



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la
communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle
comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

SATELROU

Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route

**Perspektiven und Anwendungen der Navigationsmethoden für die
Strassenverkehrstelematik und für das Strasseninformationssystem**

**Perspectives and applications of the navigation systems for the
intelligent transportation systems and for the road information system**

**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Laboratoire de Topométrie (TOPO)
Pierre-Yves Gilliéron, ing. dipl. EPFL
Véronique Chazal, ing. SIG, dipl. INPT**

**Mandat de recherche VSS 2003/903 sur demande de
l'Association Suisse des Professionnels de la route des
transports (VSS)**

Janvier 2010

.....



SATELROU

Perspectives et applications des méthodes de navigation par satellites pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route

Rapport final

Projet VSS n° 2003/903

**Pierre-Yves Gilliéron
Véronique Chazal**

Version 1.3

Janvier 2010

HISTORIQUE

Version	Date	Auteurs	Description	Statut
0.1	12.12.2007	VCH	Création	En travail
0.2	22.01.2008	PYG	Modifications structure, compl.	En travail
0.3	09.09.2008	PYG	Compléments, assemblage parties	En travail
0.4	18.11.2008	PYG	Partie recommandations	En travail
0.5	09.03.2009	PYG	Partie recommandations	En travail
0.6	24.07.2009	PYG	Version finale pour EK 9.03	DRAFT
1.0	02.09.2009	PYG	Version finale pour FK9 (révision résumé + glossaire)	Final
1.1	04.11.2009	PYG, PN	Version finale + résumé F/D/E	Final
1.2	08.12.2009	PYG, CM	Version finale + résumé F/D/E	Final
1.3	05.01.2010	PYG	Révision finale	Final

Table des matières

IMPRESSUM	8
1. RÉSUMÉS	9
1.1 RESUME	9
<i>Situation</i>	9
<i>Buts</i>	9
<i>Approche et déroulement</i>	9
<i>Résultats et conclusions</i>	10
<i>Recommandations et perspectives</i>	10
1.2 ZUSAMMENFASSUNG	11
<i>Ausgangslage</i>	11
<i>Ziele</i>	11
<i>Vorgehen und Ablauf</i>	12
<i>Resultate und Folgerungen</i>	12
<i>Empfehlungen und Ausblick</i>	12
1.3 SUMMARY	13
<i>Context</i>	13
<i>Objectives</i>	14
<i>Progress</i>	14
<i>Results and conclusion</i>	14
<i>Recommendations and future work</i>	14
2. INTRODUCTION	16
2.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET	16
2.2 OBJECTIFS DU PROJET	16
2.3 EXPRESSION DES BESOINS DES UTILISATEURS EN MATIERE DE LOCALISATION	16
2.4 CARACTERISTIQUES ET ORIENTATIONS DE LA NAVIGATION PAR SATELLITES	17
2.5 APPORTS DE GALILEO PAR RAPPORT A GPS	17
2.6 INTEGRATION DES SERVICES DE NAVIGATION DANS LA TELEMATIQUE DES TRANSPORTS ROUTIERS	17
2.7 LIMITES DU PROJET ET DOMAINE DE VALIDITE	18
3. MÉTHODOLOGIE	19
3.1 DEFINITION DES CARACTERISTIQUES DE LA LOCALISATION	21
3.1.1 <i>Précision de la position</i>	21
3.1.2 <i>Fréquence de localisation</i>	22
3.1.3 <i>Intégrité</i>	22
3.1.4 <i>Disponibilité</i>	23
3.1.5 <i>Continuité</i>	23
3.1.6 <i>Synthèse des caractéristiques de la localisation</i>	24
3.2 METHODE D'EVALUATION	24
3.2.1 <i>Approche quantitative et classes d'évaluation</i>	25
4. BESOINS DES UTILISATEURS EN TERMES DE LOCALISATION	27
4.1 DEMARCHE	27
4.2 DESCRIPTION ET EXIGENCES DES SERVICES TELEMATIQUES	27
4.2.1 <i>Service d'assistance à la conduite (ADAS)</i>	27
4.2.2 <i>Information sur la circulation et les déplacements</i>	33
4.2.3 <i>Gestion du trafic</i>	37
4.2.4 <i>Gestion de fret et de flottes</i>	38
4.2.5 <i>Transports publics</i>	40
4.2.6 <i>Services d'urgence</i>	42
4.2.7 <i>Paiement électronique</i>	45
4.3 DESCRIPTION ET EXIGENCES DES APPLICATIONS DU SIR	46
4.3.1 <i>Repérage spatial et topologique</i>	46
4.3.2 <i>Processus de gestion de l'entretien</i>	49

