé qu'en se servant de sources de données spatiales, il est possible d'aller plus loin que les approches traditionnelles consistant à identifier les sites dangereux en se basant uniquement sur les données historiques de collision. Les données relatives aux écarts de vitesse sont facilement obtenues à partir des fichiers GPS accompagnant les données sur l'état des routes, qui sont périodiquement recueillies par les autorités routières. La courbure d'une route peut être estimée en mesurant sa sinuosité. Associé aux données relatives aux écarts de vitesse, il s'agit d'un processus robuste et pouvant être répété pour évaluer la cohérence horizontale d'un réseau routier, et ce de façon rapide et rentable. Cela s'avère particulièrement pertinent pour les anciennes routes, qui sont peu susceptibles d'avoir été conçues selon des normes modernes.

L'étude a démontré que l'exploration des données des fichiers GPS peut fournir les emplacements des zones de freinage des véhicules approchant des virages horizontaux difficiles. En l'absence d'une géométrie routière détaillée, ces informations peuvent être exploitées pour évaluer la qualité de la courbure horizontale des routes. Les virages isolés présentent un plus grand danger pour les usagers de la route, ce qui a été confirmé par les données routières de collision. Cette analyse appuie la décision de financer des travaux correcteurs de sécurité routière dans 25 emplacements en 2011 sur le réseau routier national irlandais. Le type de travaux financés va des améliorations mineures, telles que la signalisation, les revêtements et l'amélioration des lignes visuelles dans les virages, aux améliorations de grande envergure, qui exigent un ré-alignement considérable sur des longueurs significatives (2 à 3 km) de route.

Au cours des années à venir, il est probable que davantage de données, très souvent des données spatiales, seront recueillies par les autorités routières et d'autres organisations semblables s'intéressant à la sécurité routière. La découverte de nouvelles informations en identifiant des schémas dans ces volumes de données constitue une opportunité réelle pour acquérir des connaissances précieuses sur l'environnement routier physique.

À la lumière de la nouvelle directive européenne sur la gestion de la sécurité des infrastructures routières (2008/96/EC), il est essentiel que les autorités routières soient en mesure d'évaluer la qualité des infrastructures routières sur le réseau TERN d'une façon cohérente et fiable. La directive stipule que les autorités routières doivent adopter une démarche préventive pour identifier les défauts sur leur réseau TERN. La réutilisation de données existantes, comme le démontre ce document, est l'occasion de s'appuyer sur leurs ressources existantes afin d'atteindre efficacement cet objectif.

## RÉFÉRENCES

1. Agamennoni, G. Nieto, J. Nebot, E (2008). Mining GPS data for extracting significant places. Proceedings from the 2008 Australian conference on robotics and automation, Canberra
2. An Foras Forbartha (1968). Road accident facts 1968 Ireland. An Foras Forbartha – The national Institute for physical planning and construction research, Dublin
3. Belanger, C. Barber, P. (2003). Horizontal alignment technical sheet, in Belanger, C. (ed.). Road safety manual - Recommendations from the World Road Association (PIARC). Route 2 Market, Kent

