

* 68.644

Institut Belge pour la Sécurité Routière asbl

Chaussée de Haecht 1405 - B-1130 Bruxelles
Téléphone 02/244.15.11 - Téléfax 02/216.43.42
E-mail : info@ibsr.be - Internet : www.ibsr.be
TVA BE 432.570.411



V 05/04

Bruxelles, le 4 juin 2004

**DÉPARTEMENT TECHNIQUE
JEAN-MANUEL PAGE**

***Description & évaluation techniques du limiteur de vitesse intelligent
Limit Advisor M2002 testé à Gand en 2002 et 2003 (ISA-GENT)***

Rapport final

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	4
PARTIE I : ASPECTS ORGANISATIONNELS ET FINANCIERS.....	5
1.1 Le projet PROSPER.....	5
1.2 ISA-Gent.....	5
1.3 Les partenaires d'ISA-Gent.....	5
1.4 Les sponsors d'ISA-Gent.....	5
1.5 Les conducteurs.....	5
PARTIE II : ASPECTS TECHNIQUES.....	6
2.1 Les constituants d'un limiteur de vitesse intelligent.....	6
2.2 Classification des limiteurs de vitesse intelligents.....	8
2.2.1 Classification selon le type d'interaction avec le conducteur.....	8
2.2.2 Classification selon le caractère statique ou dynamique.....	8
2.3 Le limiteur de vitesse intelligent LIMIT ADVISOR M2002.....	9
2.3.1 Constituants.....	9
2.3.2 La constellation de satellites du système GPS.....	10
2.3.3 L'antenne de réception.....	14
2.3.4 L'unité de positionnement.....	15
2.3.5 La carte numérique.....	17
2.3.6 L'unité de contrôle électronique (CPU).....	20
2.3.7 L'odomètre.....	21
2.3.8 L'unité mécanique (MechUnit).....	24
2.3.9 L'unité d'affichage et de réglage.....	29
2.3.10 Valeur technique du <i>Limit Advisor M2002</i>	30
2.4 Evaluation de la compatibilité du limiteur avec les véhicules.....	31
2.4.1 Généralités.....	31
2.4.2 Exigences de base.....	31
2.4.3 Aspects pratiques.....	32
2.4.4 Séquelles laissées au véhicule après démontage du limiteur.....	34
PARTIE III : ASPECTS INFORMATIQUES.....	35
3.1 La captation des données brutes.....	35
3.1.1 L'enregistrement.....	35
3.1.2 Le déchargement de la mémoire.....	39
3.2 Le traitement des données brutes.....	41
3.2.1 Introduction.....	41
3.2.2 Approches possibles.....	41
3.2.3 L'outil développé en langage SQL.....	42
3.2.4 L'interprétation des indicateurs obtenus.....	44
PARTIE IV : ASPECTS REGLEMENTAIRES.....	47
4.1 Agréation par type.....	47
4.1.1 Introduction.....	47
4.1.2 La compatibilité électromagnétique.....	47
4.1.3 La directive particulière 92/24/CEE sur les limiteurs de vitesse.....	48
4.1.4 Les autres directives particulières.....	49
PARTIE V : EVALUATION TECHNIQUE D'AUTRES PROJETS.....	50
5.1 Suède (1999 – 2001).....	50
5.1.1 Introduction.....	50
5.1.2 Evaluation technique.....	50
5.2 Pays-Bas: ISA-Tilburg (1999-2000).....	51
5.2.1 Introduction.....	51
5.2.2 Evaluation technique.....	51
5.3 Royaume-Uni: External Vehicle Speed Control (1997-2000).....	52
5.3.1 Introduction.....	52
5.3.2 Evaluation technique.....	52
5.4 Danemark: INFATI (1998-2001).....	53
5.4.1 Introduction.....	53

5.4.2 Evaluation technique	53
5.5 Hongrie et Espagne : projet européen Prosper (2003-2004)	53
5.5.1 Introduction.....	53
5.5.2 Evaluation technique de l'expérience hongroise	53
5.6 France : projet LAVIA (2003-2004).....	54
5.6.1 Introduction.....	54
5.6.2 Evaluation technique	54
5.7 Belgique : projet DIVOTE (2002-2003).....	55
5.7.1 Introduction.....	55
5.7.2 Evaluation technique	55
5.8 Autres.....	56
5.9 Résumé : les défis technologiques de ISA	56
5.9.1 La détermination de la VMA en tout point, à tout instant.....	56
5.9.2 Le choix de l'interface conducteur	56
PARTIE VI : CONCLUSIONS.....	57
6.1 Conclusions du volet TECHNIQUE de l'étude (ISA-Gent)	57
6.2 Recommandations concernant le Limit Advisor M2002	58
6.3 Synthèse	58
BIBLIOGRAPHIE.....	59
GLOSSAIRE	60
ANNEXE 1 : Le récepteur GPS	61
ANNEXE 2 : La structure de la base de données SQL	62
ANNEXE 3 : Emissions EM du Limit Advisor M2002 (95/54/CE, annexes VII & VIII)	63

INTRODUCTION

Entre octobre 2002 et décembre 2003, la ville de Gand a été le théâtre d'une expérience intéressante en matière de sécurité routière : trente-sept véhicules ont été équipés d'un système intelligent de limitation de vitesse (Intelligent Speed Adaptation).

Un limiteur de vitesse intelligent (ci-après dénommé ISA) est un équipement de confort et de sécurité dont la fonction est d'interagir avec le conducteur ou son véhicule en cas de dépassement de la vitesse maximale autorisée (VMA). L'interaction entre le limiteur et le conducteur ou le véhicule en cas de dépassement de la VMA peut prendre différentes formes allant du simple avertissement sonore ou lumineux à la coupure de l'injection de carburant.

Le projet en question, nommé ISA Gent (Intelligent Speed Adaptation - Gent), s'inscrit dans l'effort actuel de réduction des accidents de la circulation routière aux niveaux belge et européen. La gestion du projet, ainsi que les différents volets de son évaluation ont été confiés à des groupes de travail distincts :

- Groupe N°1 : Coordination du projet
- Groupe N°2 : Evaluation de la perception et du comportement des utilisateurs
- Groupe N°3 : Evaluation de la valeur technique et ergonomique du système
- Groupe N°4 : Evaluation de l'impact écologique du système (via le style de conduite)
- Groupe N°5 : Développement d'un outil informatique de traitement des données collectées
- Groupe N°6 : Evaluation de l'aspect juridique
- Groupe N°7 : Evaluation des aspects communicatifs

Le présent rapport synthétise les résultats de l'évaluation technique du système, ce qui constitue la première partie¹ du groupe N°3.

Les objectifs de ce rapport sont :

1. Présenter le contexte de ce projet
2. décrire tous les composants du limiteur de vitesse et les technologies utilisées
3. expliquer le principe de fonctionnement des éléments clés du système
4. présenter les lacunes, limitations et incompatibilités rencontrées parmi les composants
5. décrire la structure de l'outil informatique développé et les éventuels problèmes rencontrés
6. évaluer le respect des normes européennes en matière d'homologation type des véhicules
7. comparer les résultats obtenus avec ceux d'expériences similaires réalisées à l'étranger
8. Conclure et formuler des recommandations pour le futur

Le point 1 est traité dans la première partie. Les points 2 à 4 inclus sont étudiés dans la deuxième partie. Les quatre derniers points sont présentés, respectivement, dans les parties 3, 4, 5 et 6.

¹ La seconde partie, l'évaluation ergonomique, a été traitée par l'équipe du Professeur Pauwels de la faculté d'éducation physique et de kinésithérapie de la Katholieke Universiteit Leuven.

PARTIE I : ASPECTS ORGANISATIONNELS ET FINANCIERS

1.1 Le projet PROSPER

Le projet européen PROSPER² s'inscrit dans le cadre de la lutte contre l'insécurité routière dans la communauté européenne. Il s'attache plus particulièrement à l'évaluation des nouveaux outils de limitation de vitesse au sein des véhicules. Les objectifs de PROSPER peuvent être résumés comme suit :

- Estimer l'efficacité des systèmes ISA par rapport aux méthodes traditionnelles³
- Evaluer leur degré d'acceptation par les conducteurs européens
- Evaluer les étapes d'une généralisation d'ISA dans les véhicules
- Identifier les difficultés majeures à surmonter
- Mesurer leur incidence sur l'environnement (émissions polluantes)

1.2 ISA-Gent

Le projet ISA de la ville Gand se déroule parallèlement à PROSPER. Cela signifie qu'ISA-Gent ne fait pas à proprement parler partie de PROSPER bien que les deux projets aient de nombreuses visées communes. Qu'il s'agisse des objectifs, de la composition des groupes d'étude, de l'échange d'informations ou du financement, l'étude gantoise et le projet PROSPER sont étroitement en relation l'un avec l'autre.

1.3 Les partenaires d'ISA-Gent

Le consortium comprend l'Institut Belge pour la Sécurité Routière (IBSR), Langzaam Verkeer (LV), het Centrum voor Duurzame Ontwikkeling (CDO), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), la ville de Gand (Stad Gent).

Les partenaires ont pour tâches la gestion et le financement du projet ainsi que la réalisation des études définies par les groupes de travail.

1.4 Les sponsors d'ISA-Gent

La contribution financière des sponsors a permis d'accroître le nombre de véhicules équipés du limiteur de vitesse. Il s'agit de l'université de Gand (5 unités), de la société De Lijn (3 unités), de la province de Flandre orientale (2 unités), du CPAS de la ville de Gand (1 unité) et de la société Volvo-cars (1 unité). La compagnie d'assurances LAP-DVV a également soutenu le projet au travers d'une subvention versée à l'IBSR qui a permis l'achat de 3 unités supplémentaires.

Ces unités s'ajoutent à celles acquises par les partenaires, à savoir 20 unités par l'IBSR avec l'aide de LAP-DVV et 5 unités par la ville de Gand. Au total, 37 unités du limiteur de vitesse ont donc été installées dans des véhicules.

1.5 Les conducteurs

Une sélection parmi des volontaires informés par voie de presse a été opérée sur la base de critères statistiques (répartition équitable par commune de résidence, sexe, âge) et techniques (compatibilité du limiteur avec leur véhicule). Voir pour plus d'informations le rapport du deuxième groupe de travail réalisé par le Centrum voor Duurzame Ontwikkeling (CDO).

² Project for Research On Speed adaptation Policies on European Roads

³ Plateau, dos d'âne, rétrécissement de la voirie, rond-point, etc.

PARTIE II : ASPECTS TECHNIQUES

2.1 Les constituants d'un limiteur de vitesse intelligent

De manière générale, et selon la définition donnée dans l'introduction, un dispositif ISA doit comprendre les éléments suivants :

- Un véhicule hôte
- Une unité de communication avec le monde extérieur
- Un instrument de mesure de la vitesse instantanée du véhicule
- Une unité de contrôle électronique (CPU)
- Un écran d'affichage de la VMA
- Une ou plusieurs interfaces avec le conducteur

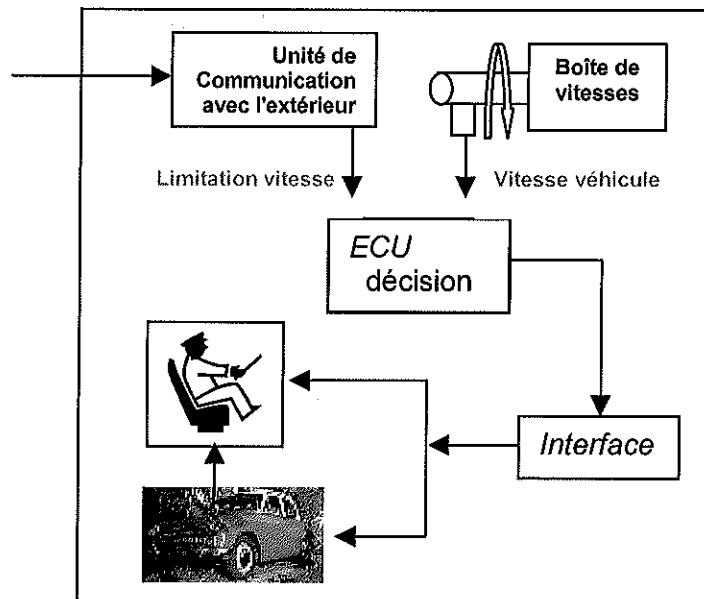


Figure 1 : Représentation schématique d'un limiteur de vitesse intelligent

Examinons de plus près ses éléments constitutifs :

a. Le véhicule hôte

Un véhicule quelconque au sens de la directive européenne 70/156/CEE⁴ concernant la réception des véhicules à moteur et leurs remorques. Une extension à d'autres catégories de véhicules peut être envisagée.

b. Une unité de communication avec le monde extérieur

Le but d'une telle unité est de déterminer à tout instant la VMA. Les technologies existantes peuvent être classées selon leur degré d'autonomie :

- les systèmes autonomes : ils sont indépendants d'entités techniques liées au réseau routier (émetteur, par exemple). L'exemple type est la localisation par satellite (système GPS) couplée à une carte numérique. Autre exemple : les caméras de type CMOS ou autre associées à un logiciel de reconnaissance d'images peuvent décoder les signaux routiers.
- les systèmes non autonomes

⁴ Tout véhicule à moteur complet ou incomplet destiné à circuler sur route, pourvu d'au moins quatre roues et ayant une vitesse maximale par construction supérieure à 25 km/h, ainsi que ses remorques, à l'exception des véhicules qui se déplacent sur rails, des tracteurs agricoles et forestiers, et de toute machine mobile.

Des balises (angl. beacon) placées à des endroits stratégiques le long du réseau routier transmettent une fraction de carte numérique (locale) à tout véhicule situé dans leur rayon d'action. Cette information restera d'application jusqu'à la rencontre de la prochaine balise.

Ces derniers sont assez peu représentés parmi les expériences ISA récentes. En cause, outre l'investissement élevé, les coûts d'entretien, le caractère local de la balise, il y a surtout la concurrence du GPS : un outil bon marché, universel et relativement performant. Le problème principal découlant de l'utilisation du GPS en ville est un niveau d'incertitude aléatoire d'amplitude inconnue.

c. Un instrument de mesure de la vitesse instantanée du véhicule

La seconde entrée d'un système ISA, outre la VMA, est la vitesse instantanée du véhicule. La comparaison en temps réel de ces deux grandeurs permettra à l'unité de gestion électronique de prendre une décision : interagir ou non avec le conducteur.

Tous les véhicules⁵, au sens de la directive 75/443/CEE du Conseil de l'Europe, doivent être équipés d'un dispositif de mesure de la vitesse. Pour des raisons pratiques et techniques⁶, l'indication de vitesse se double toujours d'une fonction de totalisateur kilométrique. Tant le tachymètre (mesure de la vitesse) que l'odomètre (mesure d'une distance) se basent en effet sur un même capteur solidaire du mouvement de rotation de l'axe de sortie de la boîte de vitesses. Dans la suite de ce rapport, sauf indication contraire, le terme *odomètre* sera utilisé de manière générale pour désigner le capteur couplé à l'axe de sortie de la boîte de vitesses.

Remarque : les systèmes de localisation par satellite GPS permettent, lorsque les circonstances sont favorables, de déterminer la vitesse du véhicule avec une incertitude plus faible que l'odomètre intégré à celui-ci. Cependant, la disponibilité limitée et imprévisible des satellites de la constellation GPS impose l'utilisation parallèle des instruments de bord du véhicule.

d. Une unité de contrôle électronique (CPU)

Cette unité compare en permanence la vitesse instantanée du véhicule avec la VMA et commande au moment opportun le déclenchement de l'interface.

e. Un écran d'affichage de la VMA

Il tient à tout instant le conducteur informé de la VMA déterminée par le système. Il peut également être utilisé pour visualiser l'état du système (apparition de code ou de messages d'erreurs destinés au service technique) ou pour en modifier les paramètres de fonctionnement.

f. Une ou plusieurs interfaces avec le conducteur

L'interaction avec le conducteur peut être visuelle, auditive, sensitive, etc. Les différents types d'interaction sont présentés à la page suivante.

⁵ Définition similaire à celle de la directive 70/156/CEE. Voir page précédente.

⁶ Le calcul de la vitesse requiert la mesure d'une distance et d'une durée

2.2 Classification des limiteurs de vitesse intelligents

Mettant de côté les variantes non autonomes des unités de communication, les systèmes ISA peuvent être classés selon deux critères :

- Le type d'interaction avec le conducteur
- Le caractère statique ou dynamique des données de la carte numérique

2.2.1 Classification selon le type d'interaction avec le conducteur

2.2.1.1 ISA ouvert

Le système interagit avec le conducteur par le biais d'un ou de plusieurs avertissements directs indépendants du fonctionnement normal du véhicule. Exemples : un voyant lumineux, un clignotement, un son, une vibration dans le volant ou dans le siège, etc.

2.2.1.2 ISA semi-ouvert

L'avertissement donné au conducteur interfère avec le fonctionnement normal du véhicule mais le conducteur a encore la possibilité de dépasser la VMA. Exemple : le durcissement de la pédale des gaz oblige le conducteur à fournir un effort supplémentaire pour dépasser la VMA.

2.2.1.3 ISA fermé

L'avertissement interfère avec le fonctionnement normal du véhicule sans que le conducteur ait encore la possibilité de dépasser la VMA : le véhicule est techniquement empêché de dépasser la vitesse prescrite. Un dispositif de débrayage momentané est généralement prévu pour faire face aux situations d'urgence.

2.2.2 Classification selon le caractère statique ou dynamique

Le caractère statique ou dynamique des données tient en la capacité de modifier ces données à distance. Dans une configuration dynamique, les données⁷ de la carte numérique sont mises à jour à distance de manière automatique et selon une règle définie. A l'opposé, la configuration statique implique une intervention du conducteur : soit un déplacement dans un centre spécialisé pour décharger les modifications soit l'achat d'un nouveau support (CD Rom).

Selon la typologie ci-dessus, il existe donc 6 sortes de systèmes ISA basés sur le système autonome GPS et une carte numérique. Le tableau ci-dessous présente la répartition de quelques expériences ISA selon cette classification.

	Données statiques	Données dynamiques
Système ouvert	Lidköping 1 (S) Hongrie 1, Espagne 1 LAVIA 1 (F) INFATI (DK)	Börlange 1 & 2 (S) DIVOTE 1 (B)
Système semi-ouvert	Lund, Lidköping 2 (S) Gent (B) Hongrie 2, Espagne 2 LAVIA 2 (F) EVSC 1 (R-U)	DIVOTE 2 (B)
Système fermé	Tilburg (NL) LAVIA 3 (F) EVSC 2 (R-U)	Tilburg (essai) (NL)

⁷ Exemples : modification de la voirie, ajout de nouvelles routes, changement de limitation, etc.

2.3 Le limiteur de vitesse intelligent *LIMIT ADVISOR M2002*

2.3.1 Constituants

Le dispositif ISA testé à Gand en 2002 et en 2003 est la version⁸ 7.8 du "*Limit Advisor M2002*" développé par la société IMITA. Il appartient à la catégorie des systèmes semi-ouverts dont les données sont statiques. Le schéma ci-dessous présente les composants du système ainsi que le principe de fonctionnement.

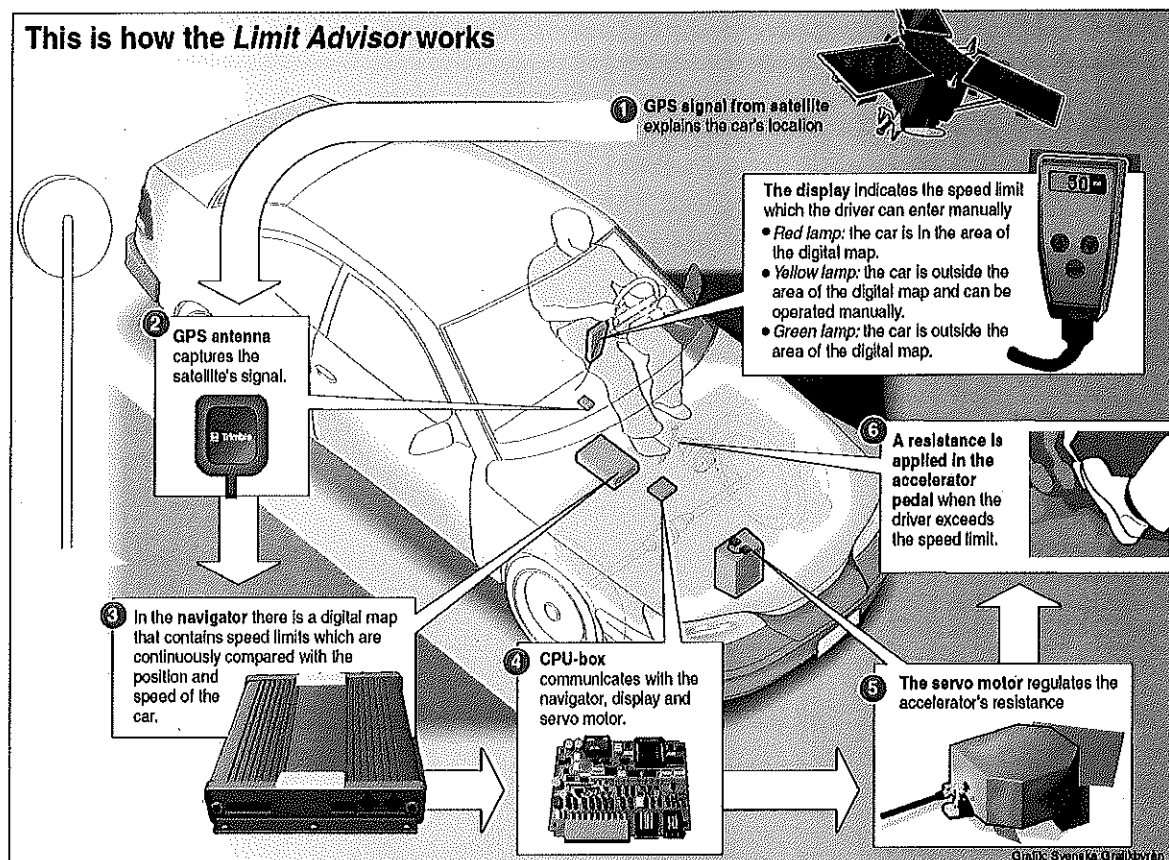


Figure 2 : Le principe de fonctionnement du *Limit Advisor M2002* (source : IMITA)

Il se compose donc, outre le véhicule hôte :

- de la constellation de satellites du système GPS
- d'une antenne de réception des signaux émis par les satellites GPS
- d'une unité de positionnement intégrant le récepteur GPS & la carte numérique
- d'une unité de contrôle électronique (CPU)
- d'un odomètre si celui du véhicule ne convient pas
- d'une unité mécanique assurant l'interaction avec le conducteur (contre pression)
- d'un dispositif d'affichage et de réglage

Un dispositif d'enregistrement de plusieurs variables de la conduite est également prévu afin d'évaluer le système testé. N'étant pas nécessaire à la fonction première de limiteur, cette entité sera évaluée dans la partie III consacrée aux aspects informatiques de l'étude.

Examinons à présent le principe de fonctionnement, les particularités et les limitations de ces différents constituants dans le cadre de l'application présente.

⁸ Lors de l'expérience menée en Suède entre 1999 et 2002, la version testée du *Limit Advisor* était la 6.9

2.3.2 La constellation de satellites du système GPS

2.3.2.1 Historique

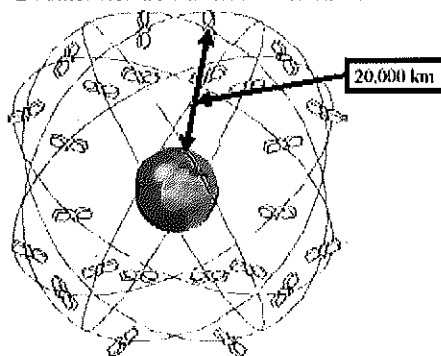
En 1973, sous l'impulsion de l'armée américaine, commence le développement du système Navstar/G.P.S.⁹ Il doit permettre dans le futur à tout élément mobile de l'armée (soldat, véhicule, avion, navire) de se positionner de manière précise et quasi instantanée en tout point de la surface du globe et à tout moment. Déclaré pleinement opérationnel en avril 1995, le GPS est mis simultanément à la disposition des applications civiles et militaires. Entre juillet 1991 (guerre du Golfe) et mai 2000, cependant, seule l'armée américaine bénéficie des pleines capacités du système. La crainte d'une utilisation détournée par une puissance en conflit avec les Etats-Unis les amène en effet à brouiller intentionnellement le signal destiné au grand public. Cette mesure, nommée "*Selective Availability*", a eu pour effet une augmentation importante de l'incertitude de positionnement (voir ci-dessous).

2.3.2.2 Eléments constitutifs

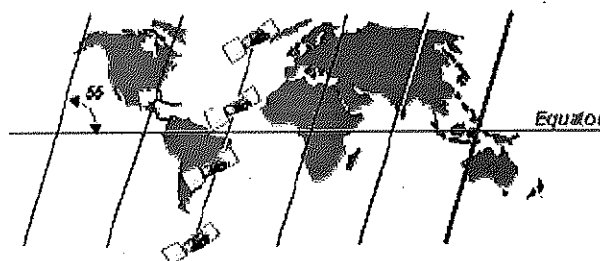
Le système GPS se compose d'un segment spatial et d'un segment terrestre.

Le segment spatial civil est constitué d'une constellation de 24 satellites répartis sur 6 plans orbitaux inclinés à 55° par rapport à l'équateur. Chaque satellite se déplace sur une orbite quasi circulaire d'un rayon d'environ 20000 km donnant une période de 12 heures. Tant les satellites que leurs plans orbitaux se répartissent de manière régulière tout autour du globe afin qu'au minimum cinq satellites soient visibles à tout instant et en tout point de la surface de la terre.

24 satellites de l'armée américaine



Développement des orbites



Source : Pr. C. Debouche, Communication et positionnement, Faculté universitaire agronomique de Gembloux, 2003.

Figures 3 et 4 : La constellation des satellites GPS

Le segment terrestre se compose de cinq stations de contrôle dépendant des Etats-Unis. Elles ont pour tâches principales le contrôle et le maintien du fonctionnement correct des satellites : la trajectoire, les éphémérides (position dans un repère terrestre) et la correction de la dérive des horloges atomiques embarquées.

2.3.2.3 Principe de fonctionnement

Le principe de la localisation par satellite est la trilatération. Par définition, la trilatération est un procédé de détermination de la position d'un point isolé par mesure de distances à partir de trois points connus, sans mesures d'angles (sans quoi la méthode s'appellerait triangulation).

Considérons un point de la surface de la terre. Connaissant sa distance exacte avec un repère permet d'en déduire que le point se trouve sur une sphère centrée sur le repère et de rayon égal à la distance les séparant. Appliquant au même instant ce principe à un deuxième repère implique

⁹ Navigation System by Timing and Ranging / Global Positioning System

que le point appartient cette fois à l'intersection de deux sphères, c'est-à-dire un cercle. Avec un troisième repère, l'intersection se réduit à deux points. L'indétermination n'est donc pas totalement levée. Mathématiquement, une quatrième distance est donc nécessaire. Pratiquement, l'un des deux points obtenus est aberrant : soit parce qu'il s'écarte de manière excessive de la terre, soit parce que sa vitesse est absurde. Connaître à un instant les distances exactes avec trois repères distincts (i.e. satellites) pourrait donc suffire. Mais nous allons voir ci-dessous que pour une autre raison, la présence d'un quatrième repère est malgré tout requise.

Comment déterminer la distance entre le satellite et le récepteur à tout instant ? Le satellite émet un signal codé comprenant grosso modo trois informations : son identité, sa position dans un repère terrestre (les éphémérides) et l'instant précis d'émission du signal. L'exactitude de cet instant est garantie par la présence d'une horloge atomique à bord de chaque satellite. Lors de la réception du signal, le récepteur compare l'instant d'émission (donné par rapport à l'horloge atomique) avec l'instant de réception déterminé par rapport à son horloge interne. Si les deux horloges sont parfaitement synchrones, la différence des deux instants permet de calculer le temps de trajet du signal. Comme il s'agit d'ondes électromagnétiques voyageant à la vitesse de la lumière, la distance est facilement déduite du temps de parcours.