4.3.3	<i>Processus d'exploitation (Betrieb & Nutzung)</i>	51
4.4	AGREGATION DES CLASSES DES CARACTERISTIQUES	54
4.5	SYNTHESE DES BESOINS EN LOCALISATION	56
5.	POTENTIEL ET PERFORMANCE DES SYSTEMES DE NAVIGATION.....	58
5.1	CLASSIFICATION DES SYSTEMES DE NAVIGATION	58
5.2	DESCRIPTION ET PERFORMANCES DES SYSTEMES A ONDES RADIO	60
5.2.1	<i>Systèmes de navigation par satellites</i>	60
5.2.2	<i>Systèmes d'augmentation par satellites</i>	65
5.2.3	<i>Systèmes de radiolocalisation terrestre</i>	66
5.3	DESCRIPTION ET PERFORMANCES DES SYSTEMES DE NAVIGATION A L'ESTIME ET BASES SUR LA CARTE.....	72
5.4	SYNTHESE DES PERFORMANCES DES SYSTEMES DE NAVIGATION	74
6.	ADEQUATION ENTRE BESOINS (TTR ET SIR) ET SOLUTIONS DE NAVIGATION	76
6.1	TYOLOGIE DES SERVICES TTR ET DES APPLICATIONS SIR.....	76
6.2	TYOLOGIE DES SOLUTIONS DE NAVIGATION	79
6.2.1	<i>Navigation avec garantie de l'intégrité</i>	79
6.2.2	<i>Navigation avec fonctions cartographiques</i>	80
6.2.3	<i>Navigation de base</i>	81
6.3	SYNTHESE ENTRE BESOINS ET SOLUTIONS.....	82
7.	RECOMMANDATIONS	83
7.1	AIDE A L'EXPRESSION DES BESOINS EN LOCALISATION	83
7.1.1	<i>Services de la télématique des transports</i>	85
7.1.2	<i>Applications du SIR</i>	86
7.2	AIDE AU CHOIX D'UNE SOLUTION DE NAVIGATION	87
7.3	RECOMMANDATIONS POUR LA NORMALISATION (VSS).....	91
7.3.1	<i>Contexte des normes sur le repérage</i>	91
7.3.2	<i>Place de la localisation et de la navigation dans les normes</i>	94
8.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	95
9.	RÉFÉRENCES	98
9.1	CONTRIBUTIONS AU PROJET.....	98
9.2	BIBLIOGRAPHIE	98
9.3	REFERENCES INTERNET ET DIVERS	99
10.	GLOSSAIRE.....	102

Liste des figures

Figure 1 : Exemple schématique d'impact de la localisation sur un service TTR (péage de zone).....	18
Figure 2 : Démarche générale du projet Satelrou	19
Figure 3 : La position vraie se trouve à l'intérieur d'une ellipse d'erreur calculée avec une probabilité de 95 %.	21
Figure 4 : Erreur de position entre la vraie trajectoire et une suite de positions estimées avec une certaine probabilité	21
Figure 5 : Relation entre dispersion et exactitude d'une position.....	22
Figure 6 : Risque d'intégrité et erreur de position inférieure à un niveau de protection (PL).....	22
Figure 7 : Visualisation de l'intégrité et de la disponibilité d'un système de navigation appliqué au domaine routier.....	23
Figure 8 : Inter-relations entre les caractéristiques de la localisation	24
Figure 9 : Exigences des bases de données cartographiques proposées dans le projet NextMAP	28
Figure 10 : Détection d'obstacles et placement dans un contexte cartographique.....	31
Figure 11 : Organigramme de classification des caractéristiques de la localisation.....	55
Figure 12 : Classification des systèmes de positionnement utilisés en télématique routière	58
Figure 13 : Cas d'utilisation de GPS en zone urbaine.....	59
Figure 14 : Architecture générale des solutions de navigation	74
Figure 15 : pondération des caractéristiques de la localisation en fonction des classes d'applications/services.	76
Figure 16 : Architecture générale des solutions de navigation	79
Figure 17 : Système avec garantie de l'intégrité	80
Figure 18 : Système avec fonctions cartographiques	80
Figure 19 : Système de base.....	81
Figure 20 : Spécifications des besoins en localisation	83
Figure 21 : Spécification des éléments pour le choix d'une solution de navigation	87
Figure 22 : Perspective d'implémentation des systèmes coopératifs, de [21]	96

Liste des tableaux

Tableau 1 : classes pour la précision de la position.....	25
Tableau 2 : classes pour la fréquence de localisation.....	25
Tableau 3 : classes pour le risque d'intégrité	25
Tableau 4 : classes pour la disponibilité.....	26
Tableau 5 : classes pour la continuité	26
Tableau 6 : Agrégation des caractéristiques de la localisation	54
Tableau 7 : Synthèse des caractéristiques en localisation dans les services de télématique des transports routiers.....	56
Tableau 8 : Synthèse des caractéristiques en localisation pour le système d'information de la route	57
Tableau 9 : Classes de précisions commentées	75
Tableau 10 : Synthèse entre typologie des services et type de solutions de navigation	78
Tableau 11 : Synthèse entre typologie des services et type de solutions de navigation	82
Tableau 12 : Questions et réponses pour l'expression de besoins en localisation.....	84
Tableau 13 : Exemples d'expression des besoins pour la TTR	85
Tableau 14 : Exemples d'expression des besoins pour le SIR	86
Tableau 15 : Principaux éléments et options pour le choix d'une solution de navigation	90
Tableau 16 : Types de normes, contenu et usage	91

IMPRESSUM

Centre de recherche

Direction de projet

Pierre-Yves Gilliéron, EPFL, Laboratoire de Topométrie

Contributions

Mme V. Chazal et M. P.-Y. Gilliéron du Laboratoire de Topométrie de l'EPFL

M. J.-L. Miserez du bureau INSER SA

M. Ch. Rosenthaler et M. C. Marschal, du bureau d'ingénieurs Rosenthaler + Partner AG

M. F. Mühlethaler, de la société PTV Swiss.

Commission d'accompagnement

EK 9.03 Télématique des transports routiers - Systèmes de repérage et échange de données