4. Belanger, C. Barber, P. (2003). Chapter 5 - Identification, in Belanger, C. (ed.). Road Safety Manual: Recommendations from the World Road Association (PIARC). Route 2 Market, Kent
5. Battenfield, B. Gahegan, M. N. Miller, H. and Yuan, M. (2001). Geospatial data mining and knowledge discovery. Retrieved November 23, 2009 from [http://www.ucgis.org/priorities/research/research\\_white/2000whitepapersindex.htm](http://www.ucgis.org/priorities/research/research_white/2000whitepapersindex.htm)
6. Castro, M. Iglesias, L. Rodriguez-Solano, R. Sanchez, J. A. (2006). Geometric modelling of highways using global positioning systems (GPS) data and spline approximation. Transport research, part C, pp 233-243
7. Charlton, S. G. de Pont, J. J. (2007). Curve speed management. Research report 232. Land transport New Zealand
8. Chen, S. Rakotonirainy, A. Loke, S. W. (2009). Applying data mining to access crash risk on curves. Proceeding from the 2009 Australasian road safety research, policing and education conference, Sydney
9. de Waard, D. (2002). Mental workload in, Fuller, R. Santos, A. S. (eds.). Human factors for highway engineers. Elsevier science ltd, Oxford
10. Elvik, R. (2008). A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. Accident analysis and prevention, Vol 40, pp 1830-1835
11. Elvik, R. (2008). Dimensions of road safety problems and their measurement. Accident analysis & prevention. Vol 40, pp 1200-1210.
12. EuroRAP (2008). EuroRAP 2008: Ireland results, Risk and star rating Ireland's major roads. AA Ireland & EuroRAP AISBL, Hampshire
13. Girish, N. Malgorzata, R. (2007). 3D calculation of stopping-sight distance from GPS data. Journal of transportation engineering. Vol 133, Issue 11, pp 645-546
14. Hassan, Y. (2004). Highway design consistency – Refining the state of knowledge and practice, proceedings from TBRannual meeting. Transport research board, Washington, DC
15. Hauer, E. (2007). A case for evidence-based road-safety delivery. AAA Foundation for road traffic safety, Washington DC
16. Labrousse, M. (2003). Chapter 3 – Road safety factors, in Belanger, C (ed), Road safety manual – Recommendations from the World Road Association (PIARC), Route 2 Market, Kent.
17. Laird, J. Harris, R. Shen, S. 2010, Accidents on rural roads – for better or worse. Proceedings from the European transport conference 2010
18. Lamm, R. Pasrianos, B. Mailaender, T. (1999). Chapter 9 – Alignment of non built up roads. Highway design and traffic safety engineering handbook. McGraw – Hill, New York
19. Li, K. Tan, H. S. Misener, J. Hendrick, K. J. (2007). Digital map as a virtual sensor – dynamic road curve reconstruction for a curve speed assistant. Vehicle System Dynamics, Vol 46, No. 12, pp 1141-1158
20. Longley, P. A. Goodchild, M. F. Maguire, D. J. Rhind, D. W. (2001). Geographic information systems and science, Wiley, Chichester
21. Lynam, D. (2007). Rural road safety – policy options. Transport research laboratory, Berkshire
22. Noyce, D. A, Bahia, H. U. Yambo, J. M. Guisk, K. (2005). Incorporating road safety into pavement management, Maximizing asphalt pavement surface friction for road safety improvements. Midwest regional university transportation center. Traffic operations and safety (TOPS) laboratory
23. O'Conneide, D. Murphy, J.C. Ryan, T. (2004). Interurban accident rates by road type and geometric elements. Proceedings from the European transport conference 2004, Paris
24. Rautela, P. Pant, S. S. (2007). New methodology for demarcating high road accident risk-prone stretches in mountain roads. Current Science, Vol 92, No. 8 pp 1157-1161
25. Road Safety Authority. (2009), Irish Road Collision Facts 2008. Retrieved on November 14, 2009 from <http://www.rsa.ie/en/RSA/Road-Safety/Our-Research/Collision-Statistics/>
26. Smith, M. Oppenhuis, M. Koorey, G. (2006). Fatigue crashes: the extent to which terrain change has an influence on the fatigues (drowsy) driver. 22<sup>nd</sup> ARRB conference - Research into practice, Canberra
27. SWOV. (2007). SWOV fact sheet – The blackspot approach. Institute for road safety research. Leidschendam
28. Transport Research Board – National Research Council. (2001). Statistical methods in highway safety analysis, A synthesis of highway practice, National academy press, Washington, DC
29. Watters, P. O'Mahony, M. (2007). The relationship between geometric design consistency and safety on rural single carriageways in Ireland. Proceedings from the European transport conference 2010
30. Wegman, F. (2002). Review of Ireland's road safety strategy. SWOV Institute for road safety research, Leidschendam
31. West, D. (2009). What is data mining? - Interview with Dean West president of association laboratory Inc. Viewed on YouTube 18<sup>th</sup> Nov 2009
32. Yeung, A. Hall, G. B. (2007). Spatial database systems, design implementation and project management. The geojournal library. Vol 87, Springer