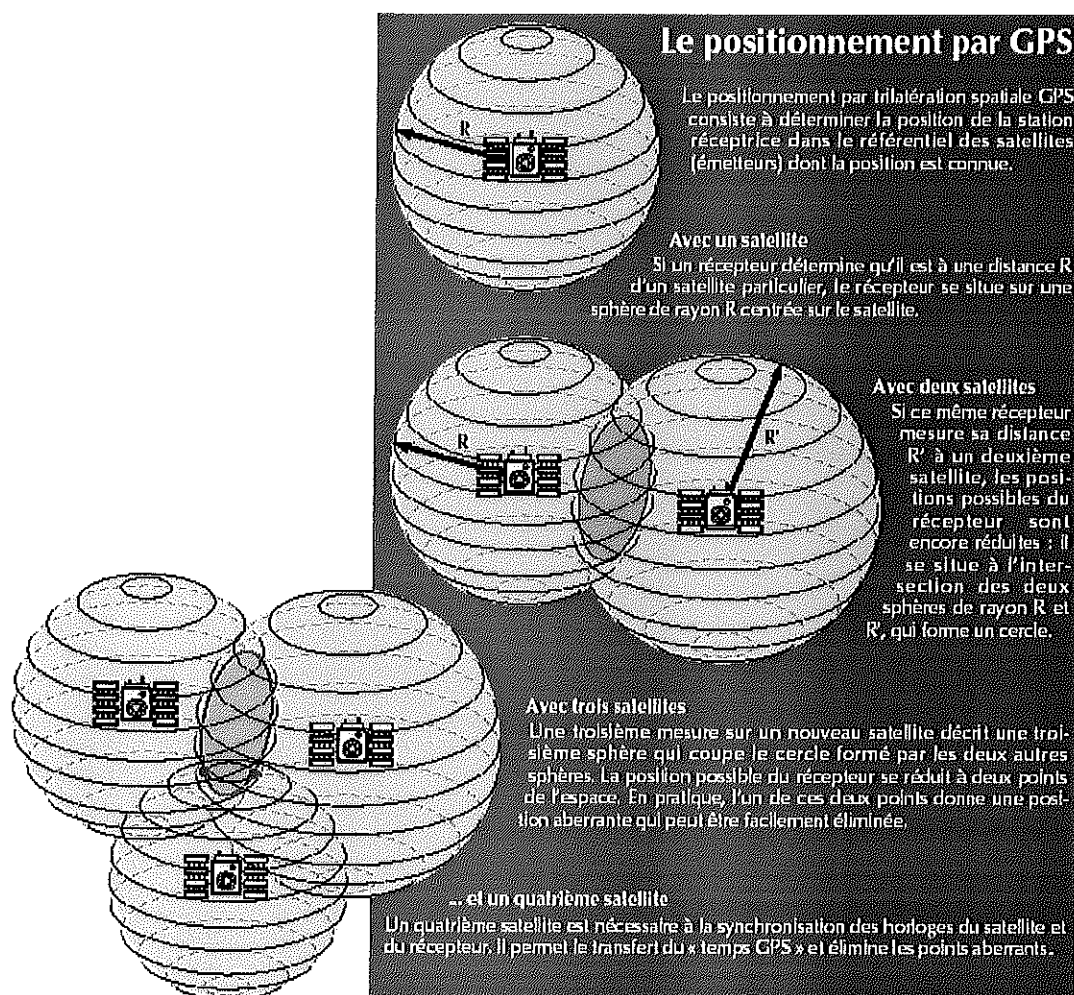


Figure 5 : Le principe de la trilatération appliqué à la localisation par satellite¹⁰

Le problème crucial est la synchronisation de l'horloge du récepteur avec celle du satellite. Pour une question de coût et d'encombrement, la référence temporelle du récepteur est un cristal de quartz. En comparaison d'une horloge atomique, un tel cristal est un outil peu précis, sensible à la température ambiante et sujet à une dérive temporelle. Nous avons vu ci-dessus que moyennant la connaissance exacte (i.e. avec synchronisation parfaite des horloges) à un instant de **trois**

¹⁰ Source : Erik Doerflinger, "Les applications météorologiques du système de positionnement satellitaire GPS", août 2001

distances entre le récepteur et autant de satellites, et l'élimination de la valeur aberrante, la position du récepteur pouvait être déterminée de manière exacte. La réalité montre que cette synchronisation n'est pas parfaite. Pour pallier cet inconvénient, une astuce est utilisée : l'erreur de synchronisation, identique vis-à-vis de tous les satellites (puisque ceux-ci sont équipés des mêmes horloges atomiques) à un instant donné, est considérée comme une inconnue supplémentaire. Il suffit alors, pour résoudre le système, de faire appel à une équation supplémentaire, c'est-à-dire de prendre en compte un quatrième satellite. Celui-ci permet de lever l'incertitude due à la désynchronisation des horloges. Ceci fait, nous retombons sur les deux solutions possibles du problème : il reste donc à éliminer la position aberrante, ce qui ne pose plus aucun problème.

En résumé, les données issues de quatre satellites dans une situation imparfaite (du point de vue de la synchronisation des horloges) permettent d'obtenir le même résultat que les données issues de trois satellites dans une situation idéale du même point de vue. La présence de plus de quatre satellites est bien entendu souhaitable car elle permet d'améliorer l'exactitude du positionnement en minimisant les facteurs d'incertitude résiduels (cf. 2.3.2.4).

2.3.2.4 Les sources d'incertitude dans le positionnement GPS

La désynchronisation des horloges n'est pas le seul facteur d'incertitude. Citons également par ordre décroissant d'importance :

- *La dégradation volontaire du signal opérée par l'armée américaine*
Effective entre 1991 et 2000, cette altération du signal civil (*Selective Availability*) répondait à des objectifs géopolitiques et militaires. Elle consistait en une modification, selon une clé secrète, des bits correspondant aux derniers chiffres de la position du satellite et de l'instant d'émission du signal. L'incertitude sur la position finale du récepteur a de ce fait été multipliée par cinq environ.
- *La réfraction dans l'ionosphère*
L'ionosphère est une couche éloignée de l'atmosphère terrestre constituée de gaz neutre et de plasma¹¹ et située à une altitude comprise entre 100 et 500 km. La densité de particules chargées de cette couche lui permet d'interagir avec les ondes électromagnétiques, notamment en diminuant leur vitesse. C'est par exemple le cas de l'onde porteuse du signal GPS. L'amplitude de la perturbation dépend de la longueur d'onde mais aussi de la densité de particules chargées, laquelle varie dans le temps et l'espace. Le délai de propagation de l'onde GPS va donc s'allonger d'une quantité variable inconnue appelée le délai ionosphérique. Une estimation de cette valeur peut être obtenue en émettant deux ondes de fréquences différentes et en comparant les délais. Pour cette raison, les satellites du système GPS émettent sur deux fréquences proches : 1,575 et 1,228 GHz.
- *La réfraction dans la troposphère*
La troposphère est la couche basse de l'atmosphère comprise entre 0 et 20 km d'altitude. Elle contient 75 % de la masse atmosphérique et détermine notre climat. La teneur en vapeur d'eau de la troposphère, variable dans le temps et l'espace affecte également la propagation de l'onde porteuse du système GPS. Le retard induit s'appelle le délai troposphérique.
- *Les trajets multiples*
Il s'agit d'un problème crucial en milieu urbain. L'onde n'atteint en effet pas toujours l'antenne en ligne droite mais subit des réflexions multiples avant de l'atteindre. On parle de trajet multiple lorsque l'antenne reçoit une même onde par la voie directe ainsi qu'après de multiples réflexions. En conséquence, le temps de trajet de l'onde s'allonge et fausse le calcul de la distance. Ce phénomène est quasi aléatoire et l'incertitude qui en résulte est imprévisible.
- *L'exactitude des orbites des satellites (éphémérides)*
Bien que les orbites soient en général stables, de légères corrections doivent y être apportées pour tenir compte des dérives dues à l'action de la lune, du vent solaire, etc. L'exactitude de cette donnée est en effet aussi capitale que l'instant d'émission du signal.
- *L'absence de signal*

¹¹ Gaz constitué de particules électriquement chargées

Ce phénomène n'est pas imputable au système GPS proprement dit. L'onde porteuse ne peut pas traverser le béton, le métal ni même un feuillage dense (sous-bois). Il n'est dès lors pas rare, lorsque le terrain est encaissé (en ville notamment), que le positionnement défaille par manque de satellites en vue.

2.3.2.5 Le positionnement GPS différentiel

Le principe est simple : une station relais fixe de position connue capte les signaux de tous les satellites en vue et en déduit sa position supposée. Connaissant par ailleurs sa véritable position, elle en déduit un facteur correctif sur la mesure qu'elle émet à tous les récepteurs situés dans son rayon d'action. Ceux-ci adaptent à leur tour leur position à l'aide de ce facteur correctif. Cette méthode est très efficace à une échelle locale car il suppose que l'erreur sur les positions du récepteur et de la station sont égales. Ceci n'est plus vrai, par exemple, lorsque la distance qui les sépare est élevée car les couches de l'atmosphère traversées (le climat) n'ont plus les mêmes propriétés (cf. délais ionosphérique et troposphérique). Cette technique a été utilisée dans plusieurs expériences ISA, dont celles de Tilburg aux Pays-Bas mais aussi au Danemark et au Royaume-Uni. Aux Pays-Bas, par exemple, le signal contenant les facteurs correctifs était transmis par ondes radio sur la bande FM (informations RDS). Le récepteur décodait ensuite ces informations en une correction de position. Dans l'expérience ISA-Gent par contre, le positionnement absolu a été utilisé. Une évaluation sommaire de l'incertitude de positionnement dans le cadre de l'expérience en question se trouve décrite au § 2.3.4.

2.3.2.6 L'incertitude du positionnement GPS et la disponibilité du signal dans le temps

En mode absolu, la conjonction des sources d'incertitude du GPS ci-dessus donne un niveau d'incertitude théorique horizontale de 13 mètres¹² sans brouillage volontaire. Le positionnement GPS différentiel permet grosso modo de diviser par 10 cette valeur. Ces valeurs sont indicatives, l'incertitude de positionnement pouvant varier dans de grandes proportions selon le lieu, les conditions météorologiques, etc. L'exemple qui suit le prouve : d'après [28], au milieu des gratte-ciel de Tokyo, conditions défavorables s'il en est, l'incertitude moyenne de localisation en mode absolu est de 100 mètres avec des pics de 700 mètres.

La disponibilité en temps du signal GPS est une autre question cruciale : selon [27], elle n'est que de 50 % dans les centres urbains. Une disponibilité proche de 70 %¹³ en temps nous semble être une estimation plus raisonnable en Belgique.

2.3.2.7 Notions de base de géodésie

La géodésie est la science qui étudie la forme de la terre et les moyens de se positionner par rapport à elle. La première approximation de la surface réelle de la terre est le géoïde. Il s'agit d'une surface équipotentielle du champ de pesanteur, de forme irrégulière et qui approche la surface des mers supposée prolongée sous les terres émergées. Pour les besoins de la cartographie, une surface beaucoup plus simple est utilisée : un ellipsoïde de révolution, c'est à dire une sorte de sphère aplatie aux pôles. La définition mathématique de cet ellipsoïde n'est cependant pas suffisante : il faut aussi fixer son centre, appelé point fondamental, et son orientation dans l'espace. L'ensemble de ces paramètres constitue un *datum géodésique*. Historiquement, de nombreux pays ont développé un datum local (Lambert 72 en Belgique, RT90 en Suède, etc.) qui minimise, sur leur territoire, les écarts au géoïde. Avec l'avènement des satellites sont apparus des datums mondiaux dont l'un, le WGS84, constitue désormais un standard industriel dans le monde du GPS. La position d'un point quelconque à la surface de la terre peut ainsi - avec un GPS idéal - être définie précisément par ses coordonnées 3D (longitude, latitude, hauteur). La surface d'un ellipsoïde ne pouvant pas être développée en un plan, la création de cartes implique cependant des projections (conique en Belgique, cylindrique en Suède, etc.) qui entraînent toujours une déformation des distances¹⁴.

¹² Selon [33] : valeurs à 95 % ; verticalement : 22 mètres ; avec brouillage : respectivement 100 et 150 m

¹³ Valeur trouvée à ISA-Tilburg pour la disponibilité en temps du signal GPS sans correction différentielle

¹⁴ Maximum 9 cm / km en Belgique, dont la superficie réduite et concentrée favorise de faibles écarts

2.3.3 L'antenne de réception

2.3.3.1 Caractéristiques

Fabricant : TRIMBLE¹⁵
Version/Type : Antenne passive

Voici ce qu'en écrit le fabricant :

The Miniature 5V GPS Antenna is a water-resistant, low-profile antenna used with Trimble's ACE III GPS™, SveeEightPlus GPS™, and Lassen™ SK II GPS receiver boards. It has a magnetic mounting for quick, convenient placement on or inside vehicles, making it ideal for mobile asset management and the numerous other uses found for the Trimble OEM embedded board products.

- Dimensions: 50.5 mm L x 42 mm W x 13.9 mm H (1.99" x 1.65" x 0.55")
- Weight: 60 g (without cable)
- Power consumption: 30 mA (max)
- Mounting: magnetic
- Cable: 5 meters with SMB or SMA connector
- Environment -40° to +85° C with high humidity
- Also available with SMA connector or 35 dB preamplifier



Source : URL Trimble

2.3.3.2 Limitations

L'emplacement optimal de l'antenne du point de vue de la réception est le centre du toit du véhicule. En effet, d'une part cet emplacement permet une réception sans obstacle des signaux et d'autre part, la présence d'une large surface métallique plane sous l'antenne optimise son fonctionnement. D'un point de vue pratique cependant, le placement sur le toit d'une antenne non intégrée à celui-ci présente de sérieux risques de vol et de vandalisme (cf. coupure du câble). Pour cette raison, et malgré la diminution tant de la visibilité des satellites que de l'amplitude des signaux captés, les antennes de l'expérience ISA-Gent ont été placées à l'intérieur des véhicules, généralement sur la partie supérieure du tableau de bord.

Remarque : d'après IMITA, fabricant du système ISA, certaines couches minces appliquées sur les pare-brise ont la faculté de bloquer presque complètement les signaux GPS. Dans ce cas, l'installation sur la plage arrière est une alternative possible.

2.3.3.3 Efficacité et fiabilité

L'efficacité de l'antenne n'a pas pu être mesurée. Aucun problème de fiabilité en relation avec celle-ci n'a par ailleurs été relevé.

¹⁵ Ces données sont disponibles sur leur site internet : <http://www.trimble.com/miniant.html>

2.3.4 L'unité de positionnement

2.3.4.1 Caractéristiques

Fabricants : Wayfinder (anc. Itinerary Systems IS) AB / TRIMBLE¹⁶

Version/Type : NavP5C / ACE III

Le cœur de l'unité de positionnement est un circuit imprimé développé par la firme Wayfinder AB. Il contient entre autres les logiciels de corrélation cartographique ("map matching"), de localisation à l'estime ("dead reckoning") et d'acquisition de données (voir partie III), les données de la carte numérique, c'est-à-dire la liste des VMA de la zone testée ainsi que les composants électroniques nécessaires au fonctionnement de l'ensemble. Wayfinder AB y a intégré le récepteur GPS ACE III de la société Trimble. Les caractéristiques techniques de ce récepteur sont disponibles à l'annexe 1 de ce document.

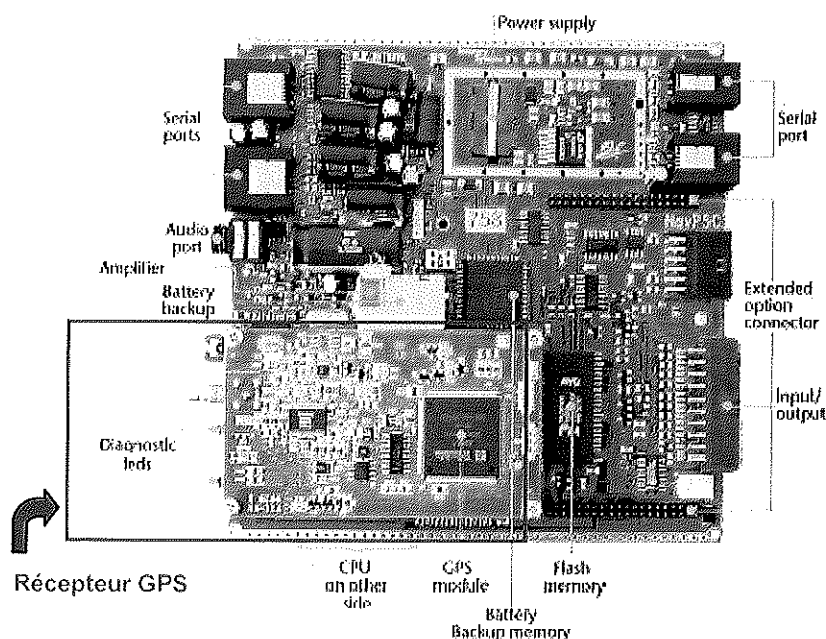


Figure 6 : Le circuit imprimé de l'unité de positionnement (source : Galileo World, summer 2001)

L'aspect extérieur de l'unité de positionnement est un boîtier noir de dimensions approximatives 158mm x 133mm x 25mm. Celui-ci est généralement placé dans l'habitacle à proximité immédiate de l'unité de contrôle électronique (CPU). La taille de ces deux boîtiers a parfois rendu leur installation dans l'habitacle délicate. Ce point sera abordé dans le chapitre consacré à la compatibilité avec les véhicules.

2.3.4.2 Limitations

La société Trimble annonce, sans brouillage volontaire (SA¹⁷), les incertitudes (1 sigma) suivantes:

- Position : 25 m en mode absolu et 2 m en mode différentiel
- Vitesse : 0,1 m/s en mode absolu et 0,05 m/s en mode différentiel

Précisons d'emblée qu'il y a lieu de faire la distinction entre l'incertitude propre au GPS, et qui se rapporte à des positions 3D sur l'ellipsoïde de référence du système WGS84, et l'incertitude de positionnement due à la projection plane de ces points. Les valeurs ci-dessus appartiennent à la première catégorie, alors que nous nous intéressons à la somme des deux. Nous verrons au §2.3.5.3 que l'incertitude de projection est en général bien inférieure à l'incertitude GPS.

¹⁶ Voir l'annexe 1 et pour de plus amples détails, se référer au site : <http://www.trimble.com/aceiii.html>

¹⁷ *Selective Availability* : terminé depuis mai 2000 (voir § 2.3.2.4)

2.3.4.3 Efficacité & fiabilité

Nous ne disposons malheureusement pas de données expérimentales objectives nous permettant d'évaluer rétrospectivement la qualité du positionnement sur la carte durant l'expérience. Soit parce que le récepteur GPS utilisé ne gérait pas de grandeur de ce type, soit parce qu'elles n'étaient pas enregistrées par l'outil d'acquisition de données (cf. partie III).

Une expérience menée en région gantoise nous a néanmoins permis d'évaluer de manière indirecte l'incertitude du positionnement sur la carte. La firme Wayfinder AB a développé un logiciel permettant de dresser en temps réel de nouvelles portions de carte numérique. Installé dans un PC portable emmené dans un véhicule, il suffit à l'utilisateur de parcourir les nouveaux tronçons en spécifiant la limitation locale. Le logiciel se charge de convertir la position en une carte numérique locale en attribuant les limitations définies par l'utilisateur. En parcourant un même tronçon de route à plusieurs reprises, l'utilisateur peut ainsi visualiser en temps réel sur l'écran les écarts entre les segments dressés par l'ordinateur. Cette méthode a été testée par le département Mobilité de la ville de Gand sur deux tronçons : le premier est bordé de bâtiments rendant la visibilité moyenne. Le véhicule y est passé deux fois. Le second se situe au bord d'un canal et devrait donc jouir d'une visibilité supérieure, donc d'une meilleure réception des signaux. Le véhicule l'a parcouru trois fois. L'écart entre les deux segments représentant le premier tronçon est d'environ 25 m. En comparaison, nous voyons que l'écart entre les trois segments représentant le second tronçon est bien plus faible et ne dépasse pas 10 m. Cette expérience nous donne une indication de la dispersion des mesures, qui caractérise l'erreur aléatoire. Elle ne nous renseigne pas sur la présence éventuelle d'une erreur systématique, laquelle s'ajoute alors à la première pour donner l'erreur de mesure. Remarquons que l'incertitude ainsi mesurée se situe à un niveau proche de celui annoncé par le fabricant du récepteur GPS.

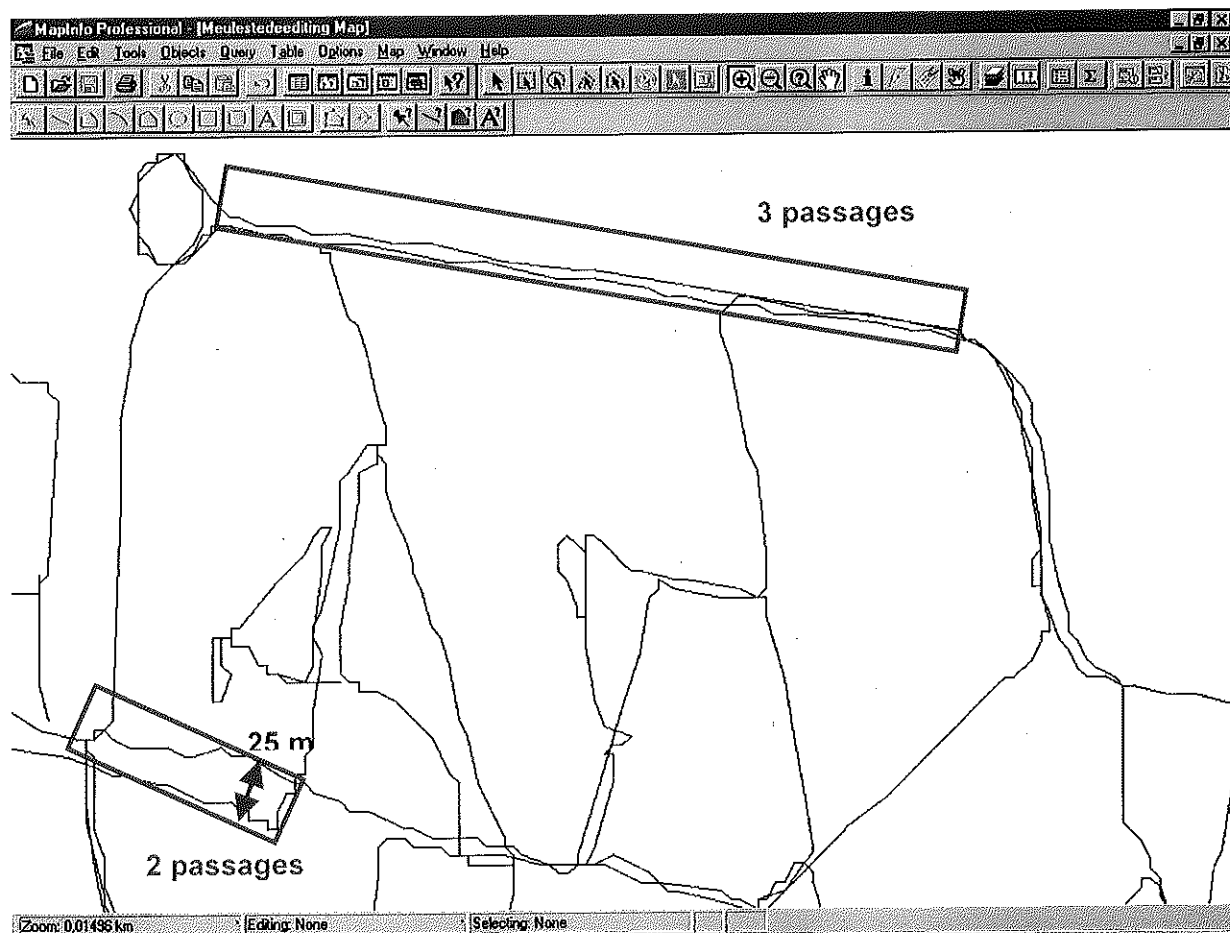


Figure 7 : Evaluation de l'incertitude de positionnement (source : stad Gent)

2.3.5 La carte numérique

Fabricant : Ville de Gand / Wayfinder AB

Version/Type : Gent 1.5.0 entre octobre 02 et juin 03 ; Gent 1.8.0 entre juin 03 et décembre 03

Remarque : Cette liste de versions de la carte n'est ni exhaustive, ni valable pour tous les véhicules. En effet, d'une part, les autobus étaient équipés d'une carte et d'un numéro de version propres (selon les itinéraires suivis) et d'autre part, certains véhicules n'ont pas répondu à l'une ou l'autre convocation les invitant à venir mettre à jour la carte.

2.3.5.1 Caractéristiques

La gestion de la carte numérique dans le projet ISA-Gent a été confiée au département Mobilité de la ville de Gand, service Modélisation du trafic et GIS¹⁸ dirigé par Madame Begga Van Cauwenberge. Le logiciel utilisé est ArcView GIS version 3.1.

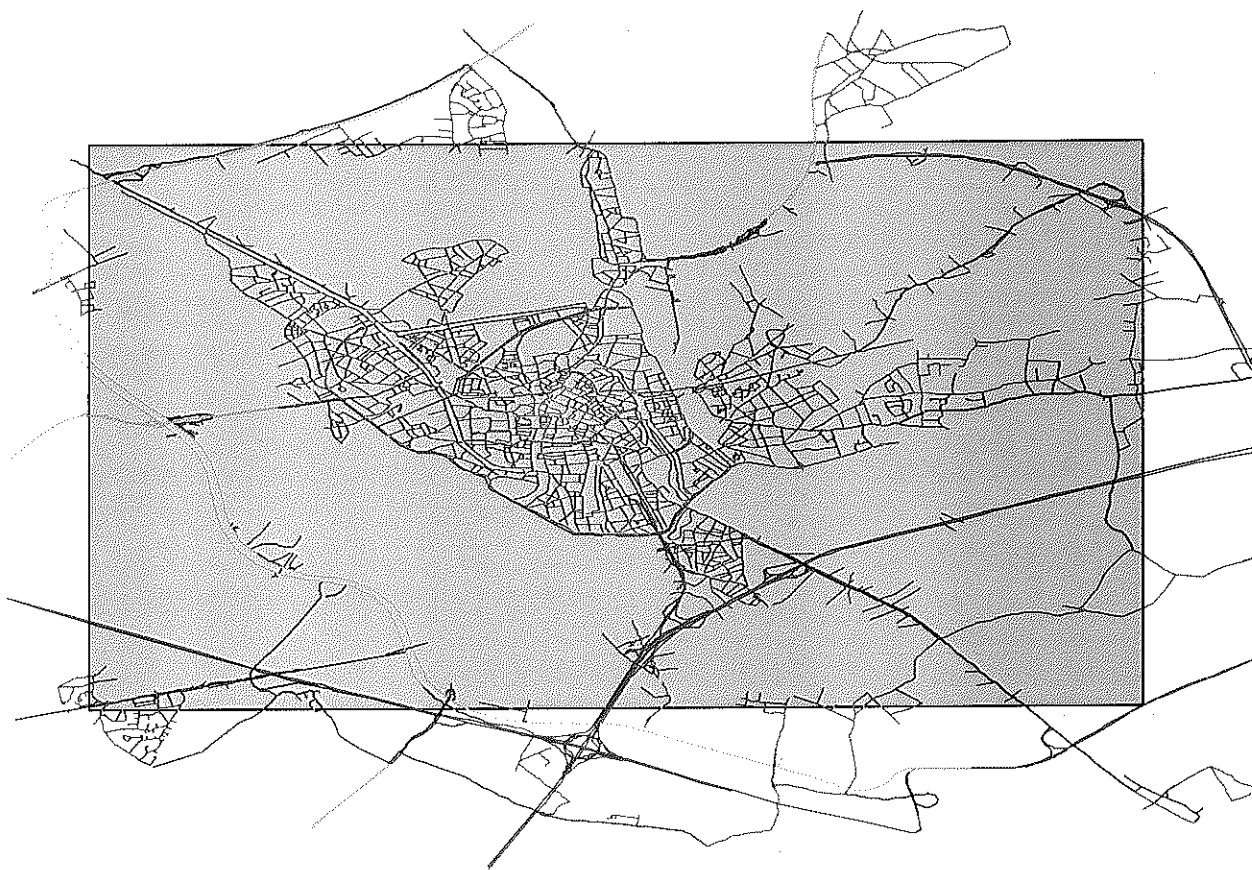


Figure 8 : La majeure partie de la carte numérique d'ISA-Gent en 2003 (source : stad Gent)

La définition des limitations de vitesse dans une carte numérique peut se faire à l'aide de deux approches : bi- ou unidimensionnelle. Dans une approche bidimensionnelle, les limitations sont attribuées à des surfaces. Dans une approche unidimensionnelle au contraire, la définition se fait par segments de droite. L'approche unidimensionnelle est la plus courante sur le marché des outils de navigation, selon [30]. Elle permet une plus grande finesse d'analyse au détriment de l'espace

¹⁸ Geographical Information Services ou Systèmes d'informations géographiques

mémoire requis et du temps de calcul. Au contraire, l'approche bidimensionnelle¹⁹ réduit la quantité de données et améliore la performance de l'outil. Un autre avantage est la possibilité de moduler la taille des surfaces en fonction de l'espacement des zones de VMA différentes. Dans l'expérience ISA-Gent, les deux approches ont été combinées au travers de l'utilisation d'une zone rectangulaire (en gris ci-dessus) appelée dans le jargon boîte de délimitation ("bounding box") et de segments de routes. Quelle que soit l'approche choisie, une limitation²⁰ de vitesse est attribuée par entité (surface ou segment). A l'intérieur de la boîte, les tronçons dont la VMA est différente de 50 km/h ont aussi dû être encodés. A chaque VMA correspond une couleur différente.