Président

Ph. Mattenberger, puis P.-Y. Gilliéron (dès 2007)

E. Bernard, Infolite

H.-R. Gnägi, ETHZ

A. Maradan, Tiefbauamt Kanton Bern

F. Mühlethaler, PTV Swiss

M. Probst, Tele Atlas

M. G. Petersen, Office fédéral des routes

Mandat de recherche VSS 2003/903 sur demande de l'Association Suisse des Professionnels de la route des transports (VSS)

1. RÉSUMÉS

1.1 Résumé

Situation

Le développement des activités de la navigation par satellites a un impact de plus en plus fort dans l'organisation et la gestion des transports terrestres. Dans les domaines maritime et de l'aviation civile, la navigation est historiquement liée aux développements d'activités, de systèmes et de procédures. Les normes sont donc bien établies et intègrent déjà les nouvelles technologies spatiales (localisation par satellites, GPS), ce qui n'est pas le cas des transports terrestres. Ainsi de nombreuses initiatives sont lancées en faveur de l'intégration des services de localisation par satellites afin d'améliorer les systèmes de transports terrestres. Ce projet met un accent particulier sur les questions de sécurité dans les transports avec le recours à un système de localisation de haute qualité et pouvant garantir un niveau de service élevé.

Plus spécifiquement, les méthodes précises de localisation et de positionnement des véhicules sont fondamentales pour la gestion du trafic et des transports. Par exemple, on peut estimer la fluidité du trafic en utilisant les positions et vitesses des véhicules sur le réseau routier (FCD-Floating Car Data). Pour répondre à ce besoin, de nombreuses technologies de localisation sont disponibles (localisation par satellites, radionavigation terrestre, téléphonie mobile, capteurs,...). Chacune de ces technologies comporte des avantages et inconvénients en termes d'utilisation et de disponibilité, ce qui a un impact direct sur la qualité des services télématiques.

Le marché de la navigation est en forte croissance et de nombreux d'utilisateurs possèdent un GPS que se soit dans un téléphone portable ou dans une voiture. Ainsi la perception d'une solution universelle de localisation grandit chaque jour, sans toutefois rendre les utilisateurs attentifs aux limites des technologies, qui peuvent être totalement inopérantes dans certaines conditions.

Buts

Le but de ce projet est d'étudier le potentiel des méthodes de localisation et des futurs services qui seront proposés pour les besoins de la télématique des transports routiers et pour le système d'information et de gestion de la route. Ce projet sert de base pour une recommandation d'exploitation et d'intégration des méthodes de navigation et de localisation pour les besoins du domaine routier.

Les objectifs du projet sont:

- de fournir une synthèse du potentiel des systèmes de navigation et de localisation par rapport aux besoins spécifiques du domaine routier
- d'évaluer l'adéquation des solutions de navigation par rapport aux exigences des applications de la télématique des transports routiers (TTR) ainsi que du système d'information de la route (SIR)
 - o TTR : péage routier, assistance à la conduite, gestion de transport de matières dangereuses
 - o SIR : gestion in situ de l'entretien courant, relevés d'accidents
- d'inciter à intégrer les principes de la navigation et leurs applications potentielles dans les travaux de recherche et de normalisation de la VSS

Approche et déroulement

L'approche proposée dans ce projet se base d'une part sur les connaissances spécifiques des domaines métiers de la route (TTR, SIR) ainsi que des connaissances techniques des systèmes de navigation. L'analyse repose sur les besoins des utilisateurs (route et trafic) en matière de localisation face aux exigences des applications.

Les étapes suivantes sont développées dans le projet:

- expression des besoins en matière de localisation pour la TTR et le SIR. Les champs d'applications de la TTR se réfèrent principalement aux services télématiques décrits dans la norme SN 640 871: assistance à la conduite (ex. évitement de collision), information sur la circulation et les

- déplacements, gestion du trafic, gestion de flottes, services d'urgence (e-call) et paiement électronique.
- caractéristiques des systèmes de navigation. Cette étape présente les différentes architectures de systèmes (satellites, capteurs, GSM, map matching,...) et définit les critères de performance.
- adéquation des besoins de la TTR et du SIR avec les performances des systèmes de navigation. L'étude propose une classification avec d'une part une typologie des services de la TTR et du SIR, et d'autre part des typologies de solutions de navigation.
- recommandations pour aider l'utilisateur à exprimer ses besoins en localisation et pour le guider dans le choix d'une architecture de solution de navigation. L'étude propose également quelques pistes de réflexions sur la place de la navigation et de la localisation dans les normes suisses de la TTR et du SIR.

Résultats et conclusions

Les principaux résultats du projet sont:

- des définitions des caractéristiques de la localisation : précision, disponibilité, continuité et intégrité
- une synthèse des caractéristiques des besoins en localisation pour les principaux services de la TTR et pour le SIR
- la description des principales solutions de localisation et de navigation et leurs performances respectives
- une structuration des services en 4 classes liées à la sécurité: "sécurité des personnes", "avec une implication légale", "avec une implication commerciale" et "sans implication".
- des recommandations pour les domaines de la TTR et du SIR ainsi que pour la normalisation

Recommandations et perspectives

L'étude a montré la complexité qui réside dans l'expression des besoins en localisation. Celle-ci est très variable d'une application à une autre et repose sur de nombreux critères. En outre, il n'existe pas un système universel de navigation adapté à toutes les situations. La démocratisation des systèmes de navigation pour l'automobile, appelés communément « GPS », donne l'illusion que beaucoup de questions de localisation sont résolues, ce qui est loin d'être le cas lorsque l'on aborde la question de l'intégrité : - *Puis-je faire confiance de manière absolue à l'information fournie par le GPS ?*