Remarque : une partie de la zone couverte par la carte numérique comprend des voies de circulation de type autoroutier sur lesquelles la VMA est de 120 km/h. L'attribut donné à ces segments a finalement été une vitesse nulle, ce qui équivaut à les placer en dehors de la carte numérique. Les raisons de ce choix semblent être dictées par le principe de précaution : soit éviter une réaction non adaptée²¹ du limiteur là où la vitesse (et donc le risque) est la plus élevée, soit faciliter le dépassement sur autoroute.

L'ajout de nouveaux segments peut se faire en superposant à l'écran la carte ci-dessus avec une autre carte numérique utilisant le même système de coordonnées et contenant les tronçons voulus. Il suffit alors, après avoir fait coïncider les deux cartes, de "surligner" dans la carte ISA les segments manquants.

Après la sauvegarde des dernières modifications apportées dans le logiciel ArcView, plusieurs étapes doivent être effectuées avant que la dernière mouture de la carte ne puisse être utilisée dans les véhicules. Ces étapes sont :

- Envoi des fichiers (*.dbf, *.shp, *.shx) contenant les données de la carte à Wayfinder AB
- Conversion des données au format Mapinfo Interchange Format (*.Mif, *.Mid)
- Compilation des données
- Fourniture d'un fichier compilé²² du type "*.raw" d'une taille approximative de 65 kB
- Installation dans un véhicule test et vérification par la ville de Gand (en collaboration avec le CDO) des données sur le terrain. Si ces tests sont positifs, l'étape suivante est :
- L'installation dans les véhicules participant à l'expérience. Pour des raisons d'organisations pratiques, cette opération était couplée avec le déchargement des données enregistrées effectué chaque trimestre.

2.3.5.2 Limitations

La carte numérique initiale a été fournie par Wayfinder AB sur la base d'une carte en papier établie par Langzaam Verkeer. Elle contenait environ 6500 segments dont 4500 définis dans la boîte de délimitation et 2000 en dehors. La capacité de la mémoire est d'environ **7000 segments**, ce nombre dépendant aussi de la quantité de nœuds²³. Pour des raisons techniques, il existe une valeur maximale de la longueur (500 m) et de la courbure des segments. Si la courbure est trop forte, il devient plus intéressant de diviser l'arc en une succession de tronçons rectilignes. Une fusion systématique des segments rectilignes de longueur inférieure à 500 m a permis de ramener de 6500 à 4000 le nombre total de segments de la carte initiale. Malgré cela, cette limite est contraignante car la ville de Gand a souhaité ajouter à la carte de nouvelles zones 30 km/h ainsi que des communes de la périphérie. Cette limite de 7000 segments est un héritage des expériences passées en Suède : faute de demande suffisante, le produit n'a en effet pas été adapté à l'évolution des technologies, notamment en matière d'espace mémoire.

¹⁹ Voir des exemples d'approches bidimensionnelles aux § 5.2 et 5.7

²⁰ Bien que le logiciel permette la définition de deux VMA par segments (une par sens de parcours), une seule a été utilisée à Gand

²¹ Causes : erreur dans la carte ou confusion avec un segment de vitesse moindre passant à proximité

²² Il accompagne les fichiers de données de types *_in.log et *_out.log enregistrées par l'outil d'acquisition de données (voir partie III). Ceci permet d'identifier la version de la carte correspondante.

²³ Définition : intersection entre deux ou plusieurs segments

La contrainte du nombre maximal de segments est malheureusement aggravée par une circonstance imprévue : la nécessité de définir des segments a priori superflus. Explication : à l'intérieur de la boîte de délimitation, la VMA est uniforme. Seuls des segments de VMA différente de 50 km/h devraient donc y être définis. En pratique, de nombreux segments de limite 50 km/h ont dû y être ajoutés pour une question de temps de calcul.

Prenons un exemple : un véhicule quitte une voie de VMA 70 km/h et s'engage dans une agglomération (50 km/h), le tout dans la boîte de délimitation. Aucun segment n'a été défini pour la route à 50 km/h puisque la valeur par défaut s'applique. Le logiciel de corrélation cartographique recherche le segment le plus proche correspondant à la position et au cap, et n'en trouve aucun. Ce n'est qu'après plusieurs secondes de temps de calcul qu'il affiche la valeur par défaut de la boîte. Entre-temps, le conducteur, qui circule sur une chaussée limitée à 50 km/h, a lu 70 km/h sur son écran. C'est pour éviter cet inconvénient qu'il a fallu définir à ces intersections des petits segments dont la VMA est de 50 km/h. De cette manière, au croisement, le logiciel retrouve rapidement la valeur correcte.

Une troisième limitation sérieuse concerne la possibilité de mise à jour de la carte. Celle-ci est de nature statique et nécessite donc un passage régulier du véhicule dans un atelier spécialisé. En effet, une carte numérique vieillit très rapidement, particulièrement dans nos régions à haute densité de population. Certaines sources [20] avancent le chiffre de 15 % pour estimer la fraction d'une carte numérique qui se périmerait chaque année (changements de l'infrastructure routière, modification des limitations de vitesses, etc.). Plus la fréquence de mise à jour sera élevée, meilleur sera l'accord entre la carte et la réalité. Dans une optique de données statiques, un compromis devrait être trouvé entre les contraintes liées à la mise à jour (déplacement, coût) et le bénéfice attendu en terme d'efficacité du limiteur de vitesse.

Une alternative intéressante est l'utilisation d'une carte dynamique dont les données sont mises à jour automatiquement à l'aide d'ondes électromagnétiques. Plusieurs projets de recherche²⁴ se concentrent actuellement sur cette question qui représente à n'en pas douter l'avenir en matière de cartes numériques embarquées. Les technologies GSM (Pays-Bas, Suède, Danemark) et GPRS (DIVOTE) ont ainsi été testées dans plusieurs expériences ISA. La fiabilité des transmissions ne donnant actuellement pas pleine satisfaction (cf. § 5), de nouvelles technologies sont envisagées :

- UMTS : successeur du GSM et du GPRS (à venir)
- DSRC : utilisée par exemple au Japon pour la collecte automatique des péages autoroutiers
- DAB : diffusion de sons et d'images numériques. Nombreuses applications potentielles dans le secteur automobile en matière de diffusion d'informations sur le trafic et le voyage (Traffic and Travel Information, TTI en abrégé). Voir [32] pour plus d'informations.

2.3.5.3 Efficacité & fiabilité

De nombreux participants de l'expérience gantoise ont souligné tout au long de celle-ci, les discordances entre la VMA réelle et celle affichée par ISA²⁵. Les causes possibles sont :

- Une localisation incorrecte du tronçon et donc, parfois, une VMA erronée
- Une erreur d'encodage dans la carte (attribut erroné, position ou taille incorrecte du segment)
- Une modification de la limitation depuis la dernière mise à jour de la carte

Seules les deux dernières causes concernent la carte, la première étant davantage une conséquence de l'imprécision du GPS. Ne pouvant distinguer la part de chacune, il ne nous est pas possible d'évaluer de manière quantitative la fiabilité de la carte. Il est cependant probable que la première soit prédominante en milieu urbain dense. En effet, d'une part la mauvaise visibilité des satellites (bâtiments faisant écran) entraîne une incertitude plus élevée du positionnement et d'autre part, la concentration des voies de communication facilite la confusion entre celles-ci. Un exemple typique à Gand est le viaduc menant à l'autoroute – limité à 90 km/h – en contrebas duquel passent plusieurs routes parallèles à celui-ci et limitées à 50 km/h.

²⁴ Ex. : le projet ACTMAP cofinancé par UE : *Real-Time map updates for advanced in-vehicle applications*

²⁵ La plupart rapportaient une VMA < réalité sur les axes rapides, une situation souvent perçue comme dangereuse ; il est donc probable que de nombreux autres cas (VMA > réalité) n'aient pas été notés.

La carte numérique se base sur le datum local suédois RT90 (Rikets Koordinatsystem 1990) centré sur la ville de Lund. Les caractéristiques de ce datum (ellipsoïde, point fondamental, orientation du repère), ainsi que la projection plane utilisée²⁶, répondent aux impératifs géodésiques d'un pays nordique, de superficie importante, et fort étendu dans l'axe nord-sud. La Belgique, au contraire, est un pays d'Europe de l'ouest, de superficie réduite et concentrée. Tant le datum que la méthode de projection sont donc différents. L'utilisation du RT90 et de sa projection en Belgique n'a par conséquent pas beaucoup de sens. Il eut été plus simple et judicieux, semble-t-il, de conserver les coordonnées géographiques du système WGS84, qui sont fournies d'origine par la plupart des récepteurs GPS. Il est en effet parfaitement possible, en utilisant la latitude et la longitude²⁷ des points, d'en déduire leur distance et ce, sur toute la planète²⁸.

Si le choix du RT90 est discutable en dehors de la Suède, il faut cependant relativiser son impact sur l'erreur de positionnement. D'une part, Wayfinder annonce une erreur inférieure à un mètre dans la zone testée, ce qui est nettement mieux que le GPS absolu. D'autre part, dans les données enregistrées, seule compte la distance relative entre points successifs. Dans ce cas, la composante systématique de l'erreur de mesure globale s'annule et l'incertitude propre au RT90 dans les données enregistrées devient négligeable.

2.3.6 L'unité de contrôle électronique (CPU)

2.3.6.1 Caractéristiques

Fabricant : IMITA AB
Version/Type : 5.0

L'unité de contrôle est un boîtier de dimensions 114mm x 88mm x 54mm contenant l'électronique et les programmes assurant le fonctionnement du limiteur de vitesse. L'unité de contrôle dialogue avec le véhicule (vitesse réelle), l'unité de positionnement (détermination de la VMA), l'interface utilisateur (affichage de la VMA) et l'unité mécanique afin d'appliquer la contre-pression dans la pédale (= interaction) si le véhicule dépasse la VMA.

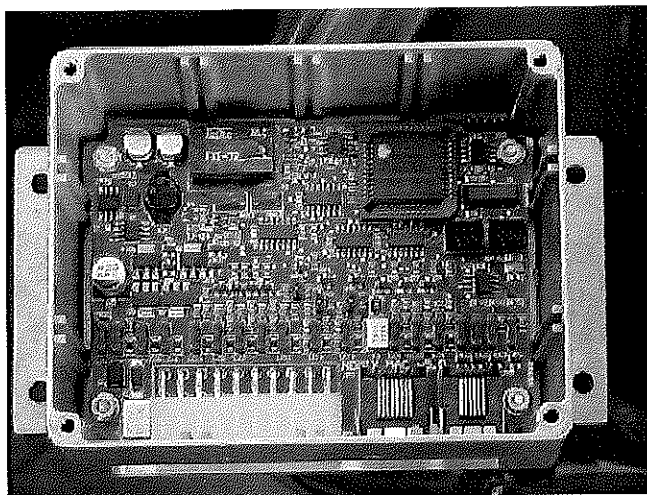


Figure 9 : L'unité de contrôle (CPU) (source : IMITA)

2.3.6.2 Limitations

Aucune limitation propre à l'unité de contrôle n'a été identifiée. Celle-ci interagissant en permanence avec les autres composants du système, les limitations éventuelles sont davantage celles de l'ensemble.

²⁶ UTM Gauss Krüger, c'est à dire cylindrique

²⁷ La troisième coordonnée, la hauteur, n'est pas utile dans notre cas.

²⁸ L'expérience ISA espagnole qui doit débuter en 2004 avec le même matériel qu'à Gand, utilise le WGS84

2.3.7 L'odomètre

Fabricants : Coralba AB Colec Electronics Hunter
Version/Type : AM1/AP2A Metron ---

2.3.7.1 Caractéristiques

L'odomètre est un capteur installé d'origine dans le véhicule, indépendamment de toute application ISA. Il est en général accouplé à l'axe de sortie de la boîte de vitesses. Son rôle est de mesurer la vitesse et la distance parcourue par le véhicule. Autrefois mécaniques, les odomètres étaient alors composés d'engrenages et caractérisés par leur rapport de transmission final²⁹. Les véhicules actuels sont équipés d'odomètres électroniques émettant par révolution de l'axe un nombre fixe d'impulsions. Selon le modèle, ce nombre peut varier entre 2 et 8 impulsions / tour. Chaque impulsion est en général une onde carrée d'une amplitude de 4,5 V à 18 V. Dans sa déclinaison électronique, le calcul de la vitesse et de la distance parcourue fait appel à un facteur de conversion reliant un nombre d'impulsions émises à une distance connue. Ce facteur de conversion, appelé **sensibilité**, est déterminé par étalonnage lors de la fabrication du véhicule.

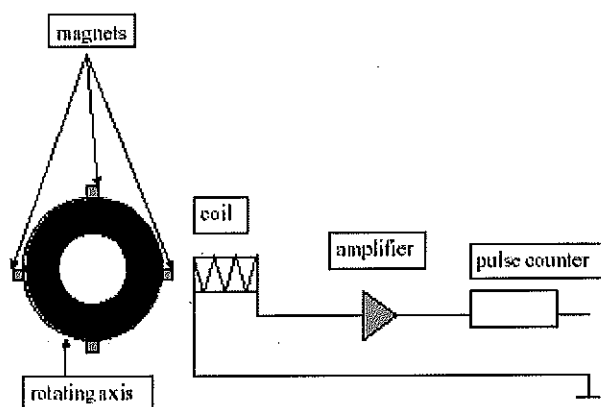


Figure 10 : Principe d'un odomètre (source : [16])

2.3.7.2 L'odomètre dans le cadre d'une application ISA

Un limiteur ISA doit connaître à tout instant la vitesse du véhicule afin de détecter les dépassements de la VMA. La solution la plus simple est d'utiliser le signal de l'odomètre d'origine³⁰. Il offre une disponibilité permanente mais une précision moyenne (~ 1 m/s). Dans le cas d'un dispositif ISA utilisant la technologie GPS, celui-ci constitue un deuxième instrument de mesure de la vitesse. Le GPS, contrairement à l'odomètre, a une disponibilité limitée, ce qui l'exclut comme seule source de la vitesse. Par contre, lorsque la vitesse dépasse 75 km/h avec une bonne visibilité des satellites, sa précision est excellente ($\sim 0,1$ m/s). Le GPS offre donc, dans ces circonstances, la possibilité de corriger le signal de l'odomètre.

Nous voyons que dans tous les cas de figure, le signal de l'odomètre est nécessaire à la mesure de la vitesse. Or comme la sensibilité de l'odomètre déterminée par le fabricant du véhicule est inconnue, une valeur de la sensibilité de l'odomètre propre à ISA doit être déterminée. Étant nécessaire au bon fonctionnement d'ISA, nous qualifierons cette sensibilité de fonctionnelle. Dans le cadre de l'évaluation du *Limit Advisor M2002*, un module d'enregistrement des données de bord était couplé au dispositif. La vitesse enregistrée par le module se basait sur une valeur différente de la sensibilité de l'odomètre, appelée sensibilité analytique. Chacune de ces deux sensibilités peut donc être de nature statique (sans correction GPS) ou dynamique (corrigée par le GPS).

²⁹ nombre de tours à l'entrée de l'indicateur de vitesse pour un tour de l'axe d'entraînement de l'appareil indicateur de vitesse, le véhicule se déplaçant en ligne droite

³⁰ Si son signal ne convient pas (pas accessible ou utilisable), un odomètre externe peut être ajouté.

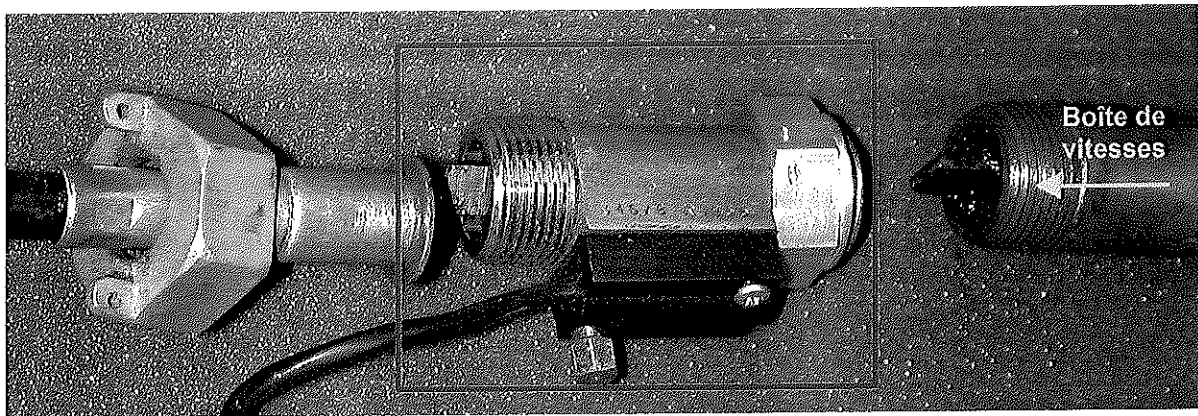


Figure 11 : L'odomètre

2.3.7.3 Méthodes d'étalonnage

La vitesse affichée par le compteur d'un véhicule, au sens de la directive 75/443/CEE, ne doit pas être inférieure³¹ à sa vitesse réelle. Dans la pratique, la vitesse affichée est légèrement supérieure à la vitesse réelle, l'écart variant avec la vitesse. Il est donc possible de déterminer chacune des sensibilités (fonctionnelle ou analytique) en prenant comme valeur de référence soit la vitesse réelle du véhicule, soit la vitesse affichée au compteur. Choisir l'une plutôt que l'autre présente des avantages et des inconvénients dont le poids sera fonction de la finalité de l'installation : est-elle uniquement fonctionnelle ou y a-t-il en plus, comme à Gand, un aspect d'analyse de données avec enregistreur ("data logger") ?

L'avantage de l'étalonnage par rapport à la vitesse réelle est qu'il est compatible avec une correction en temps réel (dynamique) de la sensibilité fonctionnelle par les mesures de vitesse issues du GPS. Son principal inconvénient est d'introduire une incohérence entre la vitesse affichée au compteur (qui est la référence pour le conducteur) et les seuils de déclenchement d'ISA. Exemple : ISA se déclenche à une vitesse réelle de 90 km/h alors que le conducteur lit 100 km/h au compteur. Au contraire, l'étalonnage par rapport à la vitesse compteur, s'il n'autorise pas de correction par le GPS³², atténue, voire supprime cette différence.

Dans un cadre fonctionnel, ISA n'utilise que la seule sensibilité fonctionnelle. Dans ce cas, la bonne perception du dispositif par le conducteur est primordiale et nous privilégions donc a priori l'étalonnage par rapport à la vitesse compteur.

Dans un cadre fonctionnel et analytique, par contre, deux valeurs de la sensibilité sont impliquées. Quel que soit le choix fait, celui-ci devrait être appliqué aux deux valeurs (dès lors égales) de la sensibilité afin de garantir la représentativité des données enregistrées. Cela n'a pas toujours été le cas, comme nous le verrons au § 2.3.7.4. Il reste donc deux possibilités : utiliser la vitesse compteur ou la vitesse réelle comme valeur de référence pour étalonner les deux sensibilités. Sur le plan scientifique, la vitesse réelle pourrait être préférée car elle garantit des mesures indépendantes tant du véhicule, que d'une éventuelle dérive (usure des pneus) grâce aux corrections du GPS. Sur le plan humain, en revanche, la vitesse compteur minimise la perturbation par ISA des conducteurs. Le choix, en définitive, dépendra de l'importance respective des facteurs humains (perturbation minimale) et scientifiques (exactitude de la vitesse enregistrée).

2.3.7.4 Evolution de la méthode de calcul des sensibilités

Les exemples ci-dessous présentent l'évolution de la méthode de détermination des sensibilités de plusieurs versions du *Limit Advisor* lors de trois expériences pilotes.

³¹ Les directives 75/443/CEE et 97/39/CEE du Conseil et de la Commission européens concernant l'homologation type des véhicules imposent que l'écart entre la vitesse affichée au tachymètre et la vitesse réelle soit compris, bornes incluses, entre 0 et la dixième partie de la vitesse réelle plus 4 km/h.

³² Car l'écart entre la vitesse réelle (GPS) et la vitesse compteur varie avec la vitesse et est inconnu

Expérience pilote	Sensibilité fonctionnelle	Sensibilité analytique
	Etalonnage par rapport à la	
Lund (1999-2002)	Vitesse réelle, statique	Vitesse réelle, dynamique
Gent (2003-2004)	Vitesse compteur, statique	Vitesse réelle, dynamique
Hongrie & Espagne (2003-2004)	Vitesse réelle, dynamique	Vitesse réelle, dynamique

A Lund, l'étalonnage de la sensibilité fonctionnelle a été réalisé à l'aide d'un récepteur GPS portatif. La vitesse du véhicule a été ajustée de telle sorte que le récepteur indique 70 km/h. A Gand, on a effectué un court essai routier à une vitesse (compteur) de 70 km/h. La difficulté de garder une vitesse constante au compteur (tremblement du pied, effet du relief, nécessité de garder l'œil rivé au compteur, etc.) rend cette méthode d'étalonnage assez peu précise. En Hongrie et en Espagne, la méthode est celle décrite ci-dessous pour la sensibilité analytique.

La méthode de détermination la sensibilité analytique n'a pas varié (dans son principe) entre les expériences : au-delà de 75 km/h, un outil statistique enregistre la vitesse issue du GPS. Lorsque les données correspondant à 30 secondes de déplacement dans cette plage de vitesses ont été accumulées, l'outil statistique compare la sensibilité de l'odomètre avec une valeur issue des dernières mesures. Si un écart excessif est détecté, une correction est apportée à la sensibilité de l'odomètre. Nous voyons que la fréquence de cette correction automatique dépend du temps que le véhicule passe aux vitesses supérieures à 75 km/h.

Deux méthodes d'étalonnage différentes ont été appliquées à Lund et Gand, ce qui, on l'a vu, ne favorise pas la représentativité des données enregistrées.

2.3.7.5 Limitations

Les facteurs d'incertitude sont l'exactitude de l'horloge, le nombre d'impulsions émises par unité de longueur³³, etc. Un autre facteur d'incertitude, indépendant de l'odomètre cette fois, est le pneumatique : son usure ou son remplacement modifie en effet sensiblement la distance réelle parcourue par le véhicule pour un nombre donné de révolutions de l'axe de sortie de la boîte. Faisons un rapide calcul : un pneu moyen neuf (195/60 R 15) a un diamètre de $15 \times 25,4 + 2 \times 0,6 \times 195 = 615$ mm. En comptant une profondeur des rainures de 8 mm, la différence de diamètre entre pneu neuf et usé s'élève à 16 mm. En supposant que l'étalonnage a été effectué à la moitié de la durée de vie des pneus, la différence de diamètre du pneu au moment de l'étalonnage et du renouvellement des pneus est de 8 mm, soit une distance parcourue par révolution 1,3 %³⁴ plus faible qu'avec le pneu neuf. Ce calcul est théorique, car la situation peut être toute différente pour un pneu au repos et en mouvement.

2.3.7.6 Efficacité et fiabilité

Trois interventions techniques sur les odomètres en cours d'expérience ont conduit à leur remplacement : l'un avait été placé lors de l'installation du limiteur et les deux autres étaient d'origine dans les véhicules. Les problèmes ne concernent donc pas directement le système ISA mais pourraient être la conséquence de son installation dans le véhicule.

³³ Le nombre de pulsations émises par kilomètre varie dans de grandes proportions selon le fabricant et le modèle de véhicule. Plus ce nombre est faible, plus l'incertitude de mesure de la distance est élevée.

³⁴ Ces données se rapportent à des pneus immobiles et sont donc théoriques.

2.3.8 L'unité mécanique (MechUnit)

Fabricant : IMITA AB
Version/Type : R3C

2.3.8.1 Caractéristiques

Sous le contrôle de l'unité de commande (CPU), l'unité mécanique a pour fonction de créer la contre-pression dans la pédale des gaz. Elle agit sur la pédale par l'intermédiaire d'un câble métallique appartenant au système ISA. Au moment voulu, l'unité mécanique exerce une traction sur le câble, laquelle se répercute sur la pédale par l'intermédiaire de son point de suspension. Le conducteur a ainsi la sensation d'un durcissement.

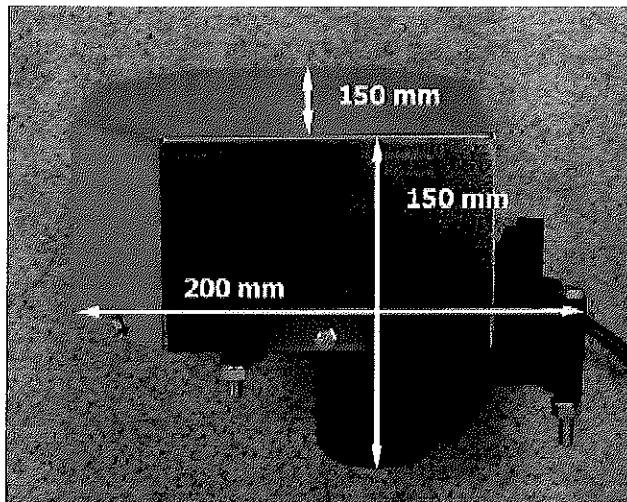


Figure 12 : L'unité mécanique (source : IMITA)

Sous le capot supérieur se trouvent les éléments mécaniques (bras et ressorts) assurant la mise sous tension du câble. La force motrice nécessaire est fournie par un servomoteur électrique situé dans la cartouche cylindrique (partie inférieure de l'image).

2.3.8.2 Principe de fonctionnement

L'état par défaut³⁵ du limiteur est celui représenté dans la moitié droite de la figure 13 : le bras actif, sous l'action de la force de rappel du ressort, exerce une force sur le bras passif, lequel tend le câble (tension T_2 élevée) et engendre ainsi le durcissement de la pédale des gaz.

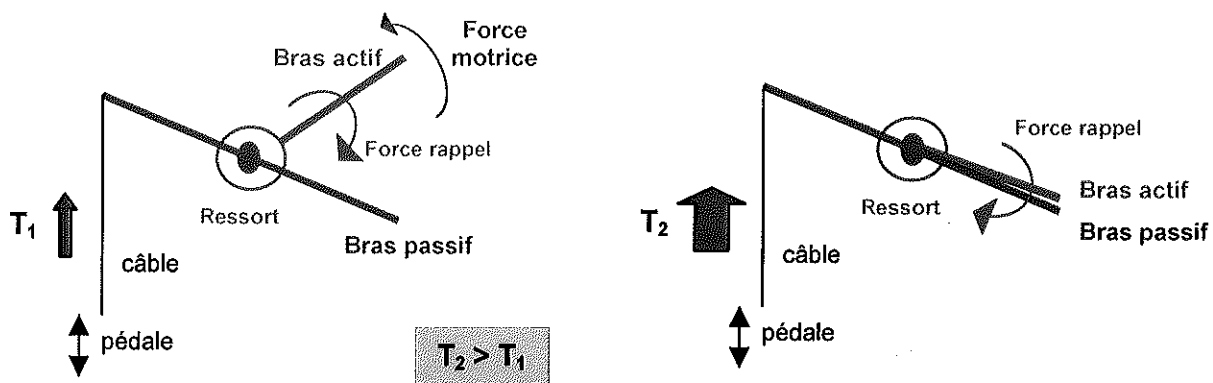


Figure 13 : Le principe de fonctionnement de l'unité mécanique

³⁵ Etat en l'absence d'un apport d'énergie sous une forme quelconque (pas de force motrice)

Ceci se produit lorsque :

- le contact du véhicule est coupé (moteur non alimenté)
- le contact est mis et le CPU a détecté une vitesse > VMA
- une panne ou toute autre cause empêche la transmission de l'effort moteur au bras actif

La moitié gauche de la figure 13, au contraire, schématise l'état du limiteur lorsque le conducteur respecte la limitation de vitesse, c'est-à-dire lorsque le moteur neutralise la force de rappel du ressort du bras actif, ce qui élimine la contre-pression dans la pédale (tension T1 normale).

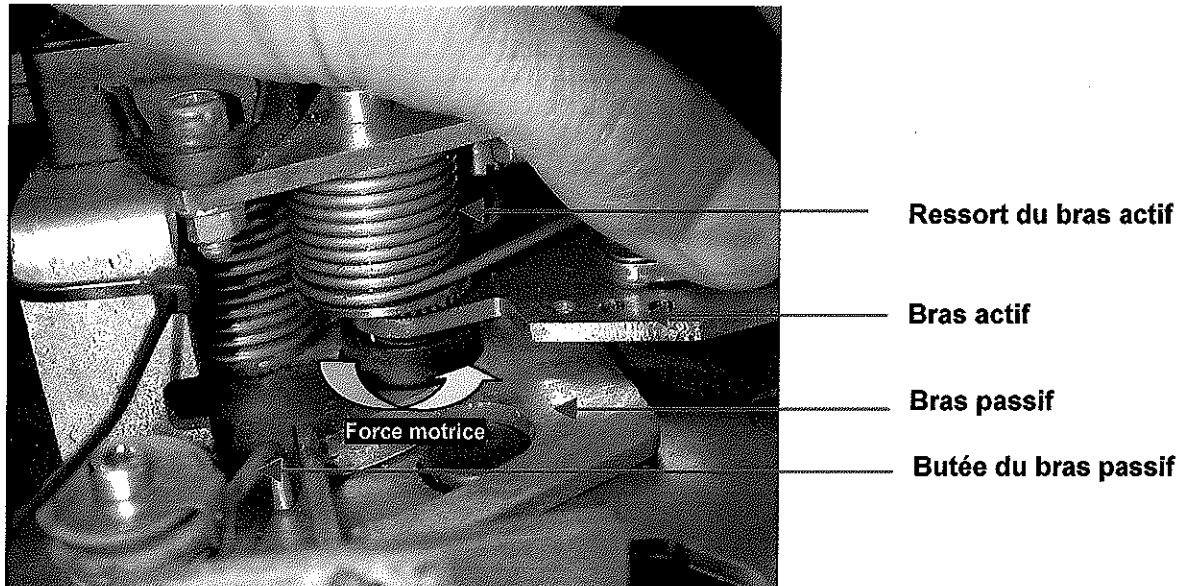


Figure 14 : Illustration du principe de fonctionnement

La neutralisation par le moteur de la force de rappel du ressort du bras actif, qui est représentée ci-dessus par l'effet de la main, dure près de 5 secondes. Par contre, dès que le CPU détecte une infraction, le servomoteur se coupe et le bras revient quasi instantanément frapper sa butée, ce qui installe à nouveau la contre pression dans la pédale. Ces mouvements mécaniques sont inaudibles lorsque le moteur du véhicule fonctionne. A l'arrêt par contre, si le conducteur met le contact, un petit bruit sous le capot trahit la remontée du ressort de rappel du bras actif. S'il coupe le contact, un claquement sec retentit aussitôt et indique le retour du bras sur sa butée.

2.3.8.3 Limitations

La tension supplémentaire exercée par le limiteur sur le câble accélérateur n'est réglable ni statiquement ni dynamiquement. Un réglage statique permettrait de fixer un "niveau" de tension adapté à la force physique du conducteur. Par ailleurs, un réglage dynamique autoriserait une modulation de la tension en fonction de l'écart entre la vitesse réelle du véhicule et la VMA.

2.3.8.4 Efficacité & fiabilité

Près de 50 % de toutes les interventions techniques (soit 8 unités) effectuées sur les 37 véhicules participant ont impliqué le remplacement de l'unité mécanique. Dans la plupart des cas, le problème à l'origine du remplacement était la présence continue de la contre-pression dans la pédale des gaz. Le démontage de six des huit unités concernées et l'analyse visuelle de ses composants a permis de mettre en évidence avec une haute probabilité la faiblesse des engrenages assurant la transmission du couple moteur, voire dans certains cas le moteur lui-même. Un problème d'un autre type a été constaté lors du démontage d'ISA de l'un des véhicules participant (cf. § 2.3.8.4.2).

2.3.8.4.1 Le moteur et la chaîne de transmission de son couple

La chaîne de transmission comprend un engrenage hélicoïdal, une couronne, un train planétaire, plusieurs roues dentées incluant un désaxement de l'effort, etc. La plupart des engrenages sont faits d'un matériau synthétique (polymère).

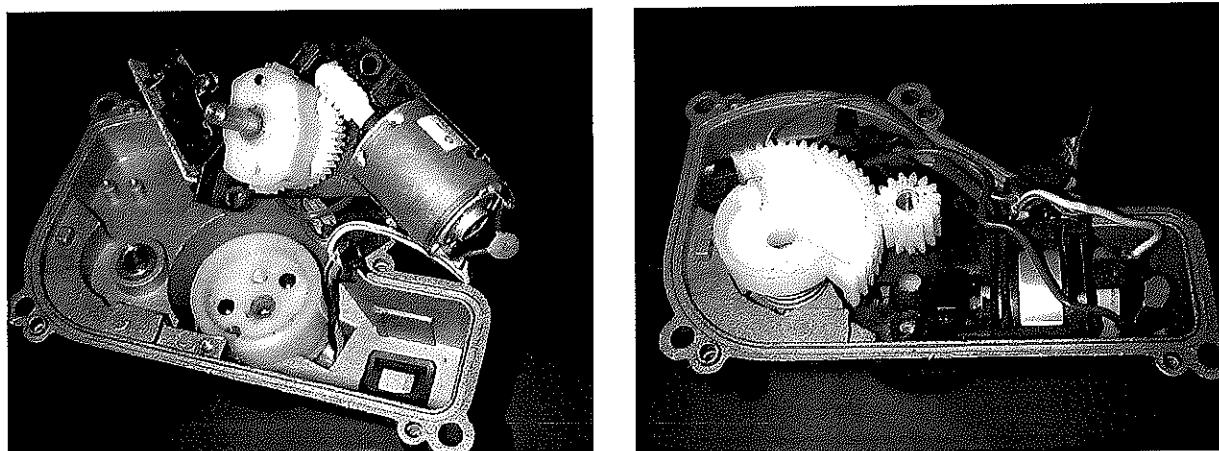


Figure 15 : Le moteur électrique et la chaîne de transmission

Parmi les pannes impliquant le moteur ou la transmission, la plupart sont à mettre sur le compte des engrenages de la transmission, en particulier la roue dentée en contact avec l'engrenage hélicoïdal solidaire de l'axe moteur (cf. ci-dessous). Une usure exagérée de cette roue dentée a en effet pour conséquence de faire "patiner" l'engrenage hélicoïdal, lequel ne peut plus alors transmettre l'effort moteur. Or l'effort moteur, en armant le bras actif, élimine la contre-pression. Nous assistons par conséquent à la présence ininterrompue de la contre-pression dans la pédale des gaz.

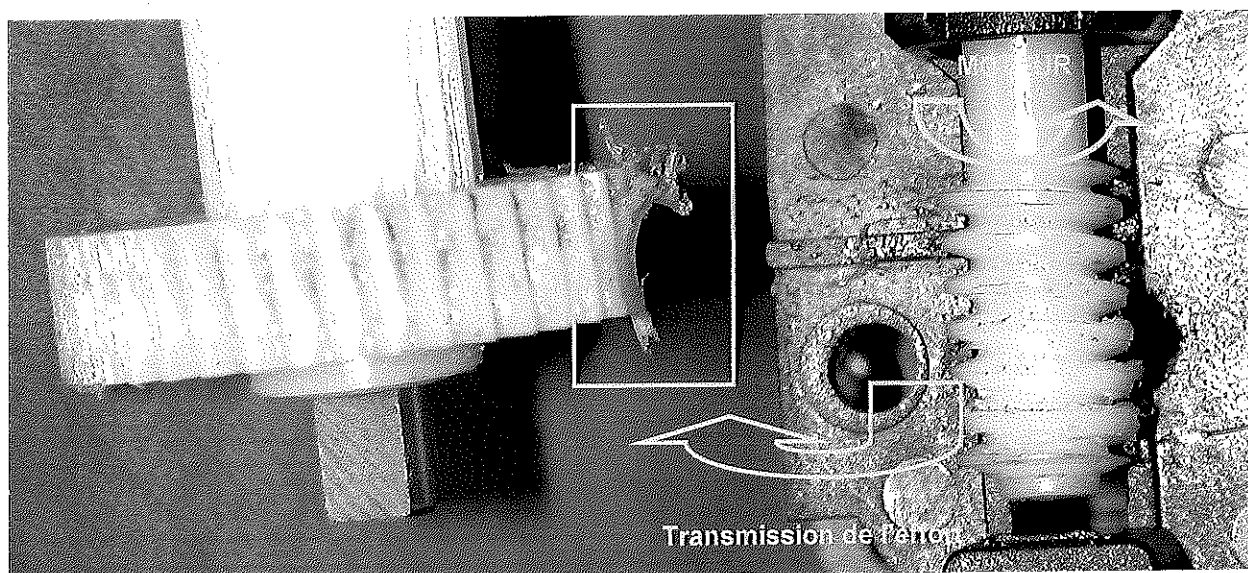


Figure 16 : Usure d'un engrenage de la transmission

D'après nos données, en effet, les cas d'usure de la transmission se concentrent chez les véhicules à usage intensif (autobus et véhicules privés parcourant plus de 30.000 km par an).

Un phénomène anormal a été observé dans l'un des six systèmes démontés : une soudure de la roue dentée sur l'engrenage hélicoïdal. Seule une intense pression mécanique, éventuellement assortie d'une température élevée, pourrait expliquer que les dentures de deux engrenages

fusionnent de la sorte. Il va de soi que dans ce cas également, le couple moteur n'était plus transmis au reste de la chaîne.



Figure 17 : Soudure locale de deux engrenages

Parmi les six unités démontées, nous avons également observé des engrenages en bon état chez deux d'entre elles³⁶. Nous supposons que dans ce cas, la panne est due au moteur. Dans l'un des deux cas, nous avons observé un fil déconnecté qui pourrait expliquer le problème.

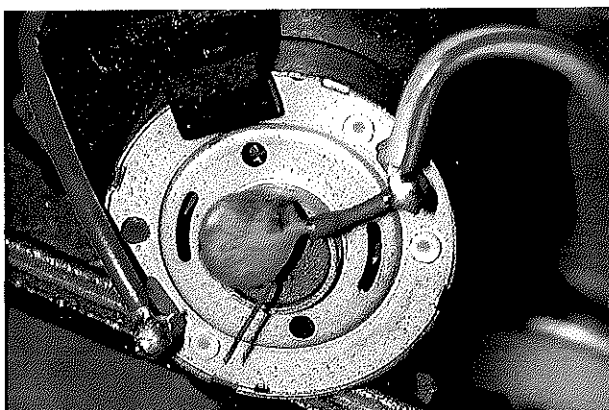


Figure 18 : Cause possible de panne du moteur due à une connexion défectueuse

Citons quelques causes possibles de ces phénomènes :

- la fréquence et la durée des sollicitations mécaniques subies, lesquelles dépendent de la distance parcourue par le véhicule et du type de conduite et de parcours (urbain, etc.)
- la nature du matériau constituant les engrenages
- les chocs et vibrations répétés lorsque le bras actif vient frapper le bras passif

La société IMITA, contactée à propos de ces problèmes de fiabilité, étudierait actuellement le moyen d'accroître la fiabilité de sa chaîne de transmission par l'utilisation d'un nouveau servomoteur et la diminution du choc (retour du bras actif contre sa butée). Ce dernier point aurait déjà été installé dans la nouvelle version du produit testée actuellement en Hongrie et en Espagne.

Nous avons vu que l'état par défaut du limiteur est celui dans lequel il exerce la contre pression sur la pédale. Ainsi, en cas de panne du système ISA, ce n'est pas l'état normal du véhicule (sans contre pression) qui prévaudra mais bien l'état opposé, ce qui peut être une source d'énervement et de fatigue musculaire pour le conducteur. Une règle courante lors de la conception d'un

³⁶ Dans l'un des deux cas, il s'agissait d'un véhicule à usage non intensif (environ 10.000 km par an), ce qui conforte l'hypothèse selon laquelle l'usure des engrenages serait liée à la distance parcourue. Dans l'autre cas, la distance annuelle parcourue par le véhicule n'était pas connue.

équipement de sécurité veut en effet qu'une panne de celui-ci ne pénalise pas la sécurité du véhicule. Un exemple classique est celui de la plupart des systèmes de freinage pneumatiques (poids lourds, trains) : le système est conçu de telle sorte qu'une dépressurisation accidentelle des circuits de freinage entraîne le serrage automatique des freins. La situation n'est pas aussi tranchée avec le limiteur de vitesse : lequel des deux états (avec ou sans contre pression) est le plus propice à la sécurité ? D'une part, la présence constante de la contre-pression peut laisser supposer que le conducteur va réduire sa vitesse moyenne, ce qui peut être bénéficiaire pour la sécurité. D'un autre côté, outre la fatigue mentale et musculaire, rouler à une vitesse inadaptée dans le trafic, ici une vitesse trop basse, conduit à un accroissement du risque. Ce choix se justifie techniquement dans la configuration actuelle : lorsqu'une infraction est détectée, le système a un temps de réaction très court. Il suffit en effet au moteur de cesser son effort pour que, sous l'effet du ressort de rappel, le bras actif vienne en une fraction de seconde frapper le bras passif.

2.3.8.4.2 Le ressort de rappel du bras actif

Une autre panne, plus surprenante, a été notée lors du démontage du limiteur d'un véhicule. Le ressort de rappel du bras actif était cassé. Conséquence perçue par le conducteur : la disparition de la contre-pression depuis environ deux semaines, ce qui permet de dater au même moment le bris du ressort. Explication : bien que le moteur puisse théoriquement réarmer le bras actif lorsque le ressort est cassé, celui-ci, en l'absence de force de rappel, "flottait" dans une position intermédiaire entre ses positions extrêmes. Nous supposons que le capteur de position a détecté cette anomalie et provoqué la neutralisation de l'action motrice. Contexte : véhicule ayant roulé près de 50.000 km à une allure sportive³⁷ entre octobre 2002 et décembre 2003.

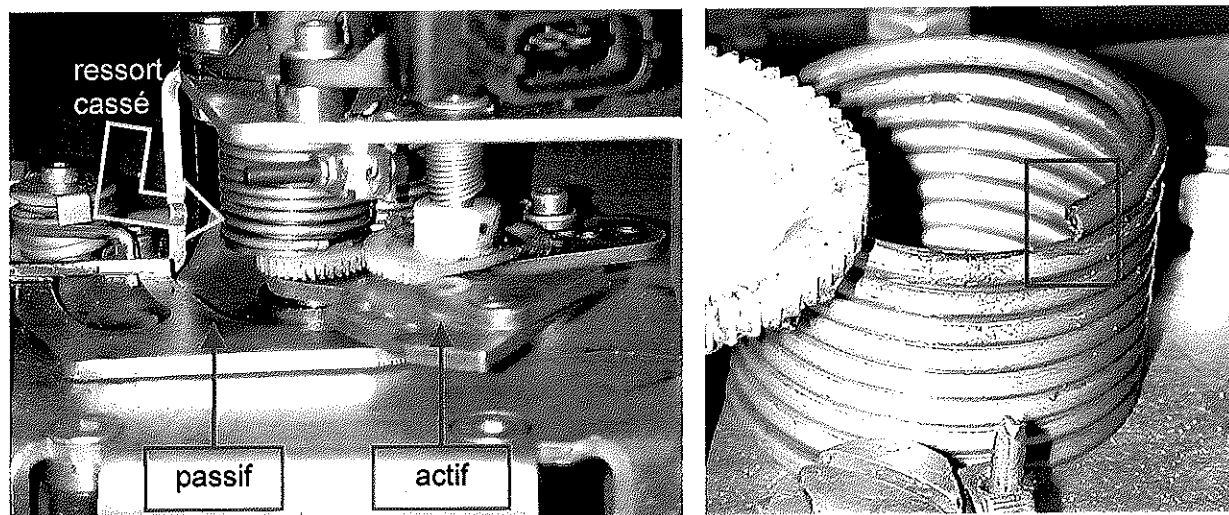


Figure 19 : Le bras actif sans la force de rappel du ressort et détail du ressort cassé

2.3.8.4.3 Le câble reliant l'unité mécanique à la pédale

Une usure prononcée du câble et même une rupture ont été rapportées. Ces deux cas se rapportaient à des autobus de la société *De Lijn*, véhicules dont l'usage est par définition intensif et où le limiteur subit des contraintes plus élevées que dans les véhicules personnels³⁸. Pour rappel, le limiteur utilisé est le même pour les bus et pour les véhicules personnels. Outre les bus, deux véhicules personnels ont connu des problèmes de câble : dans un cas, l'endommagement subi semblait indépendant du limiteur. Ce câble a été remplacé. Dans l'autre cas, une VW Golf IV dépourvue de câble accélérateur d'origine, le câble d'ISA avait été incorrectement monté et causait des vibrations dans la pédale des gaz. Un simple réglage a suffi.

³⁷ selon les dires du conducteur même

³⁸ Causes possibles : la présence d'une boîte automatique, la conduite pied au plancher, une pédale surdimensionnée (bras de levier plus important) par rapport à celle d'une voiture.

2.3.9 L'unité d'affichage et de réglage

Fabricant : IMITA AB

Version/Type : 5.0

2.3.9.1 Caractéristiques

Dans le cadre de l'expérience ISA-Gent, cette unité avait trois rôles essentiels :

- Informer les passagers du véhicule du mode de fonctionnement d'ISA
- Permettre au conducteur de sélectionner la vitesse à laquelle il souhaite que le limiteur réagisse (en dehors de la zone de la carte numérique uniquement)
- Définition des paramètres de fonctionnement par l'installateur ou le fabricant

Elle a été en règle générale installée sur le tableau de bord, à droite du volant.

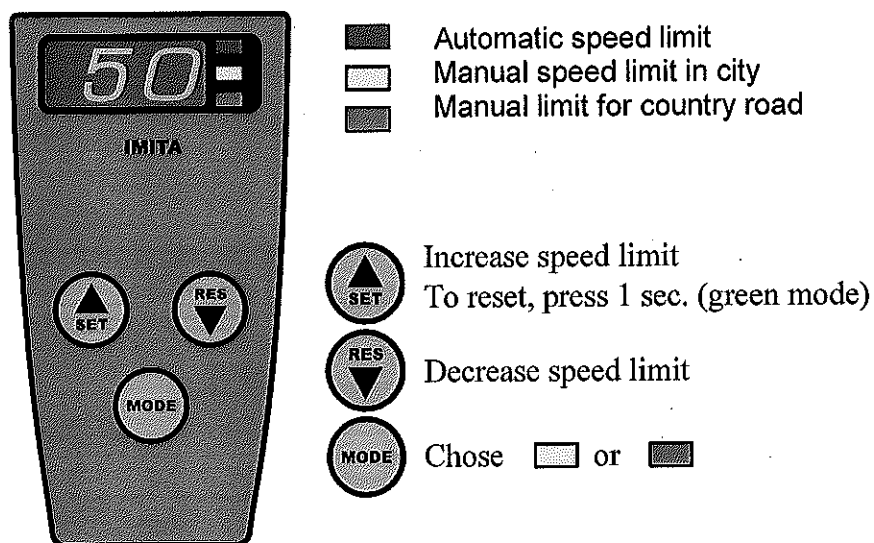


Figure 20 : L'écran d'affichage du Limit Advisor (source : IMITA)

La couleur du témoin lumineux indique lequel des trois modes de fonctionnement est actif :

- rouge : recherche automatique de la vitesse maximale autorisée. Ce mode n'est possible qu'à l'intérieur de la zone couverte par la carte et s'y s'enclenche automatiquement sans possibilité de désactivation ou de réglage.
- jaune : fixation manuelle grossière de la vitesse de consigne maximale. Il s'agit du mode par défaut dès que l'unité de navigation détecte une sortie de la carte numérique. Lorsque c'est le cas, une VMA par défaut de 50 km/h est d'application. Une pression sur les flèches haute ou basse permet de modifier cette valeur par pas de 10 km/h entre 20 et 130 km/h.
- vert : fixation manuelle fine de la vitesse de consigne maximale. L'activation de cette fonction se fait par une pression brève sur le bouton "Mode" en dehors de la carte numérique. L'écran

affiche par défaut une consigne nulle (000) qui équivaut à l'absence de consigne. Le conducteur peut soit appuyer sur le bouton "Set" et définir comme consigne la vitesse instantanée du véhicule, soit appuyer sur "Res" et rappeler la consigne précédente. Par la suite, la consigne sélectionnée peut être ajustée par pas de 1 km/h à l'aide des flèches. Appuyer plus d'une seconde sur "Set" permet de réinitialiser la consigne (000) et donc de désactiver l'interface sensitive (tant que le véhicule reste en dehors de la carte).

La pression simultanée d'une combinaison de touches donne accès à un menu permettant de modifier 9 paramètres. L'un de ceux-ci désactive l'interface sensitive (réaction de la pédale) tandis que le reste du limiteur continue de fonctionner normalement. Cette option a été utilisée à la fin de l'expérience gantoise (octobre à décembre 2003) afin d'étudier l'évolution du comportement des conducteurs en présence de l'interface visuelle (et de l'enregistrement des variables de la conduite) mais sans contre-pression dans la pédale de l'accélérateur.

Aucun problème technique en relation avec l'afficheur n'a été rapporté.

2.3.10 Valeur technique du *Limit Advisor M2002*

Le but de ce paragraphe est de synthétiser la valeur technique de la partie fonctionnelle³⁹, tant du concept que de la réalisation concrète qu'est le *Limit Advisor M2002*.

2.3.10.1 Valeur technique fonctionnelle du concept

Par concept, nous entendons l'ensemble des choix techniques réalisés, indépendamment de leur concrétisation matérielle.

a. Le positionnement absolu GPS

Sur le principe, et malgré ses défauts, le GPS s'avère être un choix judicieux, vu son autonomie et son coût relativement faible. La présence d'un système de localisation à l'estime permet de pallier temporairement les défaillances de la localisation.

b. Une carte numérique statique

En l'absence de techniques fiables de télécommunication permettant une mise à jour rapide et à grande échelle des cartes numériques embarquées, les versions statiques des cartes numériques constituent une alternative intéressante. Le logiciel de corrélation cartographique relie en temps réel la localisation GPS et les données de la carte numérique.

c. Une interface sensitive se manifestant par un durcissement de la pédale des gaz

Ce choix résulte d'un compromis entre d'une part la recherche de l'efficacité maximale et d'autre part la minimisation du caractère intrusif du dispositif. Techniquement, cependant, il est plus risqué qu'un dispositif ISA ouvert émettant un signal sonore ou visuel en cas d'infraction.

2.3.10.2 Valeur technique fonctionnelle de la réalisation

Rappelons tout d'abord que le *Limit Advisor M2002* est un prototype produit en petite série et dont l'évolution est rapide. Entre 1999 (Lund) et 2003, en effet, des changements importants⁴⁰ y ont été apportés. L'appréciation que nous apportons à la réalisation technique est mitigée. Si d'une part, il est indéniable que le limiteur remplit son office de manière globalement satisfaisante, la somme des problèmes de tous types rencontrés appelle d'autre part un jugement sévère. Citons les problèmes de fiabilité de l'unité mécanique, la performance moyenne du logiciel de corrélation cartographique (temps de calcul), la faible capacité de la carte numérique et la procédure de mise à jour. Si les discordances répétées avec la réalité en matière de VMA sont en partie dues au système GPS, les logiciels de l'unité de positionnement jouent également un rôle en la matière.

³⁹ abstraction faite de l'outil d'enregistrement des données (partie analytique)

⁴⁰ cf. § 2.3.7.4, § 2.3.8.4.1 et § 2.4.3

2.4 Evaluation de la compatibilité du limiteur avec les véhicules

2.4.1 Généralités

Le limiteur de vitesse intelligent "Limit advisor" peut être installé dans *presque* tous les véhicules. La nuance vient de ce que l'installation dans certains véhicules peut poser de sérieux problèmes techniques : manque d'espace, points d'ancrage de la pédale des gaz inappropriés, signal de l'odomètre inexistant ou inutilisable, etc. qui soit allongent considérablement le temps de montage, soit rendent l'installation inefficace ou peu sûre. Après élimination des véhicules dans lesquels l'installation est réputée problématique, la durée moyenne d'une installation par un technicien dans une voiture personnelle est de 6 heures.

2.4.2 Exigences de base

IMITA a établi la liste suivante d'exigences techniques de base concernant le véhicule :

1. Signal de l'odomètre : une amplitude PTP⁴¹ de 4 V minimum et une sensibilité minimale de 1800 impulsions par kilomètre.
2. Un espace suffisant pour installer l'unité mécanique à proximité de la pédale des gaz (sous le capot moteur dans le cas d'un véhicule).
3. Possibilité d'appliquer la contre-pression à la pédale des gaz. Les pédales situées sur le plancher du véhicule et sans lien mécanique direct avec le moteur (réglage par potentiomètre par exemple) ne sont normalement pas acceptées. Une pédale suspendue par un appui constitue une disposition mécanique plus favorable.
4. Pas de pare-brise feuilleté contenant des couches minces bloquant le signal GPS. Si c'est le cas, l'antenne devra être placée sur la lunette arrière ou sur le toit.
5. Signal de régime moteur disponible si celui-ci doit être enregistré

Les exigences 1 à 3 sont essentielles. Quelques remarques :

a. Disponibilité des signaux de l'odomètre et du compte-tours (RPM)

La tendance actuelle dans le monde de l'automobile est de rassembler les signaux mesurés par un nombre croissant de capteurs dans des réseaux d'informations (cf. CAN-bus) dont le contenu est protégé par une clé de cryptage détenue par le constructeur⁴². Parallèlement, vu la complexité des réseaux d'informations embarqués, les signaux (tels que la vitesse du véhicule) doivent pouvoir être utilisés par une large palette d'applications : ABS, ESP, airbags, suspension pilotée par l'électronique, taximètre (selon le cas), boîte noire (cf. taxi) ou l'adaptation du volume d'un auto radio à la vitesse du véhicule, etc. Dans le cas de l'auto radio ou du taximètre, le constructeur doit laisser le signal de la vitesse accessible, ce qui permet d'accéder à l'information désirée par des voies détournées. Le même problème se pose pour le signal du régime du moteur mais les solutions pour le contourner sont plus rares. Il est donc probable qu'à l'avenir, ce signal ne puisse plus, avec la version actuelle du limiteur, être récupéré et donc enregistré.

b. Articulation de la pédale des gaz

La compatibilité du mode d'articulation de la pédale avec le limiteur est un problème délicat. L'effort final transmis à la pédale dépend en effet de l'angle fait par la jambe avec la pédale, de la course de la pédale et du bras de levier offert. Or un nombre croissant de véhicules⁴³ voient leur câble accélérateur remplacé par un dispositif électronique (potentiomètre relié à une unité de

⁴¹ Peak To Peak = amplitude d'un signal mesurée entre les valeurs extrêmes positive et négative

⁴² L'une des motivations des constructeurs est d'empêcher les modifications (parfois frauduleuses) des caractéristiques techniques des véhicules (cf. en anglais "tampering" et "tuning").