Une première recommandation est liée au fait que chaque technologie a ses propres limites et qu'elles doivent être clairement spécifiées dans le contexte de l'application. Pour un système de suivi de transport de matières dangereuses, par exemple, il est nécessaire d'avoir une localisation permanente du véhicule. Or la réception GPS dans un tunnel n'est pas possible, ce qui rend le système de suivi inopérant. Suivant les exigences de l'application il est donc nécessaire de combiner les technologies: GPS et capteurs, GPS et GSM. Ceci rend l'évaluation de performance du système combiné plus complexe (ex. en cas de non réception de signaux GPS, le GSM peut fournir une information de localisation mais avec une autre précision tout en assurant la continuité de service).

L'étude propose quelques recommandations aux utilisateurs professionnels du domaine routier (TTR, SIR) avec :

- une aide à l'expression des besoins en localisation : elle se base sur des questions et réponses types sur les caractéristiques de la localisation, les performances attendues et les fonctionnalités.
- une aide pour le choix d'une solution de navigation : caractérisée par l'architecture, les performances, les fonctionnalités et les coûts.

Ces recommandations sont mises en rapport avec les principaux services de la TTR et les applications du SIR :

- pour la gestion du trafic et des transports : assistance à la conduite, péage routier, gestion de flotte de véhicules,
- pour le système d'information de la route : gestion de l'entretien courant, relevé d'accidents, SIR mobile pour le relevé

Quelques recommandations sont formulées par rapport à la normalisation. On propose notamment l'insertion de la problématique de la navigation et de la localisation dans les normes consacrées au système

d'information de la route (SN 640 910 et suivantes) ainsi que dans les normes sur le repérage et l'échange de données (SN 671 940 et suivantes) avec :

- l'intégration du concept de localisation dynamique (temps réel)
- la maîtrise de la qualité des paramètres de base de la localisation (ex. concept d'intégrité)
- les interfaces avec les systèmes de navigation

Perspectives

Dans sa conclusion, l'étude recommande:

- la participation ou l'organisation de tests opérationnels de services basés sur la localisation afin de mieux cerner les exigences des utilisateurs
- de surveiller l'évolution des services télématiques induits par les marchés de masse de la navigation (impacts sur les services télématiques publics)
- de suivre le développement des récepteurs GNSS pour les applications exigeantes de la TTR
- de prendre part activement au déploiement des systèmes coopératifs qui favoriseront l'aspect sécuritaire des services basés sur la localisation

1.2 Zusammenfassung

Ausgangslage

Die Entwicklung der Satellitennavigation beeinflusst zunehmend die Organisation und das Management der terrestrischen Transporte. In den Bereichen Schifffahrt und zivile Luftfahrt wird diese Navigation bereits seit einiger Zeit benutzt. Die Standards (Normen) für diese neuen Technologien (Ortung durch Satelliten, GPS) liegen - im Gegensatz zu den terrestrischen Transporten - vor. Es sind zahlreiche Bestrebungen im Gang die Satellitenortung auch für diese Transporte zu nutzen und die Ortungs-Systeme zu verbessern. In der vorliegenden Studie werden speziell auch die Belange der Verkehrssicherheit - unter Berücksichtigung eines Ortungssystems mit hoher Qualität - untersucht, damit ein einwandfreier Betrieb gewährleistet werden kann.

Eine präzise Lokalisierung der Fahrzeuge ist heute für das Verkehrsmanagement von zentraler Bedeutung. Der Verkehrsfluss im Strassennetz kann z.B. aufgrund der Position (Ortung) und Geschwindigkeit der Fahrzeuge (Floating Car Data, FCD) bestimmt werden. Hierzu sind heute zahlreiche Technologien verfügbar (Satellitenortung, Radionavigation, Mobiltelefone, Zähler...). All diese Technologien haben Vor- und Nachteile hinsichtlich Einsatz und Verfügbarkeit, was einen direkten Einfluss auf die Qualität der Telematik-Dienste hat.

Der Markt für die Fahrzeugnavigation entwickelt sich sehr stark und viele Anwender besitzen bereits einen GPS sei es im Mobiltelefon oder im Fahrzeug. Daher wächst jeden Tag die Wahrnehmung einer universellen Lokalisierungslösung, ohne die Anwender jedoch auf die Grenzen der Technologien aufmerksam zu machen. Unter bestimmten Bedingungen können diese Technologien völlig funktionsunfähig sein.

Ziele

Ziel dieser Studie ist es das Potential der Lokalisierungsmethoden bzw. -verfahren für künftige Telematik-Dienste für Strassentransporte und die Informationsbedürfnisse für das Verkehrsmanagement zu klären. Dieses Projekt dient als Grundlage einer Empfehlung für den Betrieb und die Integration der Navigations- und Positionierungsmethoden im Strassenbereich.

Die Projektziele sind:

- Zusammenstellen des Potentials der Navigations- und Lokalisierungssysteme für den Bereich Strasse.
- Beurteilung der Navigationslösungen hinsichtlich der Bedürfnisse der Strassen-Verkehrstelematik (SVT) und des Strasseninformationssystems (SIS):
 - o SVT: Strassengebühren, Fahrerunterstützung, Management von Gefahrguttransporten
 - o SIS : Strassenunterhalt/-betrieb, Unfallerefassung

- Aufzeigen der Navigationsgrundsätze und des Potentials der Anwendungen für die Forschungs- und Normierungsarbeiten VSS.