⁴³ Les modèles Golf 3 et 4, en version diesel, étaient déjà équipés d'un tel dispositif il y a dix ans.

contrôle), ce qui est susceptible de modifier la position et la configuration mécanique de la pédale. Selon le cas, le montage du *Limit Advisor* peut alors se révéler impossible. Dans le cadre de ISA-Gent cependant, un modèle VW Golf IV diesel sans câble accélérateur a pu être équipé du limiteur (cf. figure ci-dessous).

2.4.3 Aspects pratiques

2.4.3.1 Considérations générales

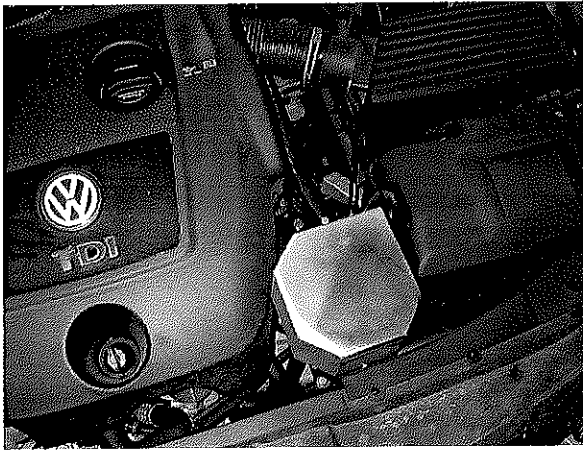
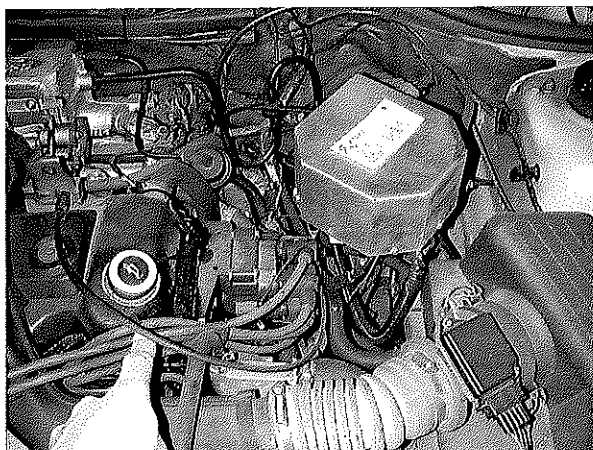
IMITA a évalué pour une centaine de véhicules parmi les plus présents sur le marché belge en 2003, la possibilité d'y installer leur limiteur de vitesse : il en ressort qu'environ

- 50 % des véhicules ne présenteraient pas de problème particulier
- 25 % présenteraient un nombre limité de problèmes
- 25 % ne seraient pas favorables à l'installation

Parmi cette dernière catégorie se retrouvent des véhicules de toutes tailles (Citroën AX 1988, Ford Transit 1999) et de tous âges (Nissan Patrol 1989, Chevrolet Transport 2001).

2.4.3.2 L'unité mécanique

L'unité mécanique se place généralement dans le compartiment moteur. Lorsque l'espace y est trop exigu, une installation dans le pare-chocs avant est également possible⁴⁴.

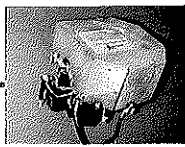


Figures 21 & 22 : Installations dans une Ford Escort 1995 et une VW Golf IV de 2002

La disposition de l'unité mécanique par rapport au moteur et à la pédale des gaz a fortement évolué entre l'expérience ISA à Lund et celle de Gand. A Lund, le montage n'était possible que si le véhicule était équipé d'un papillon des gaz commandé mécaniquement. L'unité mécanique s'interposait littéralement entre le moteur et le papillon des gaz. Le câble accélérateur d'origine du véhicule ne reliait plus le papillon à la pédale mais bien le papillon à l'unité mécanique, tandis que le second câble (fourni par IMITA) connectait celle-ci à la pédale. Il s'agit d'un montage en "série".



Câble IMITA



Câble d'origine
(raccourci)



Figure 23 : Configuration "en série" à Lund (LundalSA) : Nomix MAC

⁴⁴ Peugeot 306 break modèle 2002, motorisation diesel

A Gand, au contraire, on parle d'un montage "en parallèle" : la connexion d'origine entre le papillon et le moteur, si elle existe, n'est pas interrompue. Un lien supplémentaire relie simplement la pédale à l'unité mécanique.

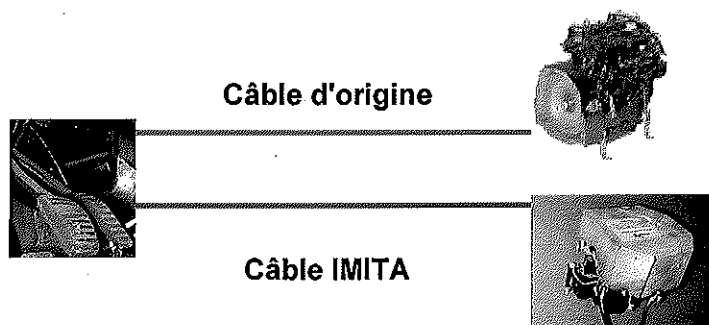


Figure 24 : configuration "en parallèle" à ISA-Gent : Limit Advisor

La disposition "en série" avait un avantage : elle devait permettre à l'unité mécanique d'offrir à l'utilisateur une fonction de régulateur de vitesse⁴⁵. Il suffisait à l'utilisateur d'activer cette fonction lorsque son véhicule avait atteint la vitesse voulue : l'unité mécanique gérait automatiquement la tension du câble la reliant au moteur afin d'obtenir l'effet désiré. En pratique, cette disposition soulevait des problèmes à plusieurs niveaux :

- Fonctionnel : un retard entre le mouvement de la pédale et la réponse du moteur rendait la conduite particulièrement inconfortable.
- Sécurité : bien que le matériel réponde à des normes de sécurité sévères, l'interruption du câble accélérateur accroît le risque de perte de contrôle de l'accélération.
- Juridique : La question de la responsabilité en cas d'accident eut été nettement plus délicate

Les deux premières questions ont été résolues en adoptant le montage "en parallèle". Le "prix" de cette modification est la perte de la fonction de régulation de vitesse. Nous devons encore préciser que la version série du *Limit Advisor M2002*, appelée *Nomix Mac* a satisfait aux tests de sécurité fonctionnelle (matériel et logiciel, voir [7]) réalisés par l'institut suédois de recherche et d'essais⁴⁶.

2.4.3.3 Les unités de positionnement et de contrôle (CPU)

Ces deux unités se trouvaient en général l'une à côté de l'autre dans l'habitacle : soit sous le tableau de bord, soit derrière la commande du changement de vitesses selon l'espace disponible.

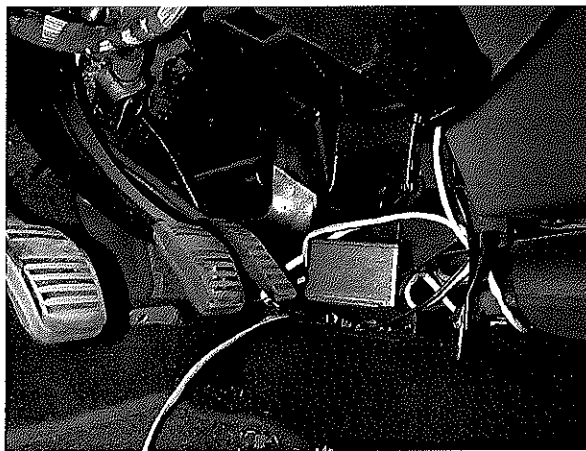


Figure 25 : Emplacements possibles des unités GPS et CPU dans les véhicules

⁴⁵ La fonction de réglage fin de la vitesse de consigne (témoin lumineux vert sur l'unité d'affichage) est une réminiscence de cette fonction de régulation de vitesse

⁴⁶ SP, nom abrégé de : Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut ; voir aussi le § 4.1.2.

Note : le câble blanc passant sous les pédales dans la figure de droite n'est présent que lors du déchargement de la mémoire de l'enregistreur de bord.

2.4.3.4 L'afficheur

Il est collé sur le tableau de bord, à droite du volant. Un montage du côté gauche est possible.

2.4.4 Séquelles laissées au véhicule après démontage du limiteur

Elles sont mineures et le plus souvent invisibles :

- Perçage éventuel d'un orifice entre l'habitacle et le compartiment moteur pour le passage des câbles assurant la communication entre les unités de contrôle, de positionnement et mécanique. Après démontage, celui-ci est, le cas échéant, rebouché. Cette réparation, située en général sous le tableau de bord est quasi invisible.
- Collage de l'afficheur au tableau de bord : l'autocollant est enlevé au démontage et les traces de colles éventuelles sont enlevées à l'aide d'un solvant
- Collage de l'antenne GPS sur la partie avant du tableau de bord, au pied du pare-brise. Même remarque qu'au point précédent.
- Passage du câble supplémentaire reliant la pédale à l'unité mécanique : ceci ne nécessite normalement pas de modification au véhicule.

Le démontage complet du *Limit Advisor* d'un véhicule peut être réalisé par un technicien en deux heures en moyenne. Dans certains cas particuliers⁴⁷, ce temps peut être revu à la hausse.

⁴⁷ Montage de l'unité mécanique dans le pare-chocs, par exemple.

PARTIE III : ASPECTS INFORMATIQUES

3.1 *La captation des données brutes*

3.1.1 L'enregistrement

Fabricant : Wayfinder (anc. Itinerary Systems IS) AB
Version/Type : *Lund 1.0.1* (octobre 02) à *Lund 1.0.5* (juin 03)

3.1.1.1 Caractéristiques générales

Cet outil assure en temps réel l'enregistrement de certaines grandeurs liées à la conduite du véhicule. La liste des grandeurs enregistrées, ainsi que la fréquence d'échantillonnage et la résolution⁴⁸, varient selon que le véhicule se trouve ou non dans la zone couverte par la carte numérique.

L'unité d'enregistrement se trouve dans le même boîtier que l'unité de navigation, la carte numérique et les logiciels de corrélation cartographique ("map matching") et de localisation à l'estime ("dead reckoning"). La capacité de la mémoire de l'enregistreur est de 16 MB. Les données enregistrées proviennent tant de l'intérieur du boîtier de navigation (position, cap, VMA) que de l'extérieur (vitesse, régime moteur, position de la pédale des gaz, usage volontaire, distance) : il doit donc y avoir un dialogue entre ces différents composants provenant, rappelons-le, de deux fournisseurs distincts.

3.1.1.2 Nature des grandeurs enregistrées

Grandeur	Intérieur carte numérique		Extérieur carte numérique	
	Echantillonnage (Hz)	Résolution	Echantillonnage (Hz)	Résolution
Temps (s)	5	0,2	1	1
Position (m)	5	1	1	1
Vitesse (m/s)	5	0,1	1	1
Distance (m)	5	1	1	1
Position pédale gaz (%)	1	1	1	1
Direction du véhicule (°)	1	2	Non disponible	---
VMA (km/h)	Au changement	---	Non disponible	---
Régime moteur (RPM)	5	100/200	Non disponible	---
Usage volontaire ISA	Non applicable		Au changement	binaire

Figure 26 : Liste des variables de la conduite enregistrées

- La position est déterminée par projection de points du système de coordonnées suédois RT90 avec la ville suédoise de Lund pour référence (cf. § 2.3.2.7).
- Le cap (direction de déplacement) du véhicule est également mesuré grâce au GPS. L'intérêt principal de cette grandeur étant de localiser le véhicule par rapport aux segments dont l'orientation est définie dans la carte numérique, cette grandeur n'est sauvegardée que dans les fichiers "*_in.log*".
- Lorsque l'unité de navigation, utilisant la position, le cap et la vitesse du véhicule, a identifié le segment le plus probable de la carte sur lequel devrait se trouver le mobile, elle peut en déduire la VMA. Cette grandeur n'existe donc que dans les fichiers "*_in.log*".
- La vitesse est mesurée par l'odomètre à l'aide de la sensibilité analytique (voir § 2.3.7.3).
- La distance est dérivée des mesures de vitesse et de temps.
- La position de la pédale des gaz est déterminée de manière relative (%) grâce aux capteurs de position montés sur l'unité mécanique d'IMITA et en contact avec le câble accélérateur.

⁴⁸ Plus petit intervalle séparant deux points de mesure distincts

- La lecture du signal du régime moteur n'est possible que si le véhicule est équipé d'un tel capteur d'origine⁴⁹ et si le signal est accessible. Lorsque le signal est disponible, sa mesure est décalée de la réalité par un facteur multiplicatif dépendant du véhicule. Ce facteur varie de plus légèrement (selon IMITA) au cours du temps. Le régime n'est enregistré que dans les fichiers "In.log", probablement par souci d'économiser l'espace mémoire.

3.1.1.3 Format informatique de l'enregistrement

Les données enregistrées sont sauvées dans une succession de fichiers de type texte. Ces fichiers sont de deux types :

- YYMMDD_HHMMSS_in.log** : dans la zone couverte par la carte et
- YYMMDD_HHMMSS_out.log** : hors de cette zone ou si le positionnement sur la carte échoue

Où YYMMDD représente le jour et HHMMSS l'heure du début de l'enregistrement.

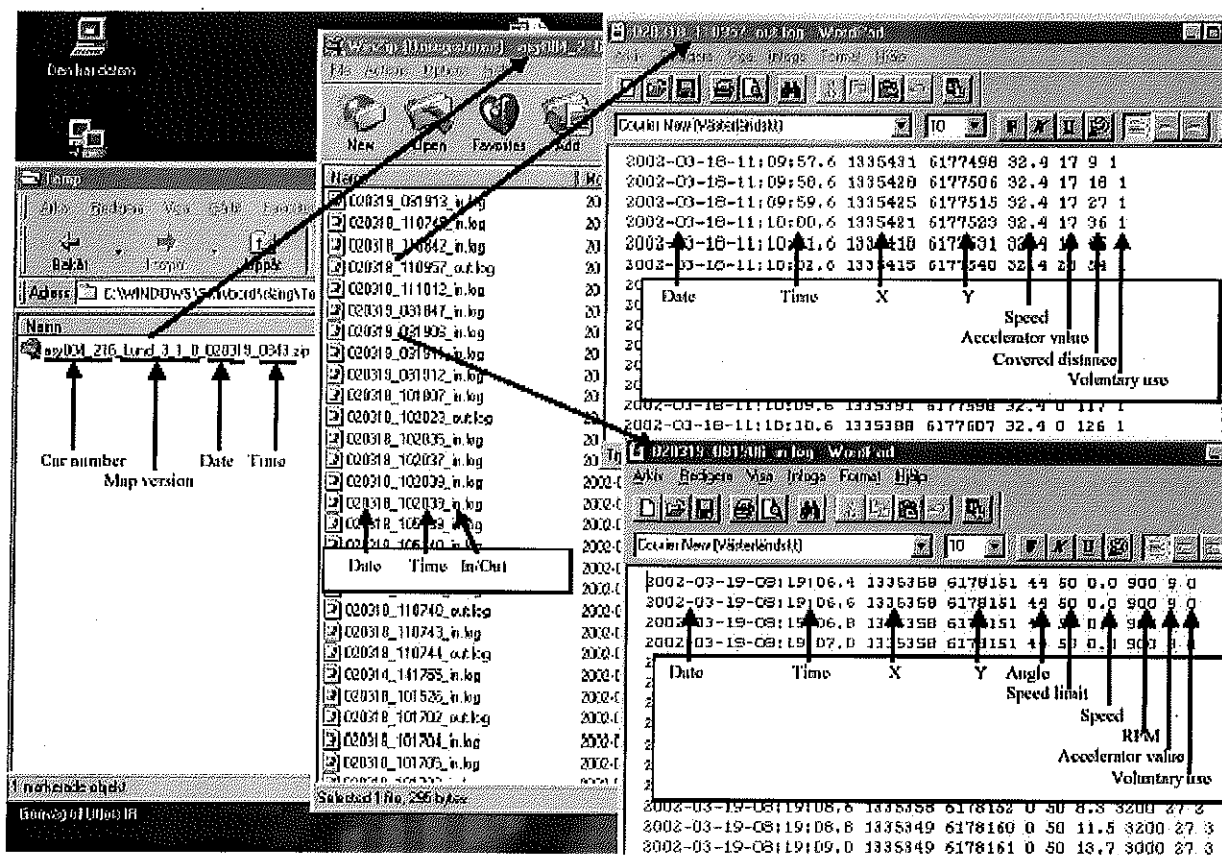


Figure 27 : Organisation des données enregistrées (source : IMITA)

3.1.1.4 Conditions accompagnant la création des fichiers de données

Un nouveau fichier "_in.log" se crée lorsque :

- le véhicule entre dans la zone couverte par la carte et l'unité de navigation détecte un segment connu par la carte à moins de 75 m ou bien une position située dans la boîte de délimitation
- l'unité de navigation détecte une position située dans la boîte de délimitation alors que juste avant, le véhicule se trouvait en dehors du territoire de la carte numérique
- le véhicule quitte un segment dont la VMA est nulle et l'unité de positionnement prédit que le prochain segment a une VMA non nulle.

⁴⁹ Présence plus fréquente avec les véhicules à essence qu'avec les véhicules diesel

Un nouveau fichier "*_out.log*" se crée lorsque :

- Le véhicule est dans la zone couverte par la carte numérique et l'unité de positionnement détecte qu'il s'est trop éloigné du segment connu le plus proche ou a quitté la boîte de délimitation
- Le véhicule est dans la zone couverte par la carte numérique et l'unité de positionnement ne parvient plus à effectuer la corrélation cartographique
- Le véhicule est dans la zone couverte par la carte numérique et quitte un segment de VMA non nulle pour aller vers un segment de VMA nulle
- Le véhicule n'est plus dans la zone couverte par la carte numérique et soit se remet en route après une coupure du moteur supérieure à une minute, soit est en mouvement et rétablit le contact avec une quantité suffisante de satellites GPS lui permettant de se localiser à nouveau après une coupure précédente.

Remarque : Lorsque l'unité de navigation perd le contact avec un nombre suffisant de satellites pour mesurer la position du véhicule, la fonction de localisation à l'estime ("dead reckoning") s'enclenche et tente, à l'aide des signaux de l'odomètre (distance) et d'un petit gyroscope intégré (cap), de continuer à suivre les déplacements du véhicule sur la carte. Lorsque l'algorithme n'arrive plus à faire coïncider la position et le cap avec les données de la carte, l'enregistrement cesse. Un fichier de type "*Out.log*" ne peut être créé immédiatement car la plupart des grandeurs à enregistrer sont désormais inconnues : latitude, longitude, cap, VMA. Ce n'est donc que lorsque le contact se rétablit avec le système GPS que l'enregistrement peut reprendre : soit sous la forme d'un fichier "*In.log*" si le véhicule est encore dans le territoire de la carte, soit "*Out.log*" dans le cas contraire.

L'enregistrement des données dans un fichier

- commence lorsque le conducteur a mis le contact à son véhicule ET que la vitesse du véhicule dépasse 1 m/s ET que l'unité de positionnement a établi le contact avec les satellites de la constellation GPS. Ce dernier point peut requérir de quelques secondes à quelques dizaines de secondes selon les conditions de visibilité, etc.
- cesse 1 minute après coupure de l'alimentation du système (contact coupé). Si entre temps, le contact est remis, l'enregistrement continue dans un autre fichier en se basant sur les dernières données collectées par l'unité de navigation.

3.1.1.5 Limitations

- a. La différence de fréquence d'échantillonnage dans et hors de la zone de la carte pose un problème statistique : comment en effet comparer entre elles les moyennes de grandeurs enregistrées à des fréquences différentes ? Exemple : évaluation de la modification de comportement du conducteur X secondes avant/après l'entrée ou la sortie de la carte (3 s à 1 Hz = 3 points ; 3 s à 5 Hz = 15 points).
- b. La mesure du régime moteur, lorsqu'elle est disponible, doit subir une correction variable avec le véhicule et dans le temps. Aucun de ces deux facteurs n'est fourni par le fabricant du limiteur de vitesse. Au cours de l'expérience, un accord a été trouvé avec IMITA afin qu'ils nous livrent le facteur correctif dépendant du véhicule. IMITA nous a fourni les données suivantes pour les 37 véhicules : pas de signal disponible pour 19 véhicules, un signal non fiable pour 5 véhicules et une valeur numérique pour les 13 autres. Il n'y a donc eu une valeur numérique disponible que pour environ un véhicule sur trois. Les 13 facteurs correctifs transmis ne présentaient que quatre valeurs différentes : 1 (9 fois), $\frac{1}{2}$ (2 fois), $\frac{1}{3}$ (1 fois), $\frac{1}{5}$ (1 fois). Le caractère "rond" de ces chiffres, vu la diversité des véhicules concernés, nous a laissé supposer que l'incertitude qui accompagne leur détermination est très élevée.

3.1.1.6 Efficacité & fiabilité

La nature et la qualité des données enregistrées ont posé plusieurs problèmes dans l'analyse et l'interprétation des données enregistrées pendant l'expérience ISA-Gent.

– *La mesure de la vitesse en dehors de la zone de la carte numérique*

Peu après le début de l'expérience, lors de l'analyse des premiers fichiers de données, il est apparu que la vitesse n'était pas correctement enregistrée dans les fichiers de type "_out.log", c'est-à-dire en dehors de la carte numérique. Après négociation avec les fournisseurs, une solution a été trouvée et la nouvelle version du logiciel d'acquisition des données de bord a été installée à la fin du mois de juin 2003, ce qui a prolongé de 8 mois la durée de l'expérience. La mesure de la vitesse dans la zone de la carte (fichiers "_in.log") n'a jamais présenté de problème connu à ce jour.

– *L'enregistrement de la VMA*

Ce n'est qu'après la fin de l'expérience, à l'heure des dépouillements, qu'un problème d'enregistrement de la valeur de la VMA dans les fichiers a été suspecté. Une majorité de véhicules, en effet, présentaient des temps anormaux de conduite dans des zones de VMA égale à 15 km/h (près de 50 % des distances et des temps totaux), alors que la plupart n'ont pas l'autorisation nécessaire pour y circuler. Comme par ailleurs, les journaux de bord des véhicules ne faisaient pas mention d'un nombre anormal de plaintes (écrites) des utilisateurs⁵⁰, nous supposons que la partie fonctionnelle d'ISA, de son côté, fonctionnait de manière normale. Interpellée à ce propos, la société IMITA nous a fourni l'explication suivante :

The problem was introduced at the implementation of the bounding box. Bounding box is a new technique which makes it possible to handle digital maps which normally are larger than the positioning system can handle. The principle was to create a box in the map with four corners of coordinates, and set a "standard" speed limit within this box. All roads with other speed limits within the box had to be marked in a normal way (with links, nodes etc). The standard speed limit in Ghent was 50 km/h.

When the navigator found the vehicle position within the bounding box, but not on a specific road, it presented the standard speed limit (50 km/h) to the driver through the force feedback pedal and the display. The logging mechanism unfortunately logged 15 km/h as speed limit, which was the core problem. Since the 15-zone is within the bounding box area it was not possible to distinguish between "true" 15-limits and "false" 15-limits without special knowledge of the map.

Une solution aurait été trouvée afin de corriger sans perte d'information les données enregistrées. Nous n'avons cependant aucun moyen de vérifier cette affirmation.

– *La détection de l'instant de déclenchement de l'interface sensitive (contre-pression)*

La connaissance précise de cet instant revêt une grande importance pour l'étude comportementale qui évaluera le limiteur de vitesse. Connaître le moment de déclenchement permet en effet d'étudier le profil de conduite avant et après l'instauration de la contre-pression et d'en déduire, notamment, l'effectivité de l'interface sensitive. Il semble, après discussion avec IMITA, que la raison de cette absence soit d'ordre technique, encore que ce point ne soit pas très clair. En effet, une variable de type binaire (O/1) suffirait amplement et ne prendrait qu'un espace mémoire supplémentaire minimal. Il nous paraît incompréhensible, alors que des caractéristiques du véhicule (régime, vitesse, course de la pédale) sont enregistrées, que l'information la plus fondamentale qui soit et qui concerne le limiteur proprement dit, ne puisse pas l'être.

– *La vitesse enregistrée ne correspond pas à la réalité vécue par le conducteur*

Vu l'absence, parmi les variables enregistrées, d'une valeur nous renseignant au cours du temps sur les interventions d'ISA (cf. ci-dessus), nous avons tenté de déduire cette information des mesures de la vitesse. Mais un autre problème s'est alors posé. Nous avons en effet vu (§ 2.3.7) qu'à Gand, deux sensibilités différentes de l'odomètre ont été utilisées pour les parties fonctionnelles (déclenchement de l'interface) et analytique (données enregistrées). La vitesse enregistrée est donc une quantité légèrement différente de la vitesse utilisée pour déclencher l'interface sensitive : elle provient également de la mesure de l'odomètre mais sans surestimation volontaire propre au véhicule et surtout avec un étalonnage régulier par rapport

⁵⁰ Une confusion aussi fréquente (et gênante) entre les limitations à 15 km/h (selon ISA) et 50 km/h (réalité) aurait été signalée par les participants.

au GPS, ce qui exclut une dérive importante dans le temps. Déterminer, sur base de cette dernière donnée, l'instant de déclenchement de la contre-pression se heurte à trois inconnues majeures :

- L'exactitude inconnue de la sensibilité fonctionnelle déterminée à 70 km/h compteur
- La dérive dans le temps de cette sensibilité (cf. pneus)
- L'écart entre vitesse réelle et vitesse compteur en fonction de la vitesse

Pour améliorer cette situation, le VITO, chargé de concevoir le logiciel de traitement des données enregistrées, a demandé à chaque conducteur de rouler durant 15 secondes à une vitesse TACHYMETRE constante et de répéter l'opération pour différentes valeurs remarquables (15,30,50,70,90 km/h). De l'analyse a posteriori des fichiers de données enregistrées, le VITO espérait déduire l'écart entre les vitesses compteur et réelle. En pratique, la vitesse enregistrée ne fut pas constante ce qui rendait impossible la détermination d'un écart fiable. La détermination indirecte de l'instant de déclenchement de la contre-pression sur la base de la vitesse enregistrée a donc dû être abandonnée.

- *L'évaluation dans le temps de la qualité de la localisation des véhicules sur la carte*

Cette évaluation implique différents acteurs:

- La constellation GPS et plus particulièrement sa visibilité en milieu urbain
- Le matériel utilisé (antenne, récepteur) – issu d'une production de grande série
- Le datum RT90, la projection plane et les transformations mathématiques correspondantes
- Le logiciel de corrélation cartographique
- Le logiciel de localisation à l'estime
- La carte proprement dite (continuité des segments, etc.)

La constellation GPS étant la clé de voûte technologique du limiteur de vitesse testé, il eut été intéressant d'évaluer au cours du temps la qualité de réception du signal. Plusieurs facteurs permettent d'évaluer cette qualité : ainsi le G.D.O.P.⁵¹ (géométrie de la constellation par rapport à l'utilisateur) multiplié par l'U.E.R.E.⁵² (incertitude de localisation) permet de calculer l'exactitude de la localisation, mais le nombre de satellites en vue donne également une indication. Aucune de ces données n'était disponible, ni aucune autre permettant d'évaluer cet aspect de manière directe. De manière indirecte, la seule possibilité envisagée est la quantification du nombre de transitions entre fichiers "_in.log" et "_out.log" d'un véhicule. Mais il ne faut pas oublier que les causes possibles d'une telle transition sont nombreuses et pas toutes imputables à une perte de la localisation : sortie de la carte, discontinuité ou segment de limitation 0 km/h dans la carte, perte du signal GPS, présence du signal GPS mais corrélation cartographique impossible, etc.

L'évaluation de la qualité des logiciels de corrélation cartographique et de localisation à l'estime ne peut être réalisée sur la base des données enregistrées. Le logiciel de corrélation cartographique fait appel à des techniques statistiques et de logique floue ("fuzzy logic").

La qualité de la carte et l'incertitude due au système de référence RT90 ont déjà été évalués dans les chapitres antérieurs.

3.1.2 Le déchargement de la mémoire

3.1.2.1 Caractéristiques

Chaque trimestre environ, vu sa capacité de stockage limitée, la mémoire de l'enregistreur doit être déchargée. Ceci se déroule en plusieurs étapes :

- Le véhicule se présente au centre de maintenance

⁵¹ Geometric Dilution Of Precision

⁵² User Equivalent Range Error

- Un ordinateur portable muni du logiciel ad hoc est connecté à l'unité de positionnement et commence automatiquement le déchargement des données. Dans l'expérience gantoise, cette opération durait de 2 à 5 minutes (avec un portable IBM ThinkPad 600E). Durant le déchargement, l'écran affiche, entre autres, la version de la carte, la version du logiciel et le message "Getting Log File".



Figure 28 : Le déchargement de la mémoire de l'enregistreur

Les données déchargées sont encore sous un format comprimé. A la fin de la journée ou lorsque le dernier véhicule est passé, les données sont alors décompressées ("Extracting Log Files") et, à la demande, gravées automatiquement sur un Cd Rom sous la forme de fichiers ZIP. Chaque nom de fichier ZIP a la structure suivante :

Plaque_N°logger_Version carte_YYMMDD_HHMM.zip

Exemple : AAA000_1109_Gent_1_8_0_031016_1259.zip

- AAA000 est la plaque minéralogique du véhicule
- 1109 est le N° d'identification de l'enregistreur embarqué (logger N°)
- Gent_1_8_0 est le N° de version de la carte
- 031016 est la date d'extraction des données du véhicule (16/10/2003)
- 1259 est l'heure d'extraction

Le fichier ZIP contient, outre la succession des fichiers "_in.log" et "_out.log", le fichier compilé de la version de la carte utilisée lors de l'enregistrement des fichiers ".log". Le nom de ce fichier compilé est le même que celui du ZIP mais avec une extension ".raw".

3.2 *Le traitement des données brutes*

3.2.1 Introduction

Nous avons vu que, par véhicule, chaque déchargement de la mémoire fournit un fichier ZIP contenant l'ensemble des fichiers ".log" de données. La taille de ceux-ci varie de quelques dizaines (une ligne de données) à plusieurs centaines de milliers de caractères selon le temps passé dans ou hors de la zone de la carte numérique sans interruption de l'acquisition dans ce fichier. Les données sont sauvées sous la forme d'un tableau à deux entrées avec l'instant de la mesure en abscisse et la grandeur en ordonnée.

Estimons la quantité totale de données récoltées au cours de l'expérience.

Chaque ligne de données occupe un espace mémoire de 50 à 60 caractères en moyenne selon la longueur des champs et leur type (`_in` ou `_out`). Prenons 55 caractères / ligne. Après décompression du fichier ZIP contenant les données correspondant à quatre mois d'enregistrement, la taille totale des fichiers représente environ 60 MB par véhicule, soit un peu plus d'un million de lignes de données. Sur une base de 14 mois (d'octobre 2002 à décembre 2003), nous avons donc 210 MB ou 3,5 millions de lignes par véhicule. Pour les 37 véhicules de l'expérience, nous pouvons supposer que le nombre total de lignes de données s'élèvera à plus de 120 millions, l'équivalent d'un fichier de 5 à 10 GB.

Mais analyser les données enregistrées par le véhicule seul ne suffit pas : une corrélation avec le conducteur (âge, sexe, etc.) et le véhicule (taille, puissance, motorisation, etc.) devait également être établie. Comme de nombreux véhicules de l'expérience possédaient plusieurs conducteurs potentiels, des carnets ont été placés à bord de chaque véhicule afin que le conducteur puisse s'identifier et noter la date et la plage horaire d'utilisation. De cette façon, un appariement a posteriori entre les données enregistrées, les carnets de bord et les données statiques (caractéristiques de tous les conducteurs et des véhicules) a pu être réalisé. L'analyse d'une telle quantité de données demandait donc un outil taillé sur mesure.

3.2.2 Approches possibles

Lorsque l'identité du conducteur a pu être attribuée à chaque ligne de données de chaque véhicule, la seconde étape est le regroupement des données pour permettre leur analyse. Ce rassemblement peut se faire soit sur une base temporelle, soit sur une base spatiale.

3.2.2.1 Base temporelle

L'unité de regroupement choisie est le trajet. Un trajet d'un véhicule donné est un ensemble de fichiers de données ("`In`" et "`Out`") au sein duquel aucune discontinuité temporelle n'est supérieure à 3 minutes (valeur arbitraire). Ceci implique que deux trajets d'un même véhicule sont nécessairement séparés par une discontinuité supérieure à 3 minutes. L'ensemble des lignes de données de chaque véhicule doit donc être divisé en trajets.

3.2.2.2 Base spatiale

L'unité de regroupement choisie est le tronçon. Un tronçon est une petite portion du territoire, généralement située à l'intérieur de la carte numérique, contenant un élément remarquable de l'infrastructure routière : un morceau de route, un carrefour, un rond-point, etc. Parmi les lignes de données, il faut identifier toutes les lignes dont la localisation (X,Y) se trouve à l'intérieur des tronçons remarquables.

Quel que soit le mode de regroupement choisi, un ensemble de grandeurs secondaires d'analyse peut être déduit de chaque trajet ou tronçon pour caractériser

- Le trajet ou le tronçon proprement dit
- Le comportement du conducteur
- Le fonctionnement du limiteur
- L'utilisation volontaire du limiteur en dehors de la carte numérique (trajet uniquement)

Une manière de décrire les deux approches est la suivante : l'analyse par trajet donne des résultats globaux alors que l'analyse par tronçon est plus locale. En effet, un trajet n'est limité ni dans sa durée ni sur la distance parcourue, ce qui implique un mélange de presque toutes les conditions possibles en terme de trafic, de climat, d'infrastructure, etc. Si la division du trajet en sous-entités (les zones de VMA différentes) permet d'affiner l'analyse, il reste malgré tout que l'approche temporelle donne des résultats dans lesquels de nombreux facteurs d'influence se mêlent, sans pouvoir pondérer la part respective de chacun. L'avantage de cette méthode est qu'elle s'appuie sur une quantité de données importante, ce qui permet de dégager des moyennes globales et de relativiser l'influence d'événements exceptionnels. Au contraire du trajet, le tronçon est limité dans l'espace (sa longueur) et, dans une moindre mesure, dans le temps, qui peut varier notamment avec les conditions de circulation. Par rapport à l'analyse par trajet, ceci permet de s'affranchir de la variation de l'infrastructure, mais pas des conditions climatiques ni de la circulation. Un choix judicieux de la localisation peut cependant permettre de minimiser l'influence de la congestion du trafic (véhicules à l'arrêt dans les bouchons), au risque que le nombre de passages d'un véhicule donné par un tronçon ne devienne trop faible que pour en déduire une analyse statistique.

Conclusion : les deux approches sont complémentaires.

L'approche choisie pour ISA-Gent a d'abord été celle du trajet. Il est ensuite apparu que plusieurs expériences similaires à ISA-Gent (au sein du projet Prosper) avaient utilisé la seconde approche. La mise en œuvre de l'approche spatiale, en plus de la première, a alors été envisagée à un stade avancé du projet mais s'est heurtée à un problème technique : la détermination en coordonnées suédoises RT90 de la position des lieux remarquables. L'écueil technique s'est mué, par manque de temps, en problème financier et l'approche par tronçon n'a finalement pas été mise en œuvre.

3.2.3 L'outil développé en langage SQL

Fabricant : VITO

Version/Type : Programme sur mesure développé en SQL Server 2000, VB et Excel

3.2.3.1 Caractéristiques

L'importation des données des fichiers "_In.log" et "_Out.log" a été réalisée à l'aide d'un programme écrit en Visual Basic. Dans la base SQL, chaque véhicule possède son propre ensemble de tables identiques appelé "file group". Il y a lieu de distinguer deux types de tables : celles contenant les données statiques (indépendantes du déplacement des véhicules - caractéristiques des véhicules et des conducteurs) et celles contenant les données dynamiques (dépendantes du déplacement). Parmi les tables contenant les données dynamiques, une nouvelle distinction doit être faite entre la table contenant toutes les lignes de données (elle contient alors un enregistrement par ligne) et les tables contenant les grandeurs relatives à un trajet qui contiennent chacune un enregistrement par trajet. Comme un trajet est déterminé de manière univoque par un ensemble de lignes de données, il existe un lien surjectif ("one to many") entre un enregistrement relatif à un trajet et tous les enregistrements relatifs aux lignes de données correspondantes.

En annexe N°2 se trouve la structure de la base SQL avec une représentation schématique des liens entre les tables : la table "vwCarGen" est celle qui contient un enregistrement ("record") par ligne de données importées. De nombreuses autres tables définies au niveau du trajet gravitent autour de celle-ci. Elles ont un point commun : elles contiennent un ensemble de deux champs ("fields") de données constituant la clé unique entre le trajet et les lignes de données

correspondantes : le N° de trajet "Rideld" et le N° du véhicule "Carld". Les autres tables contiennent des données de type statique.

Le schéma de principe de l'outil développé par le VITO est présenté ci-dessous :

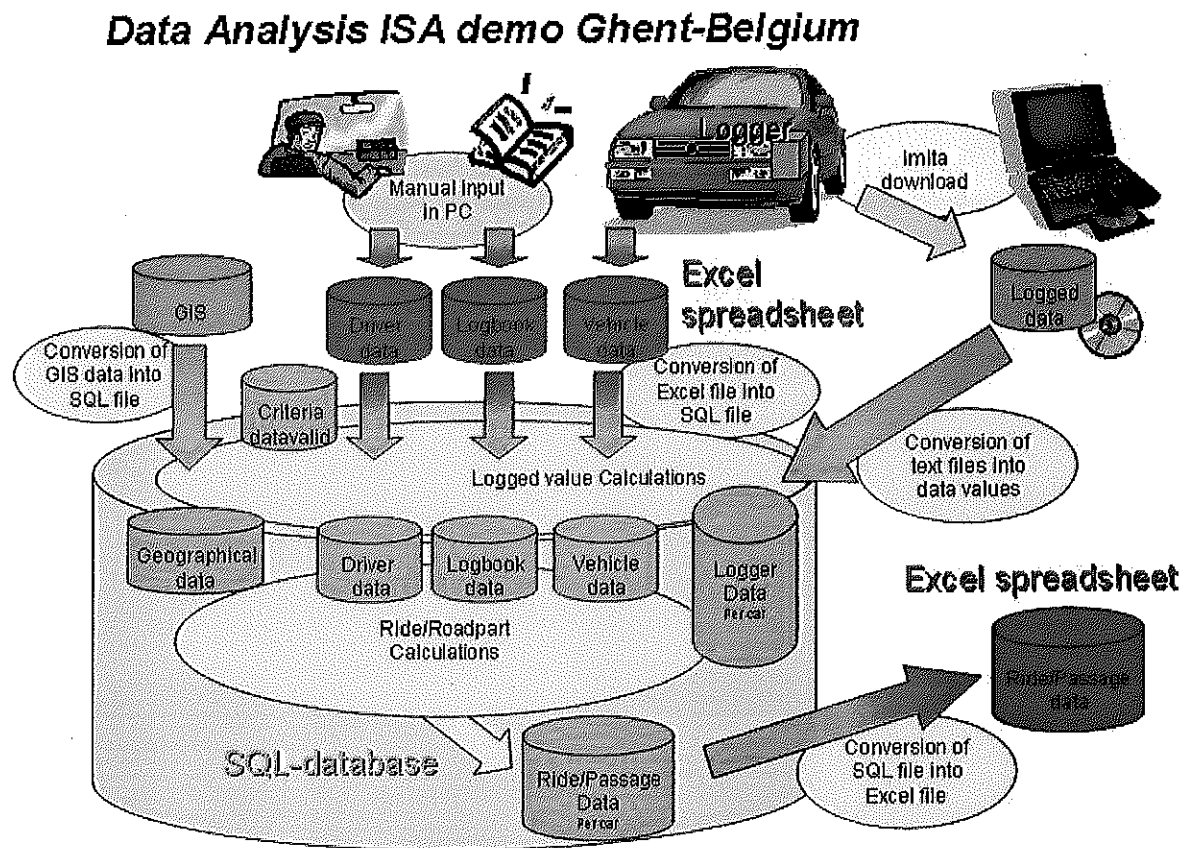


Figure 29 : L'outil informatique d'analyse des données (source : VITO)

- Les tables contenant les données statiques sont "Driver data" et "Vehicle data"
- La table "Logbook data" contient les données du carnet de bord de chaque véhicule
- La table "Logger data" contient les données enregistrées par le véhicule. La fusion de ces deux tables permet d'attribuer un conducteur à chaque ligne de données.
- Les grandeurs dérivées des trajets sont stockées dans la table "Ride/Passage data" et ensuite exportées dans un tableur (Excel).
- Les flèches entrant dans la base SQL (le plus grand cylindre) sont des outils écrits en langage Visual Basic d'importation de données extérieures
- Dans le coin supérieur gauche se trouvent les flux nécessaires à la mise en œuvre parallèle de l'approche par tronçons. Comme mentionné ci-dessus, cette approche n'a finalement pas été réalisée.

3.2.3.2 Limitations

La base de données SQL est un outil informatique puissant. La taille de l'application développée pour ISA-Gent (plus de 100 millions d'enregistrements) ne constitue pas un problème en soi. Par contre, le temps nécessaire pour calculer les dizaines de grandeurs dérivées de chaque trajet était tel qu'il a exclu une solution technique possible (les fonctions utilisateurs ou "User Defined Functions") et imposé un mode de calcul différé ("batch"). Grâce à ces aménagements, le temps de calcul a pu être ramené à quelques dizaines d'heures effectuées automatiquement la nuit et les WE.

3.2.4 L'interprétation des indicateurs obtenus

3.2.4.1 Caractéristiques

Parmi les quatre types de grandeurs dérivées des données relatives aux trajets, un seul concerne l'évaluation technique du matériel : l'évaluation de la fonctionnalité du limiteur de vitesse. Nous avons vu plus haut que cette estimation est très difficile par manque de données liées au fonctionnement du limiteur : l'instant de déclenchement de l'interface sensitive, la qualité de la localisation, etc. Nous avons néanmoins suggéré le calcul, par trajet, de deux grandeurs pouvant apporter une indication quant à la qualité du matériel dans deux domaines :

a. Les pertes du signal GPS

La variable *NumNoLog* compte, lors de la chronologie du trajet, le nombre de transitions entre un fichier de type "*_in.log*" en un fichier "*_out.log*". Nous espérons en déduire une indication de la qualité du positionnement au sens large. Pour rappel, les causes de création d'un fichier "*_out.log*" sont multiples : une simple sortie de la zone de la carte (normale), la perte du signal GPS (ce que nous voudrions détecter), un problème du logiciel de corrélation cartographique, un trou ou un segment de vitesse nulle dans la carte.

Résultats : après analyse des données correspondant à 3 mois d'enregistrement (octobre 2002 à janvier 2003) pour un tiers des véhicules de l'expérience, nous avons calculé, par véhicule, la moyenne des valeurs *NumNoLog* de tous les trajets de ce véhicule. 80 % des véhicules ont obtenu une valeur moyenne comprise dans l'intervalle [0,5-2], ce qui donne en moyenne pour tous les véhicules une transition vers un fichier "*_out.log*" par trajet. Vu l'exiguïté de la zone couverte par la carte numérique, la majorité des trajets comportent une fraction située en dehors de celle-ci. Nous ne pouvons par conséquent rien déduire de nos observations concernant les pertes du signal GPS : la transition par trajet observée en moyenne peut tout aussi bien provenir d'une sortie de la carte numérique que d'une perte de signal.

b. La stabilité de la VMA à la frontière entre deux zones

La variable *SpeedLimitStab* compte le nombre de changements de VMA d'une durée inférieure à deux secondes par trajet. Ceci évalue la stabilité de la transition entre deux zones présentant des limitations de vitesse différentes. Une telle instabilité peut avoir a priori deux causes : soit l'incertitude de la localisation qui induit en erreur l'unité de positionnement à l'approche de la frontière, soit une séparation incorrecte (recouvrement) de segments de limitations de vitesse différentes au niveau de la carte numérique. N'étant pas gestionnaire de la carte numérique, il ne nous est pas possible de distinguer la part de chacune.

Résultats (basés sur les mêmes données qu'au point précédent) : en moyenne, chaque trajet de chaque véhicule analysé comporte 7,5 variations de la VMA d'une durée inférieure à deux secondes. Comme dans le même temps, le nombre moyen de changements de zones de limitations de vitesse différentes valait 2,5, nous en déduisons que potentiellement, chaque transition réelle s'accompagne de deux "ratés". Exemple typique de transition moyenne entre zones 50 et 70 : 50...50-70-50-50-70-50-70-70...70...

Comme précisé ci-dessus, et vu les niveaux de dispersion des données, cette information est de nature qualitative et non quantitative. Elle démontre que, globalement, la donnée VMA ne varie pas de manière franche (stable) à la frontière entre deux zones.

3.2.4.2 Limitations

H. Bratt et E. Ericsson [16] ont montré que les profils de vitesse de véhicules enregistrés à l'aide d'équipements similaires à ceux utilisés dans l'expérience ISA-Gent ne peuvent être utilisés tels quels. Ils sont effet porteurs d'un "bruit" qui pollue le signal et doit être éliminé à l'aide d'une méthode statistique de lissage de la courbe [16,17]. De plus, les grandeurs dérivées de telles

courbes (accélération, consommation de carburant, etc.) sont fort sensibles à la fréquence de mesure : une fréquence basse filtre en effet les valeurs les plus élevées des accélérations (positives et négatives) et sous-évalue la fréquence des vitesses les plus basses. Ce fait pourrait compliquer la comparaison de certaines grandeurs dans et en dehors de la carte numérique où les fréquences de mesure sont respectivement de 5 et 1 Hz. Par contre, le nombre d'impulsions émises par l'odomètre par révolution de l'axe n'est pas apparu comme un facteur d'influence décisif.

Bratt et Ericsson basent leurs affirmations sur des mesures effectuées avec un odomètre étalonné par rapport à une distance fixe. Dans l'expérience ISA-Gent, les données enregistrées étaient étalonnées par rapport à la vitesse GSP de manière régulière. Il n'est pas possible de déterminer a priori lequel des deux étalonnages délivre l'incertitude la plus élevée, d'autant plus que l'incertitude de l'étalonnage par rapport au GPS dépend de la vitesse du véhicule.

L'étude d'un profil de vitesse sélectionné au hasard parmi les données enregistrées à Gand a confirmé les conclusions de l'article : le calcul de l'accélération affiche des pics de 20 m/s^2 , valeur impossible pour un véhicule (cf. figure ci-dessous).

Conclusion : Un lissage du signal de la vitesse s'impose.

$$\text{Fonction de lissage proposée : } V_n = \frac{0,5 * V_{n-2} + 0,75 * V_{n-1} + V_n + 0,75 * V_{n+1} + 0,5 * V_{n+2}}{3,5}$$

Une telle fonction ne modifie ni la moyenne, ni l'écart type d'un grand nombre de mesures.

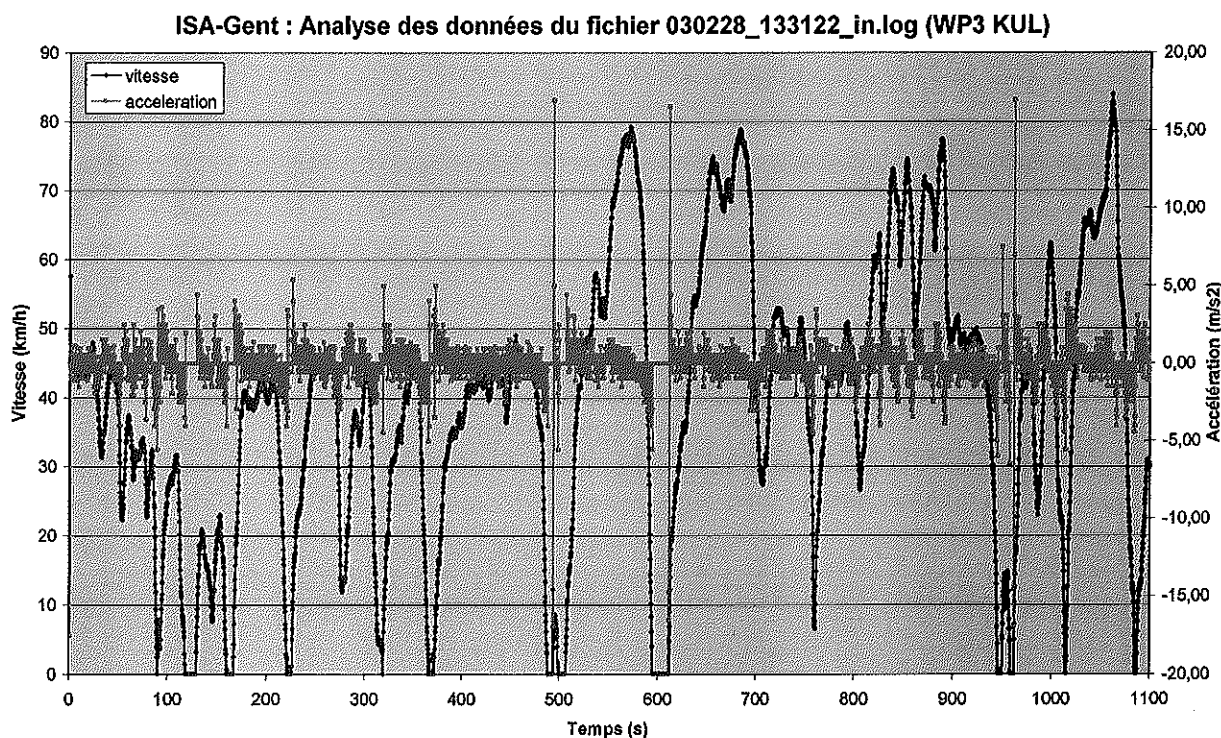


Figure 30 : Profils de vitesse et d'accélération SANS LISSAGE

ISA-Gent : Analyse des données du fichier 030228_133122_in.log (KUL) - FILTRE

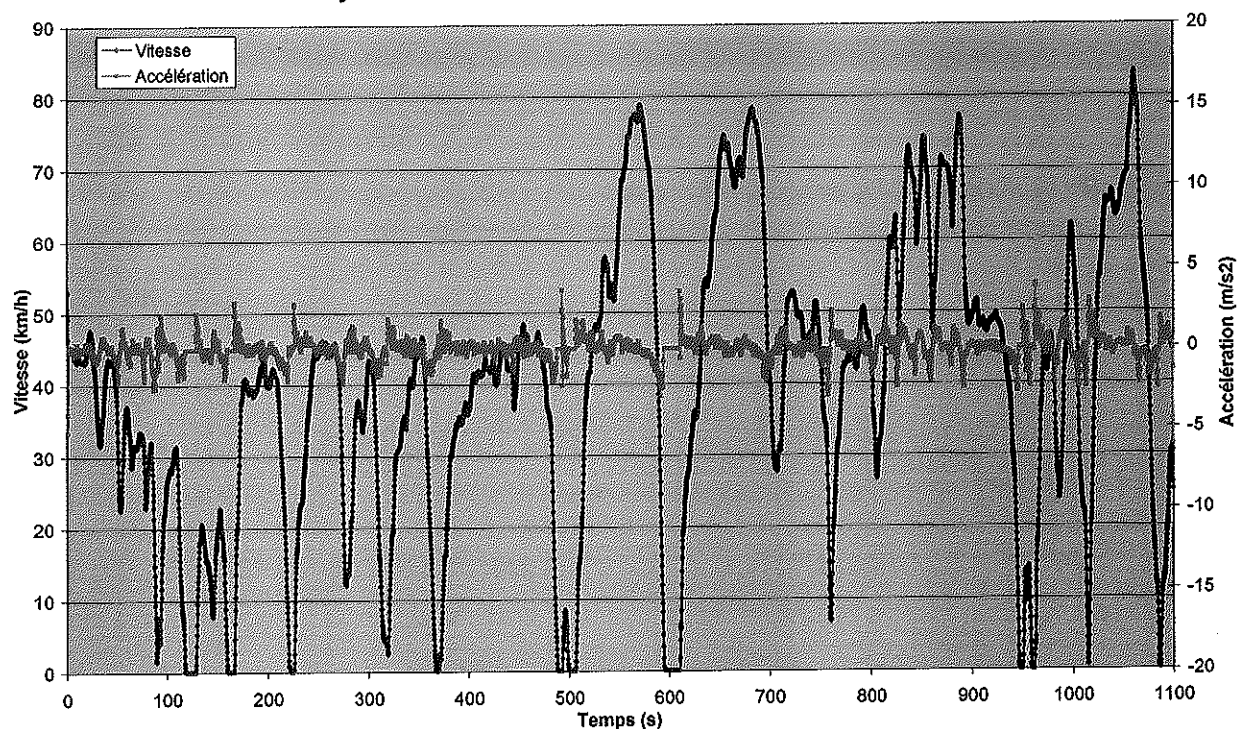


Figure 31 : Profils de vitesse et d'accélération AVEC LISSAGE

Observations : Le graphique de la figure N°29 montre que les pics d'accélération sont ramenés à des valeurs réalistes ($< 5 \text{ m/s}^2$) sans une modification apparente du profil de la vitesse. Ce filtre a donc été appliqué à la totalité des données enregistrées par le VITO.

PARTIE IV : ASPECTS REGLEMENTAIRES

4.1 Agréation par type

4.1.1 Introduction

La directive du Conseil de l'Europe du 6 février 1970 et ses nombreux amendements, définissent l'ensemble des critères techniques d'agréation par type⁵³ auxquels doivent obligatoirement répondre tous les véhicules à moteur et leurs remorques mis en circulation dans la CEE. Plus précisément, l'annexe IV de la directive contient une liste de directives particulières précisant les exigences techniques auxquelles les véhicules doivent satisfaire.

La liste compte à ce jour plus de 50 directives particulières dont la plupart ont été amendées afin de tenir compte du progrès technique. Selon la technologie envisagée, plusieurs d'entre elles peuvent potentiellement s'appliquer à un limiteur de vitesse intelligent installé d'origine par le constructeur du véhicule :

- **72/245/CE** modifiée par la directive **95/54/CE** de la Commission concernant les parasites radioélectriques (compatibilité électromagnétique) produits par les véhicules à moteur. Elle s'applique à toutes les catégories de véhicules à moteur.
- **92/24/CEE** relative aux "*dispositifs limiteurs de vitesse ou à des systèmes de limitation de vitesse similaires montés sur certaines catégories de véhicules à moteur*". Cette directive ne s'applique qu'aux véhicules des catégories M3, N2, N3 et, depuis peu M2. Pour rappel, il s'agit des véhicules conçus et construits pour le transport de passagers comportant, outre le siège du conducteur, plus de huit places assises (M2 et M3) et ceux destinés au transport de marchandises de plus de 3,5 t (N2 et N3).
- **70/220/CEE, 72/306/CEE, 80/1268/CEE, 80/1269/CEE et 88/77/CEE** et les directives modifiant celles-ci, relatives aux émissions polluantes des véhicules, la consommation de carburant et la puissance du moteur.
- **98/12/CEE** relative au freinage (remplace la 71/320/CEE)

Dans le cas d'un dispositif ISA installé par un transformateur dans un véhicule déjà en circulation, les dispositions de l'article 13 de l'arrêté royal belge du 16 mars 1968 relatif aux modifications et transformations des véhicules sont en principe d'application. Celui-ci prévoit, lorsque la modification apportée est telle que le véhicule ne satisfait plus à son procès-verbal d'agréation, la demande d'une dérogation (de préférence avec l'accord du constructeur) au Ministre des Communications ou son délégué.