Vorgehen und Ablauf

Das in der Studie gewählte Vorgehen beruht einerseits auf spezifischen Fachkenntnissen (SVT, SIS) wie auch auf Fachkenntnissen der Navigationssysteme. Die Analyse fusst auf den Benutzerbedürfnissen (Strasse und Verkehr) hinsichtlich Lokalisierung (Ortung) und den Bedürfnissen der Applikationen (Anwendungen).

Vorgehen und Ablauf sind wie folgt:

- Festhalten der Bedürfnisse hinsichtlich SVT und SIS. Der Anwendungsbereich für SVT umfasst im Prinzip die Verkehrstelematik-Dienste wie in der Norm SN 640 871 beschrieben: Fahrerunterstützung (zB. Kollisionswarnung), Verkehrsinformationen, Verkehrsmanagement, Flottenmanagement, Notfalldienste (e-Call) und elektronische Gebührenerhebung.
- Eigenschaften der Navigationssysteme. Es werden die verschiedenen Systemarchitekturen (Satelliten, Zähler, GSM, Map Matching....) und Anforderungskriterien beschrieben und definiert.
- Abstimmung der Anforderungen aus SVT und SIS mit der Leistungsfähigkeit der Navigationssysteme. Die Studie schlägt einerseits eine Klassierung mit Typisierung der SVT- und SIS- Dienste vor wie auch eine Typisierung der Navigationslösungen.
- Empfehlungen für den Anwender als Unterstützung zur Formulierung der Ortungs-Bedürfnisse und zur Wahl der Systemarchitektur für die Navigationslösung. Die Studie beinhaltet auch Überlegungen und Vorschläge für die Navigation und Ortung im Rahmen der schweizerischen SVT- und SIS - Normen.

Resultate und Folgerungen

Die wichtigsten Resultate aus der Studie sind:

- Definition der Eigenschaften für die Lokalisierung (Ortung) hinsichtlich: Genauigkeit, Verfügbarkeit, Kontinuität und Integrität
- Eine Zusammenfassung der Anforderungen für die Lokalisierung (Ortung) für die wichtigsten SVT- und SIS Dienste
- Beschreibung der wichtigsten Lokalisierungs- und Navigationslösungen sowie ihrer Leistungsfähigkeit
- eine Strukturierung der Dienste in 4 Klassen in Bezug zur Sicherheit: "Sicherheit der Personen", "Rechtliche Aspekte", "Wirtschaftliche Aspekte" und "Ohne Auswirkung"
- Empfehlungen für die Bereiche SVT, SIS wie auch für die Normierung.

Empfehlungen und Ausblick

Die Studie zeigt die Komplexität der Lokalisations-Bedürfnisse auf die je nach Art der Applikation unterschiedlich ist und auf zahlreichen Kriterien fusst. Es gibt kein universelles Navigations-Systeme welches alle Bedürfnisse befriedigt. Die Vielfalt der Fahrzeug-Navigations-Systeme, gemeinhin als "GPS" bezeichnet, erweckt den Eindruck das viele der Lokalisationsfragen gelöst sind, was nicht der Fall ist, vor allem wenn es Fragen betreffend die Integrität wie - Kann ich mich absolut auf die Angaben des "GPS" verlassen? - betrifft.

Eine erste Empfehlung steht im Zusammenhang mit der Tatsache dass jede Technologie ihre eigenen Grenzen besitzt und diese im Kontext der Anwendung klar spezifiziert sein müssen. Ein System für die Verfolgung von Transporten von gefährlichen Gütern muss permanent die Fahrzeuge lokalisieren können. Der GPS-Empfang ist jedoch in einem Tunnel nicht gewährleistet und das System dadurch funktionsunfähig. Je nach Anforderungen der Anwendung ist es somit notwendig Technologien zu kombinieren: GPS und Sensoren, GPS und GSM. Dies erschwert die Bewertung der Leistungsfähigkeit des kombinierten Systems (zum Beispiel wenn die GPS-Signale nicht empfangen werden können, kann der Dienst aufrecht erhalten werden in dem das GSM eine weniger genaue Lokalisierung liefert).

Die Studie beinhaltet Empfehlungen für die professionellen Anwender im Bereich Strasse (SVT, SIS):

- zum Formulieren der Lokalisierungs-Bedürfnisse: Sie beruht auf den Fragen und Antworten zur Typisierung der Lokalisierungseigenschaften, der zu erwartenden Leistungen und Funktionalitäten.
- zur Wahl des Navigations-Typs: sie schlägt Auswahlkriterien zur Architektur, Leistungsfähigkeit, Funktionalität und der Kosten vor.

Diese Empfehlungen sind mit den wichtigsten Anforderungen der SVT-Dienste und den SIS-Applikationen abzustimmen:

- für das Verkehrsmanagement: zur Fahrerunterstützung, für Strassengebühren, Flottenmanagement,
- für Strasseninformationssysteme: Betrieblicher Unterhalt, Unfallereignisse, zur Zustandserfassung.

Die Empfehlungen sind abzustimmen mit der Normierung. Es wird empfohlen die Anforderungen für die Navigation und Lokalisierung in den Normen für die Strasseninformation (SN 640 910 und folgend) wie auch in den Normen für die Referenzierung und den Datenaustausch (SN 671940 und folgend) zu berücksichtigen:

- Integration der dynamischen Lokalisierung (in Echtzeit)
- Beherrschung der Qualität der grundlegenden Parameter für die Lokalisierung (z.B. Konzept der Integritäts-erhaltung)
- Die Schnittstellen zur Navigation

Ausblick

Die wesentlichen Empfehlungen aus dieser Studie sind:

- Mitarbeit oder Organisation von Feldtests für die Navigations-Dienste um die Anforderungen der Benutzer einzubringen
- Überwachung der Entwicklung von Telematik-Dienstleistungen, die von dem Massenmarkt Navigation beeinflusst wird (Auswirkung auf die öffentlichen Telematik-Diensten).
- Weiterverfolgen der Entwicklung der GNSS Empfänger für die bestehenden SVT Applikationen
- Aktive Mitarbeit bei der Entwicklung Kooperativer Systeme welche die Sicherheit der Ortungsdienste (Location Based Services) favorisieren.

1.3 Summary

Context

The development activities of satellite navigation will impact the organization and management of land transport. The navigation is historically linked to the development of activities, systems and procedures in the maritime domain and in the civil aviation. The standards are well established and already include such new space technologies (satellite positioning, GPS), which is not the case of land transport. So many initiatives are launched towards the integration of location based services by satellite to improve land transport systems. This project focuses on safety issues in transport with the use of high quality positioning system with guarantee of a high level of service.

More specifically, the accurate positioning systems for vehicles are fundamental for the traffic management. For example, the traffic flow can be estimated using the positions and velocities of vehicles on the road network (FCD-Floating Car Data). To meet this need, many positioning technologies are available (GPS, radio navigation, GSM, sensors). Each technology has advantages and disadvantages, including limitations in terms of use and availability, which has a direct impact on the quality of road traffic services.

The navigation market is growing rapidly and many users have a GPS that is either integrated into a mobile phone or installed in a car. Thus the perception of a universal solution for positioning is growing every day, without warning the users regarding the limits of technologies which can be totally ineffective under certain conditions.

Objectives

The aim of this project is to investigate the potential of the positioning technologies and the future services to be offered in the field of intelligent transport systems (ITS), and the needs of the road information system. This project provides the basis for a recommendation of use and integration of navigation technologies for the requirements of the road sector.

The objectives of the project are:

- to provide an overview of the potential of navigation systems in relation to the specific needs of the road sector
- to evaluate the adequacy of navigation solutions according to the requirements of the applications of ITS and the road information system (RIS)
 - o ITS: road pricing, driver assistance, transportation management of hazardous materials
 - o RIS: on site road maintenance, recording of accidents
- to improve the integration of navigation technologies and their potential applications in the research programme and the process of standardization of the VSS

Progress

This project proposes an approach based on one hand related to the specific knowledge of the road domain (ITS, RIS) and, on the other hand, on technical knowledge of navigation systems. The analysis is based on users' needs (road infrastructure and traffic) in positioning according to the application requirements.

The following steps are developed in the project:

- Expression of needs on location for the ITS and the RIS. The fields of applications of ITS refer mainly to telematics services described in the standard SN 640 871: Driver assistance (e.g. collision avoidance), traffic and travel information, traffic management, fleet management, emergency services (e-call) and road pricing.
- Characteristics of future navigation systems. This step presents different system architectures (satellites, sensors, GSM, map matching) and defines the performance criteria.
- Adequacy between the needs of the ITS services and the RIS, compared to the performance of the navigation systems. The study proposes on one side a typology of road services (ITS, RIS), and on the other side a classification of navigation solutions.
- Recommendations to help the user to express their needs in positioning, and to guide the choice of a navigation solution. The study also proposes some ideas being considered on the role of navigation in the Swiss road standards.

Results and conclusion

The main results of the project are:

- Definitions of the positioning performance: accuracy, availability, continuity and integrity
- A summary of the needs in positioning for the main ITS services and for the RIS
- Short descriptions of the main solutions of positioning and navigation and their respective performances
- A structuring of services into 4 classes related to security: "safety of life", "legal implication", "commercial implication", and "without implication".
- Recommendations for the future standards in ITS and RIS

Recommendations and future work

The study has showed that the expression of the needs in positioning is complex and varies from one application to another and depends on many criteria. In addition, there is no universal navigation solution which is adapted to all situations. The mass market of car navigation systems, commonly called "GPS" gives the illusion that many positioning issues are solved, which is far from being the case when discussing the question of integrity: - Can I trust absolutely to information provided by GPS?

A first recommendation is related to the fact that each technology has its own limitations and must be clearly specified in the application context. The monitoring of hazardous goods transportation is a good example, where it is necessary to have a permanent location of the vehicle. But the reception of GPS signals in a tunnel is not possible, which makes the monitoring system ineffective. Depending on the application requirements it is necessary to combine technologies: GPS and other sensors, e.g. GPS and GSM. This

makes the performance evaluation of the combined system more complex (e.g. in case of lost of GPS signal, the GSM can provide positioning information with a different accuracy while ensuring the service continuity).

This study proposes some recommendations to professional users of road sector (ITS, RIS) with:

- Guideline to the expression of positioning needs: it is based on a list of questions and answers according to the types of positioning features, the expected performance and functionality.
- Support for selecting a navigation solution: it offers choice criteria for the architecture, the performances, the functionalities and the costs.