La question de savoir si l'installation du dispositif ISA est une transformation modifiant ou non le procès-verbal d'agréation n'est pas tranchée et la réponse dépendra probablement du degré d'interférence entre ISA et le fonctionnement du véhicule (cf. ISA fermé). Si la réponse est positive, il reste à obtenir un accord des autorités belges compétentes et, si possible, du constructeur. En général, les constructeurs n'apprécient guère que l'on modifie leurs produits et la probabilité qu'une demande de dérogation trouve un écho favorable de ce côté est minime.

Les véhicules participant à l'expérience ISA-Gent appartiennent aux catégories M1 (voitures – la majorité), N1 (une camionnette) et M3 (trois autobus).

4.1.2 La compatibilité électromagnétique

La directive 95/54/CE s'applique de manière obligatoire aux nouveaux

- types de véhicules,
- types de composants,

⁵³ "réception par type" en France, "type approval" au Royaume-Uni, etc.

- types d'entités techniques séparés destinés à être installés dans les véhicules à moteur, mis sur le marché de l'E.E.E. après le 1/1/1996. Le *Limit Advisor M2002* doit donc respecter les dispositions de cette directive.

Deux versions du limiteur de vitesse développé par IMITA ont été soumis aux tests décrits dans les annexes VII, VIII et IX de la directive :

- Annexe VII : Méthode de mesure des perturbations électromagnétiques en bande large rayonnées par les sous-ensembles électriques/électroniques
- Annexe VIII : Méthode de mesure des perturbations électromagnétiques en bande étroite rayonnées par les sous-ensembles électriques/électroniques
- Annexe IX : Méthode d'essai d'immunité des sous-ensembles électriques/électroniques aux rayonnements électromagnétiques.

Ces deux versions sont d'une part le *NomixMAC* testé le 21/8/2000 et d'autre part le *Limit Advisor M2002* testé le 5/2/2003. Dans les deux cas, les essais ont été réalisés par l'Institut suédois de recherche et d'essais⁵⁴ (SP en abrégé).

Remarque : les essais décrits ci-dessus ne constituent qu'une partie des exigences techniques de la directive. D'autres tests (cf. annexe VI) évaluent en effet les effets sur le véhicule des perturbations engendrées par les composants. Le limiteur de vitesse d'IMITA pouvant être potentiellement monté sur tout véhicule, il n'était pas possible de vérifier la compatibilité EMC de celui-ci avec tous les véhicules du marché. Pour cette raison, seules les annexes concernant les perturbations électromagnétiques émises ou reçues par le limiteur proprement dit indépendamment du véhicule ont été prises en considération.

Les annexes 7 et 8 sont regroupées sous le vocable "Emission de radiations".

1. L'émission de radiations électromagnétiques

Le *NomixMAC* et le *Limit Advisor M2002* sont restés en-dessous des prescriptions légales de la directive 95/54/CE, tant en bande étroite qu'en bande large. Le graphique représentant les mesures des radiations émises par le *Limit Advisor M2002* se trouve en annexe 3.

2. L'immunité aux champs électromagnétiques émis par une source extérieure

En 2000, le *NomixMAC* a échoué à ce test. En effet, sur deux plages de fréquences des ondes émises (85-100 et 990-1000 MHz) avec une intensité du champ de 30 V/m, le servomoteur a relâché la pièce simulant le papillon des gaz.

En 2003, le *Limit Advisor M2002* a satisfait entièrement au test d'immunité.

4.1.3 La directive particulière 92/24/CEE sur les limiteurs de vitesse

Le paragraphe 2 de l'annexe 1 précise plusieurs notions importantes :

- Dispositif limiteur de vitesse : *un dispositif dont la fonction essentielle est de réguler l'alimentation du moteur en carburant, afin de limiter la vitesse du véhicule à la valeur prescrite*
- La vitesse limitée est *"la vitesse maximale du véhicule telle que ni sa conception ni son équipement ne lui permettent de réagir à une pression franche sur la commande d'accélérateur"*

Parmi les prescriptions, le paragraphe 7.1.2.1 précise que *"La limite fixée ne doit, en aucun cas, pouvoir être augmentée ou annulée sur des véhicules en service, que ce soit de manière provisoire ou permanente."* D'autres exigences techniques, l'inviolabilité notamment, sont également précisées au même paragraphe.

⁵⁴ Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

La constance spatiale et temporelle de la limitation de vitesse imposée par la directive 92/24/CEE est en contradiction avec la définition d'un limiteur de vitesse intelligent puisque dans ce cas, la limitation varie selon le lieu. Stricto sensu, les dispositifs ISA répondant à la définition donnée dans l'introduction ne seraient donc pas soumis aux exigences des directives 92/24/CEE et 92/6/CEE. Dans la réalité, cependant, une lecture plus souple de la règle pourrait s'appliquer à des dispositifs ISA fermés dans lesquels plusieurs limitations de vitesse (une par zone) seraient imposées au conducteur.

4.1.4 Les autres directives particulières

Les directives 70/220/CEE, 72/306/CEE, 80/1268/CEE, 80/1269/CEE et 88/77/CEE et leurs modifications, relatives aux émissions polluantes des véhicules, la consommation de carburant et la puissance du moteur pourraient s'appliquer à des limiteurs de vitesse interagissant avec l'injection⁵⁵ de carburant dans le moteur. De même, la directive 98/12/CEE, relative au freinage des véhicules, serait d'application dès lors que le limiteur ISA agit sur le circuit de freinage du véhicule pour l'obliger à ralentir (voir § 5.3).

Qu'il s'agisse d'une action sur le moteur ou les freins, cela suppose une interaction forte avec le véhicule et donc, une version fermée ou éventuellement semi-ouverte du limiteur. L'installation d'un tel système soulève cependant des questions techniques (sécurité, fiabilité), juridiques (responsabilité en cas de défaillance) et psychologiques (acceptation, confiance).

⁵⁵ Voir les paragraphes 5.2 et 5.3

PARTIE V : EVALUATION TECHNIQUE D'AUTRES PROJETS

5.1 Suède⁵⁶ (1999 – 2001)

5.1.1 Introduction

Sous l'impulsion du ministère suédois de l'infrastructure routière⁵⁷, un test à grande échelle de plusieurs équipements de type ISA a été réalisé entre 1999 et 2002. Au total, près de 5000 véhicules équipés de trois types de dispositifs ISA distincts ont participé à cette expérience dans quatre villes suédoises : Lund, Umeå, Lidköping et Börlange.

Ville	Véhicules	Type	Affichage limite	Localisation	Enregistrement données	Données dynamiques
Lund	290	Semi-ouvert	Oui	GPS	Oui	Non
Lidköping	130	Semi-ouvert	Oui	GPS	Non	Non
	150	Ouvert	Oui	GPS	Non	Non
Börlange	400	Ouvert	Oui	GPS	Oui	Oui (GSM)
Umeå	4000	Ouvert	Non	Balises	Non	Non

Quatre-cent vingt véhicules étaient donc équipés d'une version antérieure du *Limit Advisor* (290 à Lund, 130 à Lidköping).

5.1.2 Evaluation technique

D'après les utilisateurs, parmi tous les dispositifs ISA testés, le *Limit Advisor* est celui qui a été la source du plus grand nombre de problème. Il s'agit en effet probablement du système le plus "intrusif" par rapport au véhicule hôte et le plus complexe sur le plan mécanique. Le reproche le plus fréquent fait au *Limit Advisor* était son insensibilité. En effet, comme nous l'avons vu au § 2.4.3.2, l'interruption du câble accélérateur a induit entre le mouvement de la pédale et la réaction du papillon des gaz (moteur) un délai qui rendait les manipulations de l'embrayages désagréables. Il est de plus probable que certains mouvements de faible amplitude de la pédale n'étaient pas transmis (en tout ou en partie) au moteur, d'où le grief adressé par une majorité de conducteurs. Tous les utilisateurs du *Limit Advisor* ont, de leur propre initiative, ramené leur véhicule au garage au moins une fois pour faire régler le dispositif. A Börlange, les principaux problèmes rencontrés ont été la mise à jour des cartes numériques et le transfert d'informations (carte numérique et données enregistrées) par GSM. Selon [18], le GSM n'a pas permis d'atteindre tous les véhicules en temps voulu d'où une technologie permettant une diffusion plus large⁵⁸ devrait être envisagée. A Umeå, où la cible d'origine était d'installer le système dans 10.000 véhicules, des problèmes financiers, logistiques et techniques ont ramené ce nombre à 4000 environ. Parmi les problèmes techniques, pointons la compatibilité avec un nombre réduit de véhicules et des interférences magnétiques entre le véhicule et la boussole embarquée. L'outil d'analyse des données enregistrées a été développé par une firme de consultance externe (Columna AB). Il intègre une analyse par tronçons ou ponctuelle, une évaluation des émissions polluantes, les vitesses moyennes, l'indicateur V85 (85 % des observations respectant la limitation), etc. Le programme est utilisé par l'université de Lund.

Une des caractéristiques de l'expérience suédoise est le manque de mise au point du matériel testé, d'où le grand nombre de problèmes techniques rencontrés. Ceci peut s'expliquer par l'absence, sur le marché, de la technologie souhaitée (au budget souhaité) et/ou par la volonté de développer une solution technique originale. La Suède a fait en la matière œuvre de pionnière.

⁵⁶ selon le rapport [1]

⁵⁷ Swedish National Road Administration (SNRA)

⁵⁸ Digital Audio Broadcast, par exemple.

5.2 Pays-Bas: ISA-Tilburg⁵⁹ (1999-2000)

5.2.1 Introduction

Sous l'impulsion du ministère néerlandais des routes et des voies navigables, vingt véhicules et un autobus ont été équipés d'un dispositif ISA de type fermé (un limiteur de vitesse au sens littéral du terme) durant un an. La localisation du véhicule faisait appel à la technologie GPS différentielle couplée à une carte numérique embarquée de type statique. Un module de communication GSM était prévu afin de transmettre quotidiennement à une centrale les données enregistrées ainsi que les messages d'erreurs éventuels générés par le dispositif. La zone couverte par la carte numérique se limitait à la région de Tilburg.

5.2.2 Evaluation technique

L'utilisation de la technologie GPS différentielle donne une incertitude de positionnement de 1 à 2 m (10 fois plus en mode absolu) lorsque la réception du signal GPS (onde électromagnétique) et de la correction différentielle (signal radio FM) est bonne. Le taux de disponibilité a été évalué à 70 % pour le premier et 90 % pour le second (moyenne en temps des 20 véhicules). Lors de la mise en marche du véhicule, le positionnement était inopérant durant plusieurs dizaines de secondes. Des problèmes de réception répétés du signal GPS se sont manifestés, particulièrement sur un axe arboré. L'utilisation complémentaire d'un logiciel de localisation à l'estime ("dead reckoning") couplé aux instruments de mesure ad hoc est donc à conseiller afin de pallier les faiblesses du système GPS dans les zones de réception médiocre du signal.

Le terme "carte numérique" est ici pris au sens large : l'unité de base pour la définition d'une VMA n'est pas, comme à Gand, le segment mais des secteurs de forme rectangulaire. Si cette approche peut se révéler suffisante pour une petite étendue, l'utilisation d'une carte de résolution plus faible (dont l'unité est le segment) semble plus appropriée dans l'hypothèse d'une expérience à plus grande échelle. Le cerveau de cette installation était constitué par un produit de grande série du fabricant Trimble, le *CrossCheck XRGSM*. Aucune panne n'est à déplorer de ce côté. Cet appareil a joué plusieurs rôles : récepteur GPS, acquisition de données ("data logger"), stockage des fichiers de configuration de la carte numérique, etc. L'utilisation, contrairement à Gand, d'un produit commercialisé offre plusieurs avantages :

- des garanties en terme de bon fonctionnement et de qualité des grandeurs enregistrées
- la possibilité d'évaluer de manière indirecte la qualité de la réception GPS dans le temps
- l'enregistrement de la position dans un système de coordonnées normalisé

Dans le cas du *CrossCheck*, la modification à distance (GSM) des paramètres et des données de la carte numérique était possible et a été testée une fois. Celle-ci devait se faire de manière contrôlée (véhicule à l'arrêt) pour garantir la réussite de l'opération. Le test fut fructueux mais a conclu sur la nécessité de prévoir un outil informatique adapté aux modifications de la carte. Il n'est pas possible de conclure sur la qualité des transmissions GSM sur la base d'un test isolé. Par contre, malgré l'exiguïté de la superficie testée, la capacité (mémoire) maximale du *CrossCheck* a dû être utilisée. Un test sur une portion plus importante de territoire devrait donc faire appel à un outil plus adapté.

Le modem Falcom A2 utilisé pour les communications GSM entre les véhicules et la centrale n'a pas donné satisfaction et a dû être remplacé par le modèle A1 du même fabricant. A part cela, la communication des données par GSM s'est révélée satisfaisante.

Le limiteur proprement dit est un produit de grande série limitant strictement la vitesse des poids lourds (diesel) à une vitesse de 85 km/h. Le fournisseur a modifié l'unité de contrôle afin d'accepter 4 limitations de vitesse (18, 30, 50 et 80 km/h) et un mode désactivé correspondant à l'extérieur de la carte numérique. Parmi les problèmes rencontrés, mentionnons plusieurs pannes parmi les servomoteurs (sensibilité aux vibrations du moteur et températures élevées), le temps, les

⁵⁹ résultats issus du rapport [2] et de l'article [25]

réglages et l'espace requis lors de l'installation. L'interaction du limiteur avec le véhicule a également soulevé des questions. Lorsque la vitesse de consigne est atteinte, le conducteur peut continuer à enfoncer la pédale sans réaction du véhicule à sa sollicitation. Cet état est potentiellement dangereux car il désensibilise (momentanément) le conducteur. Si pendant cet état, le véhicule entre dans une zone de vitesse plus élevée, il va en résulter une accélération brusque du véhicule dépendant de la position de la pédale, de la puissance du moteur, etc. Cette mésaventure est survenue à des conducteurs se trouvant sur un parking (limité à 18 km/h) qui au cours de leurs manœuvres, ont vu subitement la limitation passer à 30 ou 50 km/h et leurs véhicules faire un bond en avant. Ce changement de zone était dû à une erreur de positionnement (confusion avec un segment voisin, malgré la correction différentielle) ou une donnée incorrecte de la carte numérique. En conséquence, les zones 18 km/h ont été supprimées. Une solution plus générale serait de permettre, en cas de changement de la VMA vers une valeur plus élevée, une transition progressive vers la nouvelle vitesse correspondant à la position de la pédale. Lors des transitions de l'extérieur de la carte vers l'intérieur de celle-ci, une réaction parfois brusque du limiteur s'est faite sentir lorsque la vitesse était supérieure à la consigne. L'attribution fictive d'une limitation de 200 km/h à la zone située en dehors de la carte eut peut-être permis de résoudre ce problème.

Remarque : tout comme la version du *Limit Advisor* utilisée en Suède et munie d'une fonction de régulation de vitesse, le limiteur testé à Tilburg requiert la présence d'un papillon des gaz à commande mécanique. Ceci explique que les véhicules choisis pour l'expérience (20 VW Bora 1,6 SR) étaient munis de moteurs à essence car les nouvelles générations de moteurs diesel VW utilisent la technologie "E-gas" (papillon des gaz à commande électronique). La même remarque vaut donc dans ce cas : un nombre croissant de véhicules ne peuvent plus être équipés d'un tel système "universel".

5.3 Royaume-Uni⁶⁰: External Vehicle Speed Control (1997-2000)

5.3.1 Introduction

Ce projet est le fruit de la collaboration entre l'institut de recherche sur le transport de l'université de Leeds et le MIRA (Motor Industry Research Association). Débuté à un stade précoce de l'évaluation des systèmes ISA, ce projet a étudié de manière succincte de nombreux aspects de la question. Mentionnons à titre d'exemple un relevé comparatif des technologies disponibles (transpondeurs fixes-GPS pour la localisation, UMTS-DBA pour les cartes dynamiques, etc.) et une évaluation de plusieurs catégories de systèmes ISA (ouvert, semi-ouvert, fermé) sur un véhicule et en simulateur. L'impact de ces derniers sur le comportement des usagers, le trafic (modélisation), le nombre d'accident, les coûts de mise en œuvre, les émissions polluantes, les aspects juridiques, etc. sont également passés en revue.

5.3.2 Evaluation technique

Aucun problème majeur ne semble s'être manifesté avec le matériel testé. L'outil de localisation utilisant le GPS différentiel a donné entière satisfaction. Il est vrai que l'échantillon testé était assez restreint : un seul véhicule ayant effectué 72 trajets sur un même tronçon de 42 miles effectué par 24 conducteurs. Deux limiteurs ont été successivement testés : une version semi-ouverte équipée de trois dispositifs⁶¹ de retard d'allumage (bougies), de contrôle de l'injection et de ralentissement actif (angl. active braking, max. 0,2 g) du véhicule et une version fermée agissant par coupure de l'injection. Dans les deux cas, le conducteur était averti de tout excès de vitesse. Dans la version semi-ouverte, il avait le choix d'activer la limitation de vitesse par une pression sur un bouton ou de la refuser. Dans la version fermée, elle lui était imposée.

⁶⁰ résultats issus des rapports [21] et [22]

⁶¹ Le deuxième dispositif (diminuer ou couper l'injection) ne sera utilisé que si le premier ne suffit pas. Même logique pour le troisième vis-à-vis des précédents, par exemple dans le cas d'une descente.

5.4 Danemark⁶²: INFATI (1998-2001)

5.4.1 Introduction

Conduit par l'université d'Aalborg et quelques partenaires privés, le projet danois INFATI a permis de développer un nouveau dispositif ISA de type informatif, ainsi qu'un logiciel d'analyse des données récoltées. Entre 2000 et 2001, 24 véhicules privés ont été équipés de ce dispositif. Le contenu technologique d'INFATI est le suivant : un module GPS différentiel, une fonction de localisation à l'estime ("dead reckoning") couplée à un gyroscope et un odomètre, un enregistreur des variables de la conduite ("data logger") muni d'un module de communication GSM, une carte numérique (statique) de la localité, un logiciel de corrélation cartographique ("map matching") et un logiciel d'analyse des données enregistrées (basé sur Matlab et MS Access).

5.4.2 Evaluation technique

Le système a donné globalement satisfaction. Si la plupart des problèmes techniques rencontrés ont été résolus durant l'expérience, leur quantité pour quatre des véhicules a été telle que les données correspondantes n'ont pas été prises en considération dans l'analyse a posteriori. La défaillance technique principale est à mettre à l'actif du module GSM qui n'a jamais fonctionné durant la période de test. Les données enregistrées n'ont donc pas pu être rapatriées de manière continue. Heureusement, la capacité de la mémoire étant suffisante, l'entièreté des données a pu être déchargée à la fin des six semaines. Des problèmes ont été rencontrés lors de l'installation de l'interface utilisateur qui, souvent, était placée hors du champ de vision des conducteurs. Bien que l'accord avec la réalité ait été considéré comme bon, des problèmes de réception GPS et de confusion dans la VMA entre segments voisins ont été rapportés, particulièrement dans le centre urbain (dense).

Le logiciel d'analyse des données a ceci d'original qu'il a converti la base temporelle (un enregistrement par seconde) en une base spatiale (un enregistrement par mètre) par ajout de points de mesure fictifs. En effet, pour une distance donnée parcourue, un véhicule se déplaçant à vitesse faible sera sur représenté en termes de points de mesure par rapport à un véhicule plus rapide.

5.5 Hongrie et Espagne : projet européen Prosper (2003-2004)

5.5.1 Introduction

Dans le cadre du projet européen Prosper, deux projets sont actuellement en cours de réalisation en Hongrie et en Espagne, chacun avec du matériel IMITA du type "*Limit Advisor*".

5.5.2 Evaluation technique de l'expérience hongroise

Vingt véhicules de même marque (Suzuki) ont été équipés successivement de deux types de dispositifs ISA : un système ouvert (informatif) et une nouvelle version du *Limit Advisor*. Le cycle de test s'est déroulé en quatre phases successives d'une durée d'un mois durant lesquelles les variables de la conduite ont été enregistrées : le système informatif et le *Limit Advisor* ont été utilisés respectivement le deuxième et le troisième mois tandis qu'aux premier et quatrième mois, aucun des dispositifs n'était branché. Les installations, les démontages et la maintenance ont été confiés à un concessionnaire Suzuki local. Les premiers résultats relatifs à la fiabilité des composants sont basés sur les commentaires consignés par les conducteurs dans le livre de bord. Ils sont extrêmement sommaires et ni la cause du problème, ni la solution apportée pour le résoudre n'ont pu être obtenus. Les livres de bord indiquent que trois véhicules ont connu des problèmes : une pédale dans laquelle la contre pression était anormalement élevée, un fonctionnement du limiteur là où il n'aurait pas dû intervenir (probablement une erreur de positionnement ou de la carte) et un véhicule accélérant par saccades entre 20 et 50 km/h. Nous

⁶² résultats issus du rapport [23] et du site internet : <http://www.infati.dk>

constatons que par rapport à l'expérience ISA-Gent, la quantité de problèmes techniques semble plus faible. Il faut cependant noter des différences marquantes entre les deux projets, ce qui rend la comparaison difficile :

- Une seule marque de véhicules en Hongrie contre un large éventail de marques à Gand. Les risques d'incompatibilité sont donc bien plus faibles
- Montages et entretien effectués par du personnel spécialisé (concessionnaire de la marque)
- Période de fonctionnement du *Limit Advisor* d'un mois contre 14 mois en Belgique
- Moitié moins de systèmes (20 contre 37) et pas d'autobus impliqués

L'université de Lund en Suède a été chargée d'effectuer l'analyse des données à l'aide de l'outil informatique développé à l'occasion de l'expérience ISA du même nom.

Nous n'avons que peu d'informations concernant l'expérience espagnole, qui, au début 2004, n'avait pas encore commencé la phase de test. Nous avons cependant appris que, contrairement aux autres expériences utilisant le matériel d'IMITA (Lund, Gand, Hongrie), l'unité de positionnement se base dans ce cas sur le datum global WGS84.

5.6 *France : projet LAVIA*⁶³ (2003-2004)

5.6.1 Introduction

Sous l'impulsion du ministère français des transports et grâce à la collaboration des constructeurs français Renault et PSA, une centaine de véhicules équipés de trois dispositifs ISA (ouvert, semi-ouvert et fermé) vont être testés dans la région parisienne. Chaque participant se verra confié un véhicule pour tous ses déplacements durant 8 semaines. Ce cycle se divisera en quatre phases : une phase sans ISA et ensuite trois phases successives durant lesquelles les trois types d'ISA seront testés. Dans les modes semi-ouvert (usage volontaire) et fermé (obligatoire), le contrôle de la vitesse se fait par action sur le papillon des gaz avec, dans les deux cas, une possibilité de débrayage momentané de la coupure d'injection par un mouvement de "kick down". De plus, dans le mode fermé, un bouton permet de désactiver complètement le limiteur. Son utilisation entraîne la fin du test pour le conducteur⁶⁴.

L'outil de localisation fait appel au système GPS et comprend un odomètre, un gyroscope, un logiciel de localisation à l'estime ("dead reckoning") et une carte numérique dont les coordonnées sont au format WGS84. Les limitations de vitesses sont stockées dans une banque de données appelée LUT⁶⁵ et distincte de la carte numérique. Un outil d'acquisition des données muni d'une mémoire flash de 192 MB prévue pour une autonomie de 8 semaines (à raison de 3 h de conduite par jour en moyenne) accompagne les véhicules. Parmi les données enregistrées, notons la date et l'heure, la position, le type de trajet (entré par le conducteur), la vitesse réelle, la VMA, l'état ON/OFF du limiteur LAVIA, un compteur du nombre de "kick down" effectués, l'utilisation des phares, le fonctionnement des essuie-glaces, etc. A la fin de chaque trajet, un rapport évaluant la qualité des données enregistrées est envoyé par GSM à une centrale afin détecter rapidement toute anomalie de l'acquisition.

5.6.2 Evaluation technique

Un nombre significatif de discordances entre la VMA trouvée par LAVIA et la réalité sont apparues. L'utilisation de deux couches (banques de données) distinctes pour la carte numérique d'une part et la liste des limitations de vitesse d'autre part semble accroître fortement le risque d'erreur. La sortie des rond-points, les échangeurs autoroutiers, les croisements importants et les zones résidentielles au maillage serré de rues constituent les principaux points critiques en cette matière. En conséquence, un long travail de terrain a été mené afin de corriger les fautes. A ce stade du projet, les partenaires recommandent donc dans le futur l'utilisation d'une banque de données

⁶³ Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée ; voir rapport [20]

⁶⁴ La même règle avait été instaurée aux Pays-Bas

⁶⁵ Look Up Table

unique rassemblant les informations de type GIS (position) et les limitations de vitesse. Reconnaissant que le travail de correction effectué sur le terrain n'est viable ni à long terme ni à grande échelle, et vu la cadence de péremption des limitations effectives sur le terrain (15 % par an), ils concluent que le GPS en tant que seul outil de localisation pourrait se révéler insuffisant. En conséquence, dans la perspective d'un déploiement large d'ISA, une solution combinant un système de type autonome (GPS) et un système dépendant de l'infrastructure (transpondeurs ou autre) devrait être envisagée.

5.7 Belgique : projet DIVOTE⁶⁶ (2002-2003)

5.7.1 Introduction

Sous l'autorité de la région flamande et en collaboration avec plusieurs partenaires privés (dont les firmes Acunia et D'Ieteren), 100 véhicules ont été équipés d'une console multimédia appelée CarCube et offrant, entre autres, une fonctionnalité de type ISA ouvert. La technologie embarquée comprend un récepteur GPS assurant la localisation du véhicule ainsi que, fait original, un module de communication bidirectionnel basé sur la technologie GPRS. Sur la carte numérique, les limitations de vitesse sont définies non par segments mais par secteurs géographiques de forme polygonale. L'originalité de la solution développée est que les polygones en question sont entièrement dynamiques : leur VMA, le territoire couvert par chacun ainsi que les moments de la journée où ces caractéristiques sont d'application peuvent être adaptés selon les conditions climatiques, le trafic, l'heure (la sortie des écoles, par exemple) et même la catégorie de véhicule (poids lourds). Cette flexibilité extrême ne peut être atteinte qu'en délocalisant à 100 % la carte numérique habituellement embarquée dans les véhicules. Il reste alors à envoyer en temps réel à chaque véhicule les caractéristiques des polygones situés dans un rayon de 4 km autour de sa position. Dans un deuxième temps, une partie des fonctions⁶⁷ du *Limit Advisor* a été intégrée dans le produit existant chez dix véhicules, offrant de ce fait une interface de type semi-ouverte.

5.7.2 Evaluation technique

Il semble que, outre un coût élevé, la transmission des données via GPRS ait posé des problèmes au cours de l'expérience. Le GPRS, technologie de transition entre le GSM et l'UMTS, a pour inconvénients d'utiliser en partie l'infrastructure GSM existante et surtout d'être en perte de vitesse par manque de débouchés. La conclusion est donc la même qu'à la suite des tests similaires effectués à Börlange pour la technologie GSM : des techniques de plus grande diffusion (DSRC, DAB, etc. – voir § 2.3.5.2) devraient probablement être envisagées pour atteindre tous les véhicules endéans des délais raisonnables et à moindre frais.

Aux croisements, il arrive fréquemment que des polygones se recouvrent. Ceci peut avoir pour conséquence une interférence entre les limitations des polygones en question. Pour éviter ce phénomène, des polygones "d'invariabilité" dotés du code de priorité le plus élevé ont été superposés à ces croisements pour empêcher le changement de limitation à cet endroit.

Si la bonne transmission des données est un aspect important de la question, dresser une première carte complète et, par la suite, la mettre à jour en tenant compte du trafic, des accidents, des travaux, etc. s'est révélé être une tâche titanesque. Si une partie de la gestion instantanée des polygones (taille, VMA) peut être automatisée, la majorité des actes techniques ne peuvent se passer de l'intervention humaine. Si la participation des utilisateurs à la mise à jour de la carte (logiciel appelé "Signal Pusher") s'est révélée payante, elle ne résout cependant pas le problème de fond. La définition de normes en matière de carte numérique (méthode des segments ou des polygones) ou de transmission de données (GSM, GPRS ou autres) constituerait sans doute un premier pas dans la bonne direction.