These recommendations are also linked to the main ITS services and RIS applications:

- ITS: driver assistance, road tolling, fleet management of vehicles,
- RIS: road maintenance, recording of accidents, mobile GIS for road surveying

Some recommendations

Some recommendations are expressed for the process of standardisation (ITS, RIS). The issue of navigation and positioning needs to be introduced in the standards for the RIS (SN 640 910 and following), as well as the ITS standards (SN 671 940 and following) with:

- Integrating the concept of dynamic positioning (real time)
- Management of the quality of basic positioning parameters (e.g. concept of integrity)
- Interfaces to navigation systems (input, output)

Outlook

In conclusion, this study recommends:

- The participation or organisation of field operational tests of location based services to better describe the users' requirements
- To monitor the evolution of ITS services induced by the mass market navigation (impacts on public institutions in charge of traffic management services)
- To follow the development of GNSS receivers for over demanding applications (ITS)
- To participate actively in the deployment of cooperative systems which will promote the safety aspect of location based services

2. INTRODUCTION

2.1 Contexte et justification du projet

Le développement des activités de la navigation par satellites aura un impact dans l'organisation et la gestion des transports aériens, terrestres et maritimes. Si le ciel et la mer sont des lieux où la navigation est historiquement liée aux développements d'activités, c'est une discipline relativement nouvelle qu'il s'agit d'intégrer aux transports terrestres. Ainsi de nombreuses initiatives sont lancées en faveur de l'intégration des services de localisation par satellites afin d'améliorer les systèmes de transports terrestres sur la route ou sur le rail. Dans ce projet, un accent particulier est mis sur les questions sécuritaires des transports avec la nécessité de s'appuyer sur un système de localisation de haute qualité et pouvant garantir un niveau de service.

Les initiatives lancées dans le 6^e programme cadre européen de recherche ont permis de définir un cadre d'application pour la télématique des transports et la navigation. On peut citer la construction de prototypes de récepteurs GALILEO et la validation de leurs performances sur des bancs d'essai, comme c'est le cas en Allemagne avec l'infrastructure du « Galileo Test and Development Environment » (GATE)¹. (Test Bed). Parallèlement aux aspects technologiques de la navigation, les questions d'adéquation aux besoins en localisation du domaine des transports routiers sont étudiées.

En Suisse, ces technologies seront intégrées dans de nombreux domaines d'activités ayant potentiellement recours à la localisation. La Suisse, par l'intermédiaire de l'office fédéral de l'aviation civile, a établi en 2000 un plan de radionavigation (CH-RNP) qui décrit les principaux enjeux des systèmes de navigation dans les transports et dans des domaines connexes. Ce plan définit le cadre global des activités de la navigation en Suisse et doit permettre aux domaines spécifiques d'anticiper l'intégration des futurs services de navigation [1].

C'est dans ce contexte, que ce projet de recherche, spécifique au domaine routier, s'est déroulé avec comme buts principaux de :

- **fournir une synthèse** du potentiel des systèmes de navigation par rapport aux besoins spécifiques du domaine routier en se concentrant sur l'apport de GALILEO.
- **évaluer l'adéquation des services de navigation** par rapport au domaine routier, plus particulièrement pour les applications mettant en jeu la sécurité ;
- **inciter à intégrer les principes de navigation** et leurs applications potentielles dans les travaux de recherche et de normalisation de la VSS

2.2 Objectifs du projet

Le but de ce projet est d'étudier le potentiel des méthodes de localisation et des futurs services qui seront proposés dans le domaine de la télématique des transports routiers et pour les besoins du système d'information et de gestion de la route. Ce projet sert de base pour une recommandation d'exploitation et d'intégration des méthodes de navigation et de localisation pour les besoins du domaine routier.

Le projet couvre les objectifs suivants:

2.3 Expression des besoins des utilisateurs en matière de localisation

Un service de navigation par satellites ou autres technologies est qualifié par rapport aux prestations et performances qu'il peut fournir. L'exploitation d'un tel système n'est pas identique selon le domaine dans lequel il est appliqué. Les exigences d'un domaine d'application doivent être exprimées par rapport à des

¹ <http://www.gate-testbed.com/>

besoins spécifiques. Ensuite, il s'agit de confronter ces exigences d'utilisateurs avec les caractéristiques propres à un service de navigation.

- Etablir les besoins en matière de localisation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route.
- Caractériser ces besoins selon les champs d'application des services de télématique des transports (selon la norme SN 640 871) et établir une liste de critères déterminants.
- Exprimer ces besoins dans la perspective de l'utilisation d'un système de navigation.

2.4 Caractéristiques et orientations de la navigation par satellites

Le développement des systèmes de navigation par satellites est en plein essor avec le lancement de Galileo, la modernisation du GPS américain, du Glonass russe et le développement du système chinois Compass. A ce stade, il est primordial que l'évolution des applications et des services liés à la navigation soit coordonnée avec ces projets mondiaux. L'entrée en vigueur du système d'augmentation EGNOS en 2008 a permis de valider et de tester de nombreux cas d'application.