⁶⁶ voir articles [19], [29] et [30]

⁶⁷ Seule l'unité mécanique et le CPU ont été utilisés car la VMA était fournie par CarCube

5.8 Autres

D'autres projets ISA se sont déroulés ou se déroulent en Finlande, en Australie en Allemagne et en Norvège. Dans ce dernier cas, la technologie utilisée est celle du *Limit Advisor* d'IMITA.

L'Australie⁶⁸, premier pays non européen à tenter l'aventure ISA, a ceci de commun avec la France que, pour la première fois, des constructeurs de véhicules ont activement participé au développement du dispositif (Ford en Australie, Renault et PSA en France). En Allemagne également, plusieurs constructeurs réalisent des tests, mais de manière interne.

5.9 Résumé : les défis technologiques de ISA

5.9.1 La détermination de la VMA en tout point, à tout instant

Il s'agit du défi majeur d'ISA. Parmi les outils permettant de déterminer la VMA, la technologie GPS différentielle semble devoir s'imposer à long terme, éventuellement en combinaison avec une autre technologie. En optant pour le GPS, nous scindons le problème en deux parties : la localisation d'une part et la gestion d'une carte numérique contenant les VMA d'autre part.

5.9.1.1 La fiabilité de la localisation

Malgré une nette amélioration de l'incertitude de positionnement, le degré de fiabilité du GPS (niveau d'incertitude et disponibilité en temps), même différentiel, n'atteint pas encore une valeur suffisante⁶⁹. Une piste à développer davantage serait peut-être celle d'une meilleure intégration de systèmes de navigation inertielle (INS) avec le GPS. La localisation à l'estime (angl. *dead reckoning*), qui est une version simplifiée d'un système INS, pourrait se voir renforcée par l'utilisation d'un gyroscope de meilleure qualité et/ou plusieurs capteurs (outre l'odomètre) : rotation du volant, accéléromètres, etc. L'arrivée à la fin de la décennie du système *Galileo* pourrait par ailleurs améliorer la qualité du positionnement sur Terre.

5.9.1.2 La gestion de la carte numérique

La gestion à long terme de cette information pour l'ensemble du réseau routier à une échelle (supra)nationale a en effet un coût fort élevé, que ni les pouvoirs publics, ni le secteur privé ne sont encore disposés à prendre charge. A ceux-ci s'ajoutent, dans l'optique d'une carte dynamique, les frais de développement, de mise en place et de maintenance d'un réseau d'émetteurs, des logiciels associés, etc. En attendant l'harmonisation et la mise au point des technologies correspondantes, l'utilisation de cartes statiques sur des supports du type cd-rom, tout comme pour les outils de navigation existants, semble être une première étape accessible.

5.9.2 Le choix de l'interface conducteur

Parmi les variantes d'ISA testées, les systèmes les plus simples (signal sonore ou visuel) semblent aussi les plus fiables. Au contraire, les variantes semi-ouvertes et fermées s'intègrent parfois mal dans le véhicule et ont une fiabilité perfectible. Dans le choix de l'interface idéale, outre les considérations techniques, qui sont fort différentes chez des prototypes et dans le cadre d'une production en série, le facteur humain joue un rôle prépondérant : quelle sera l'acceptation par le public des diverses variantes, et avec quels résultats en terme de sécurité routière ? Pour une information plus générale sur ces autres aspects d'un ISA, nous renvoyons au document [31] qui présente un état des lieux de la question et qui synthétise la position de l'IBSR. Il a été présenté en Commission de l'Infrastructure de la Chambre des Représentants en mars 2004.

⁶⁸ voir article [24]

⁶⁹ cf. centres urbains, tunnels, sous-bois, régions accidentées

PARTIE VI : CONCLUSIONS

6.1 Conclusions du volet TECHNIQUE de l'étude (ISA-Gent)

- a. Vu les problèmes de fiabilité de l'unité mécanique en cas d'usage intensif du véhicule, la durée de vie du *Limit Advisor M2002* est bien inférieure à celle d'un véhicule moyen.
- b. Les quelques problèmes rencontrés avec les odomètres et le câble reliant l'unité mécanique à la pédale semblent provenir davantage d'éléments extérieurs (montage incorrect, odomètre d'origine déficient ou inadapté) que du limiteur proprement dit.
- c. Le montage du *Limit Advisor M2002* semble pouvoir être réalisé sans complications majeures dans 75% des véhicules du marché belge en 2002. Cette fraction est cependant supposée décroître dans le futur vu la généralisation du papillon électronique (et ses conséquences sur la cinématique de la pédale des gaz) et des réseaux d'information embarqués (CAN-bus).
- d. L'étalonnage de l'odomètre, statique et par rapport à la vitesse compteur pour la partie fonctionnelle (déclenchement de l'interface sensitive), dynamique et par rapport à la vitesse réelle pour la partie enregistrement des données, n'a pas donné satisfaction puisque la vitesse enregistrée ne reflétait pas la réalité.
- e. La qualité des données enregistrées par l'outil d'acquisition de données a été la source du plus grand nombre de problèmes : absence de données fondamentales pour l'analyse (présence instantanée de la contre pression dans la pédale, incertitude du positionnement GPS), mesure incorrecte (vitesse hors de la carte numérique, confusion VMA 15-50 km/h dans la boîte) ou mesure relative (régime moteur, position de la pédale des gaz) dont le coefficient correctif - le plus souvent inconnu - dépendait du véhicule. L'utilisation de deux fréquences d'échantillonnage distinctes hors et dans la carte numérique a également compliqué l'analyse.
- f. La sous-traitance par le fabricant IMITA de la réalisation d'une partie importante du dispositif (unité de positionnement, carte numérique, les logiciels correspondants, enregistreur de bord) a compliqué la résolution des problèmes rencontrés au niveau de ces composants.
- g. L'unité de positionnement a été développée pour une expérience ISA se déroulant dans une ville moyenne de suède, et n'a pas été adaptée par la suite. Elle présentait un espace mémoire insuffisant pour la carte numérique et un temps de recherche des limitations de vitesse trop long. Le système de référence RT90 n'était pas adapté à la Belgique.
- h. L'incertitude de positionnement, bien que formellement inconnue au cours du temps, semble avoir été la cause de plaintes répétées des utilisateurs suite aux discordances entre la réalité et le limiteur. Trois facteurs concourent à aggraver ce phénomène : un mode GPS absolu (moins précis), un centre ville dense qui diminue la visibilité des signaux et accroît les trajets multiples et enfin une concentration élevée de voies de communication.
- i. La nature statique de la carte numérique n'est probablement pas la solution idéale vu le caractère contraignant des visites nécessaires au déchargement des mises à jour. Cependant, les problèmes de transmission de données rencontrés en Suède (GSM), au Danemark (GSM) et dans l'expérience belge DIVOTE (GPRS) laissent penser que ces technologies ne sont pas encore suffisamment au point⁷⁰. Une carte statique constitue donc, à l'heure actuelle, un outil satisfaisant pour étudier les dispositifs ISA.
- j. L'utilisation conjointe d'une base de données MS SQL Server 2000 pour l'importation et le traitement préliminaire des données enregistrées (environ 120 millions lignes de 55 caractères chacune) et du tableur MS Excel pour le traitement des données secondaires associées à chaque trajet s'est révélée être un bon choix.

⁷⁰ ISA-Tilburg constitue apparemment une exception à ce point de vue. Cependant, les communications GSM ne concernaient pas la carte numérique et imposaient l'arrêt du véhicule (d'où faites de nuit).

6.2 Recommandations concernant le *Limit Advisor M2002*

- a. Dans le but d'accroître la fiabilité de la chaîne de transmission, donc aussi sa durée de vie, nous suggérons de réduire les chocs mécaniques induits par le retour du bras actif sur sa butée et de renforcer la résistance mécanique des engrenages et la fiabilité du moteur.
- b. Dans le cadre d'une étude, les sensibilités fonctionnelle et analytique devraient être égales
- c. L'unité de positionnement devrait faire appel à un système de coordonnées universel (WGS84 ou équivalent), avoir une capacité mémoire nettement étendue, utiliser un processeur plus rapide et s'assurer de l'optimisation du temps de corrélation cartographique (map matching).
- d. L'outil d'acquisition de données devrait faire l'objet d'une attention particulière. Il faut s'assurer d'une part que les grandeurs enregistrées permettront d'atteindre les objectifs des différentes études qui en dépendent (technique, comportementale, etc.) et d'autre part de la qualité métrologique des grandeurs mesurées (exactitude, incertitude, caractère relatif ou absolu, disponibilité d'un facteur correctif éventuel, etc.). La fréquence d'échantillonnage de l'acquisition des données, qui devrait être au-moins égale à celle du récepteur GPS, sera idéalement la même parmi toutes les données à analyser. Enfin, la capacité de stockage des informations devra être maximale et sera dimensionnée en fonction de la fréquence de mise à jour de la carte.
- e. L'utilisation du GPS différentiel, vu la disponibilité élevée (90 %) du signal de correction différentielle (cf. ISA-Tilburg § 5.2) et l'amélioration de la qualité du positionnement qu'il induit, devrait être envisagée comme un standard futur, du moins en zone urbaine.
- f. La fonction de localisation à l'estime (dead reckoning) ne semble pas suffisamment exploitée, alors qu'elle pourrait utilement pallier les défaillances de la localisation.
- g. L'utilisation d'une carte numérique embarquée dont les mises à jour peuvent se faire à distance est probablement le meilleur compromis en termes de fréquence de renouvellement et de gestion du risque (absence de transmission), pour autant que la fiabilité de la transmission soit suffisante et que soit assurée la mise à jour régulière (cf. § 5.7.2) des données de la carte.

6.3 Synthèse

Les raisons pour lesquelles les constructeurs de véhicules ont dans un premier temps ignoré les projets d'étude de dispositifs ISA sont potentiellement nombreuses : une mesure qui est souvent décrite comme impopulaire, une incidence encore incertaine sur la sécurité routière⁷¹, le secret industriel, la centralisation des bureaux d'étude au sein de groupes mondiaux, etc. La généralisation de l'électronique et des réseaux informatiques embarqués a fortement accru le degré de spécialisation des véhicules et, partant, diminué la probabilité de voir un dispositif ISA universel apparaître sur le marché. Par contre, le développement par un nombre croissant de constructeurs (suivant l'exemple de Ford, Renault et PSA) de solutions techniques du type ISA est fort probable. Après tout, un dispositif ISA n'est-il pas un super outil de navigation qui, outre le chemin, indique et rappelle, parfois de manière intrusive selon la variante choisie, la VMA ? Vu ce qui précède, l'expansion du marché des ADAS et l'arrivée de Galileo, il est probable que le marché du positionnement par satellite explose d'ici 2015 et qu'un nombre croissant de véhicules s'équipent d'outils de navigation améliorés⁷² incluant une fonction ISA ouverte ou semi-ouverte. Le caractère obligatoire d'un ISA semble par contre nettement moins plausible.

⁷¹ Cf. [26] et [31] ; L'impact d'ISA sur la sécurité routière tient surtout à la fraction -inconnue- d'insécurité imputable aux vitesses supérieures aux limitations. Or la véritable source d'insécurité routière est une vitesse inadaptée, laquelle est souvent inférieure à la VMA.

⁷² Un Cd-Rom de navigation européen de TeleAtlas intègre déjà les limitations de vitesse des autoroutes. Vu par ailleurs le progrès technologique et l'énorme marché potentiel, il est probable que les questions techniques en suspens concernant la mise à jour à distance des cartes numériques auront été résolues.

BIBLIOGRAPHIE

1. Vägverket (Swedish National Road Administration) : "Intelligent Speed Adaptation (ISA), results of large scale trials in Börlänge, Lidköping, Lund and Umeå during the period 1999-2002", 2002.
2. Nederland Haarlem BV "Evaluatie ISA project, evaluatie van de techniek", versie 1.2, 2001.
3. Bladh S. (Imita AB), Svensson P. (Itinerary Systems IS AB), "Take it to the Limit" in Galileo World, summer 2001.
4. Log format "Lund" specification, description of the logging format of the ISA projects in Lund, Gothenburg and Ghent.
5. Imita AB, Different parts of the Limit Advisor System 2002
6. SP Report "Analysis of how design changes affect "Functional safety of nomixMAC"", reference P007813, 2000-09-18
7. SP Report "Functional safety of nomix MAX" + 3 app. reference 99F60067, 2000-02-04
8. SP Report "EMC tests on nomixMAC", reference 00F52918, 2000-08-21
9. SP Report "EMC tests on Limit Advisor", reference P205944-1, 2003-02-05
10. Doerflinger, Erik "Les applications météorologiques du système de positionnement satellitaire GPS" in La Météorologie N°34, août 2001.
11. Jones, Edward (Trimble Navigation Ltd, USA) "GPS on test Evaluation procedure for antennas" in Traffic Technology International, Annual Review 2003
12. Woodward, Tim (Transport Systems Division, Systems Engineering & Assessment Ltd, UK) "Satellite converter : dialogue concerning the two chief world systems" in Traffic Technology International, Aug/Sep 2002
13. Guiziou Robert, "Localisation GPS", janvier 2003
http://artemis.univ-mrs.fr/cybermeca/Formcont/mecaspa/COURS_SA/GPS/GPS.htm
14. Vigny Christophe, "GPS : comment et pour quoi faire", 1996
<http://www.geologie.ens.fr/~vigny/articles/gps-f.html>
15. Pr. Debouche Charles (Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux), "Communication, positionnement et GPS"
<http://www.fsagx.ac.be/mf/publications/3.23%20Communication%20positionnement%20et%20GPS.pdf>
16. Bratt H., Ericsson E. (Lund university) "Measuring vehicle driving patterns – estimating the influence of different measuring intervals"
17. Bratt H., Ericsson E. (Lund university) "Estimating speed and acceleration profiles from measured data"
18. Myhrberg, Stefan (SWECO VBB) : "Technology options for intelligent speed adaptation", Proceedings of the 10th ITS Congress, Madrid, Spain, November 16-20, 2003, publication on CD-Rom.
19. Kenis, Eric & Wils, G. (Vlaamse Gemeenschap, Belgique) : "Assessment of the added value of a single telematics platform and ISA for traffic and road safety management", Proceedings of the 10th ITS Congress, Madrid, Spain, November 16-20, 2003, publication on CD-Rom.
20. Ehrlich, Jacques (LIVIC) : "LAVIA : the French ISA project : main issues and first results on technical tests", Proceedings of the 10th ITS Congress, Madrid, Spain, November 16-20, 2003, publication on CD-Rom.
21. Carsten, Oliver and Mark, Fowkes, "External Vehicle Speed Control : Executive summary of Project Results (July 2000)" Institute of Transport Studies, University of Leeds.
22. Carsten, Oliver and Mark, Fowkes, "External Vehicle Speed Control : Final Report : Integration (July 2000)" Institute of Transport Studies, University of Leeds.
23. Lahrmann, Harry and Madsen, Jesper Runge and Borocho, Teresa (Aalborg Universitet) : "Intelligent Speed Adaptation – Development of a GPS-based ISA-system and field trial of the system with 24 drivers"
24. De Mol, Johan (CDO) "ISA ook buiten Europa", in Verkeersspecialist 83 (décembre 2001)
25. De Mol, Johan (CDO) "Een stap dichterbij ISA", in Verkeersspecialist 81 (octobre 2001)
26. (German) Federal Ministry of Transport, Building and Housing division S 02, Berlin "Potential of ISA systems (Intelligent Speed Adaptation) for reducing accident rates", ERTICO meeting 5/12/01
27. "Galileo Industry Day", 18/3/03 available at URL :
http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_industry_day_02.pdf
28. Koike, Kenichi (Matsushita Electronic Industrial) : "Improvement in positioning accuracy of GPS receiver", Proceedings of the 10th ITS Congress, Madrid, Spain, November 16-20, 2003, publication on CD-Rom.

29. Kenis, Eric (Vlaams Verkeerscentrum) "Dynamische maatregelen voor dynamischer verkeer", in Verkeersspecialist 102 (novembre 2003)
30. Nysten, Andre et De Block, Henk et Nysten, Inneke (Vlaams Verkeerscentrum) "Alle snelheidslimieten in Vlaanderen op één kaart", in Verkeersspecialist 103 (décembre 2003)
31. Position de l'IBSR au sujet des limiteurs de vitesse intelligents (ISA), in Rapport de la Commission de l'infrastructure de la Chambre des Représentants, Doc 51 0138/000, id0626g-DP1 (présenté le 12/03/04)
32. Transport Protocol Experts Group (TPEG) : <http://www.tpeg.org/>
33. Beeckman, Jean-Pierre (IGN), "Ce qu'il faut savoir pour naviguer sans soucis avec GPS", available at URL : http://www.ngi.be/Common/articles/G/naviguer_avec_GPS.pdf

GLOSSAIRE

ISA	<i>Intelligent speed adaptation</i> : Limiteur de vitesse dont le seuil de déclenchement varie selon la limitation locale de vitesse
VMA	Vitesse maximale autorisée
IMTA	Nom de la société fabricant le dispositif ISA <i>Limit Advisor M2002</i>
Wayfinder (anc. Itinerary)	Nom de la firme ayant développé l'unité de positionnement, la carte numérique, l'outil d'enregistrement des données et les logiciels associés du <i>Limit Advisor M2002</i>
CMOS	<i>Complementary Metal Oxyde Semiconductor</i> : famille de semi-conducteurs à la consommation électrique réduite. Applications typiques : électronique portative (ordinateur portable, caméra, etc.)
GPS	<i>Global Positioning System</i> : Système de localisation basé sur une constellation de satellites
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> : Système de téléphonie mobile numérique de 2 ^e génération
GPRS	<i>Global Packet Radio Service</i> : Système de transmission de données par paquets, intermédiaire entre le GSM et l'UMTS (génération 2.5)
UMTS	<i>Universal Mobile Telephony System</i> : Système de téléphonie mobile numérique de 3 ^e génération permettant la réception d'images et de sons
DSRC ou RFID	<i>Digital Short Range Communication (Radio Frequency Identification)</i> : Système d'identification utilisant les ondes radio fréquences (5,8 GHz)
DAB	<i>Digital Audio Broadcast</i> : Système terrestre de diffusion radiotélévisée Numérique
RDS	<i>Radio Data System</i> : Système numérique de transmission d'informations (trafic, GPS, etc.) par la fréquence des ondes radio FM
CAN Bus	<i>Controlled Area Network Bus</i> : dispositif destiné à assurer simultanément des échanges d'informations à haut débit entre plusieurs sous-ensembles d'un système informatique
INS	<i>Inertial Navigation System</i> ou Système de navigation inertielle : ensemble de capteurs embarqués à bord d'un mobile et permettant de déterminer, à l'aide de calculateurs, les <u>variations</u> temporelles de trajectoires (gyroscope) et de vitesse (accéléromètres) dans les trois axes. La mesure des déplacements relatifs du véhicule par rapport à la dernière position absolue connue peut ainsi pallier les défaillances d'un système de positionnement absolu (cf. GPS)
Localisation à l'estime	<i>Dead Reckoning</i> : INS simplifié se basant généralement sur un gyroscope uniaxial, un odomètre et les logiciels associés
Corrélation cartographique	<i>Map matching</i> : Logiciel assurant le lien entre les coordonnées d'un point et sa position la plus probable sur la carte numérique
Boîte de délimitation	<i>Bounding box</i> : Secteur de la carte numérique auquel une valeur par défaut de la VMA est attribuée
Datum	Référentiel terrestre caractérisé par son origine et l'orientation de ses axes et dans lequel est défini un ellipsoïde modélisant la surface de la terre

ANNEXE 1 : Le récepteur GPS

ACE III GPS

GPS Core Module for Embedded Applications

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

General	L1 frequency, C/A code (SPS), 8-channel, continuous tracking receiver, 32 correlators
Update rate	TSIP @ 1Hz; NMEA @ 1Hz; TAIP @ 1Hz
Accuracy	Position: 25m CEP (50%) without SA Velocity: 0.1 m/sec without SA (1 sigma)
1 PPS	±95 nanoseconds (over-determined clock mode)
DGPS accuracy	Position: 2m CEP (50%) Velocity: 0.05 m/sec (1 sigma) Time: ±500 nanoseconds (nominal)
Acquisition	Cold start: <160 seconds (90%) Warm start: <45 seconds (90%) Hot start: <20 seconds (90%) Cold start requires no initialization. Warm start implies lost position, time and almanac are saved by back-up power. Hot start implies ephemeris also saved.
Reacquisition after signal loss	<2 seconds (90%)
Dynamics	
Acceleration	4g (39.2 m/sec ²)
Maximum jerk	20 m/sec ³
Operational limits	Altitude <18,000m or velocity <515 m/sec Either limit may be exceeded but not both.

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

Operating temperature	-40°C to +85°C
Storage temperature	-55°C to +100°C
Vibration	0.008 g/Hz 5Hz to 20Hz 0.05 g/Hz 20Hz to 100Hz 3dB/octave 100Hz to 900Hz
Operating humidity	5% to 95% R.H. non-condensing, @ +60°C
Altitude	-400m to +18,000m

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Prime power	+5V DC, ±5%
Power consumption (nominal)	GPS board only: 95mA, 0.47W With antenna: 120mA, 0.60W
Back-up power	+3.2 to +5V DC 2µA @ +3.5V, +25°C (nominal)
Serial ports/PPPS	CMOS TTL levels
Protocols	TSIP @ 9600 baud, 8-Odd-1 NMEA 0183 v2.1 @ 4800 baud, 8-None-1 RTCM SC-104 @ 4800 baud, 8-None-1
NMEA messages	GGA, VTG, GLL, ZDA, GSV, GSA and RMC messages selectable by TSIP command; selection stored in non-volatile memory
Antenna power	5V at 25mA available Short-circuit protection Feedline fault detection

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	3.25" L x 1.83" W x 0.461" H (82.6mm x 46.5mm x 11.5mm) without connectors
Weight	1.0 oz. (28.3 g) without optional shield
Connectors	RF: SMB; I/O: 8-pin (2x4), 2mm header

ACCESSORIES



GPS antenna Compact, active micropatch antenna with 5-meter cable and magnetic mount.
47mm L x 40.5mm W x 13.3 H mm (1.85" x 1.58" x 0.52" high)



Hard mount antenna Compact, hard mount, active micropatch antenna with single-hole 0.75" threaded mount and TNC connector. 2.46" diameter x 0.75" high (62.6mm x 19.0mm)



Rooftop antenna Bullet™ antenna with 22-meter cable and SMB adapter

ORDERING INFORMATION

You may visit our website for current information, part numbers, and ordering information at <http://www.trimble.com/aceiii.html>

Module

TSIP (binary) protocol and NMEA 0183 (ASCII) protocol, DGPS ready

Antennas

29 dB magnetic mount antenna, 5-meter cable
26 dB hard mount antenna, TNC connector
35 dB rooftop Bullet antenna, 23-meter cable

Starter kit

Includes ACE III board, interface motherboard in durable metal enclosure with dual DB9, RS-232 interface, AC/DC power converter, magnetic mount antenna, TSIP and NMEA protocols, interface cable, software toolkit for TSIP, and manual on CD-ROM.

Visit our website at www.trimble.com/nema

Specifications subject to change without notice.

© Copyright 2000-2002, Trimble Navigation Limited. The Globe and Triangle, Trimble, ACE III GPS and Bullet are trademarks or registered trademarks of Trimble Navigation Limited. All other marks are the property of their respective owners. 101177565 (01/02)



Trimble Navigation Limited
Corporate Headquarters
615 North Mary Avenue
Sunnyvale, CA 94086
+1 408 481-1600
www.trimble.com

Trimble Navigation Europe Limited
Trimble House
Mariner Office Park
Osborne Way
Heck, Hampshire RG27 8XU, UK
+44 1256 760 150

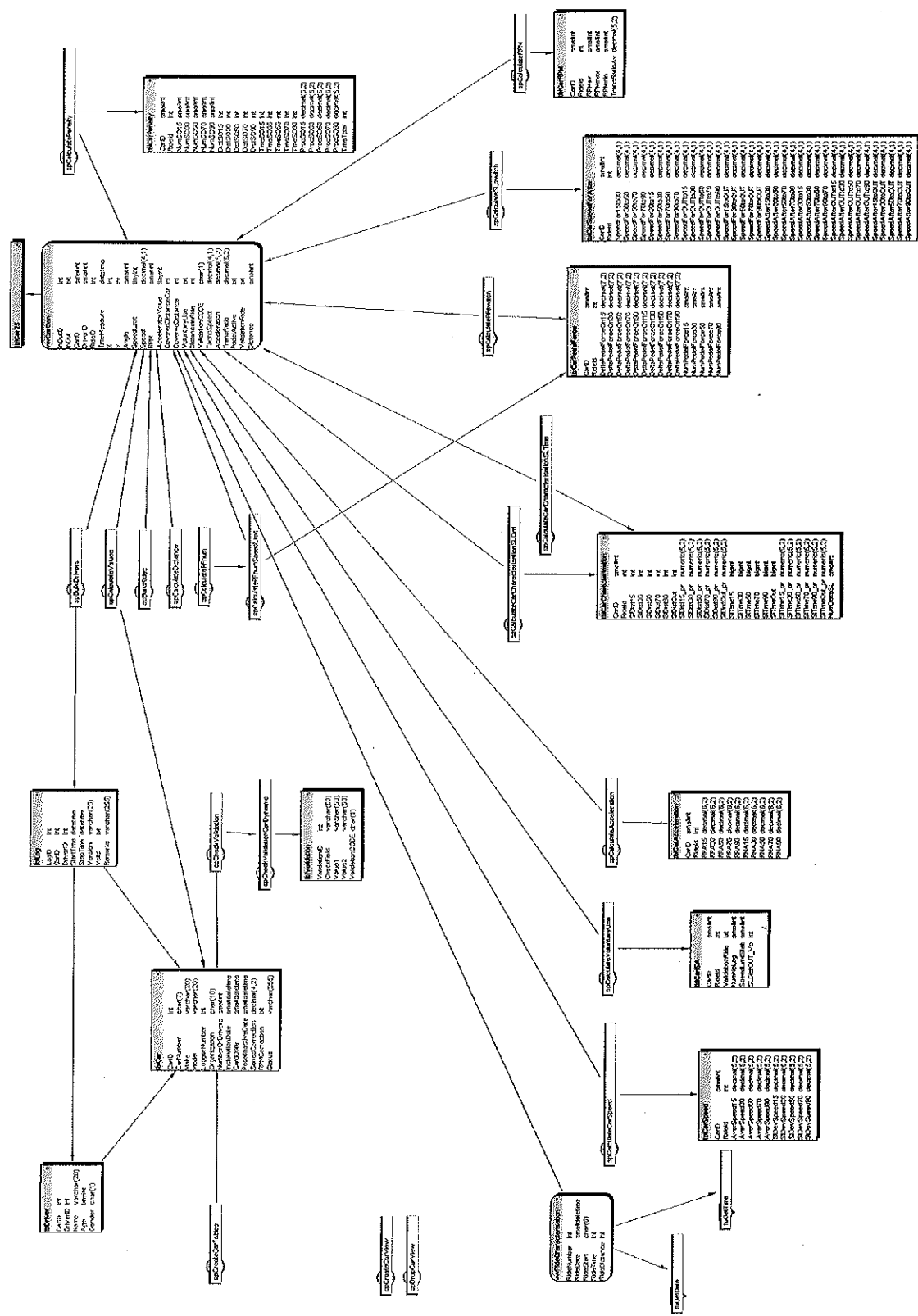
Trimble Navigation
Australia Pty Limited
PO Box 769
Spring Hill QLD 4104
Australia
+61 7 3216 0944

Trimble Korea
27th Fl., Korea World Trade Center
Suite 107
158-1 Samsung-dong, Kangnam-gu
Seoul 135-720
Korea
+82 2 551 2730



Source : <http://www.trimble.com/>

ANNEXE 2 : La structure de la base de données SQL



Source : M. Jansen, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)

ANNEXE 3 : Emissions EM du Limit Advisor M2002 (95/54/CE, annexes VII & VIII)