- Décrire l'architecture, les caractéristiques et les performances (précision, intégrité, disponibilité, continuité) des systèmes de navigation par satellites et autres technologies de localisation
- Présenter les alternatives et les compléments des systèmes de navigation par satellites (capteurs inertiels, map-matching, base de données géographique).
- Mettre en relation les performances des systèmes de navigation par rapport aux besoins en localisation des services de la télématique des transports routiers et du système d'information de la route.
- Exposer le principe de vulnérabilité d'un système de radionavigation et les risques associés au domaine routier

2.5 Apports de GALILEO par rapport à GPS

Le système GPS américain est déjà présent dans de nombreuses applications de télématique, notamment dans les systèmes d'aide à la navigation. Les performances du GPS sont satisfaisantes pour certaines applications, mais dès que les exigences augmentent, le système seul n'est plus suffisant [2]. L'apport d'EGNOS et les caractéristiques de GALILEO [3] seront des atouts nécessaires pour le développement d'applications exigeantes en télématique.

- Comparer les caractéristiques en termes de services et de performance des systèmes GPS et GALILEO.
- Évaluer le potentiel d'interopérabilité et de complémentarité des systèmes ainsi que l'évolution des récepteurs GNSS.
- Illustrer les apports de GALILEO avec des exemples pour le transport routier.

2.6 Intégration des services de navigation dans la télématique des transports routiers

De nombreuses applications ont déjà recours aux méthodes de localisation par satellites. C'est le cas notamment des usagers de la route qui utilisent le GPS pour l'aide à la navigation ou pour gérer une flotte de véhicules. Le domaine des transports (privés et publics) et de la route est un champ d'activité très large pour le renforcement de l'utilisation des méthodes satellitaires, en particulier dans les processus où la sécurité est en jeu. Les administrations (routes, transports) doivent encourager et anticiper l'intégration de ces nouvelles technologies dans leur processus de gestion.

- Étudier les domaines des transports (privés et publics) et de la route ayant potentiellement recours la navigation par satellites, par exemple le transport de matières dangereuses.

- Aider les utilisateurs à formuler leurs besoins en matière de localisation selon le type d'application
- Établir des recommandations pour l'intégration des méthodes et des services de navigation dans :
 - La télématique dans transports routiers ;
 - Le système d'information pour la gestion de l'entretien de la route.

2.7 Limites du projet et domaine de validité

Ce projet s'inscrit dans le contexte d'une évolution rapide des technologies de la navigation qui pénètrent de plus en plus le domaine des transports routiers. Ces moyens techniques de localisation apportent une nouvelle dimension dans la mesure d'un certain nombre de paramètres (position, vitesse, temps, ...) liés à l'espace routier et aux déplacements des véhicules. Ces grandeurs géométriques et physiques peuvent alors être associées à des processus de gestion de la route et du trafic ainsi qu'à des moyens d'assistance à la conduite. Vu le récent déploiement de ces technologies, la question de l'évaluation de leurs performances reste encore une tâche importante à réaliser dans le contexte des applications liées au domaine routier.

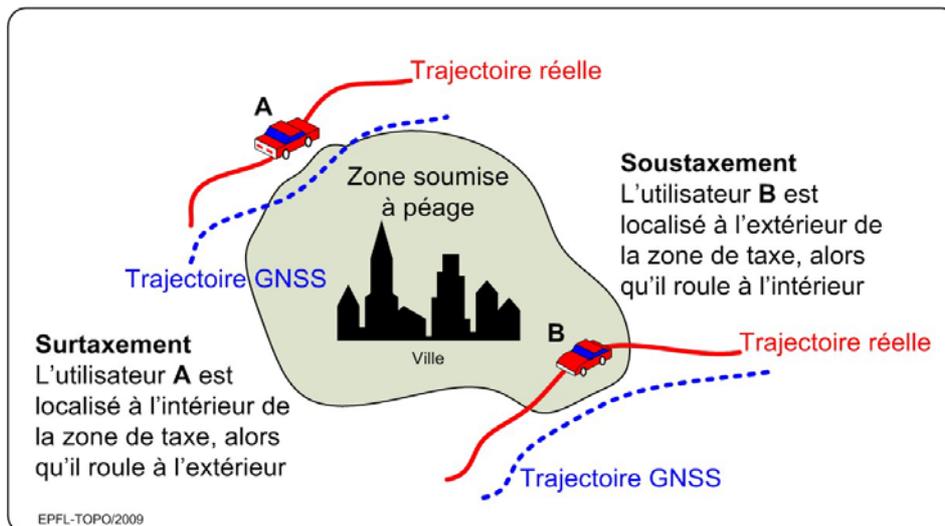


Figure 1 : Exemple schématique d'impact de la localisation sur un service TTR (péage de zone)

A titre d'exemple, la Figure 1 illustre le cas d'un service TTR de taxe routière basé sur la localisation des véhicules à l'aide d'un système GNSS. Si la composante localisation n'est pas déterminée avec exactitude, on peut se trouver dans deux cas de figure critiques:

- **A.** les véhicules sont faussement taxés, car ils sont localisés à l'intérieur de la zone de taxe, alors qu'ils circulent effectivement à l'extérieur
- **B.** les véhicules ne sont pas taxés car ils sont faussement localisés en dehors de la zone de taxe

Compte tenu, d'une part des nombreuses solutions techniques de localisation et de navigation et d'autres part de la quantité possible de services et applications de la télématique des transports routiers, la démarche de projet se limite à :

- décrire les principales caractéristiques des besoins en localisation en mettant l'accent sur les concepts et principes sans entrer dans les détails d'un point de vue mathématique et statistique
- décrire sommairement les principaux systèmes de localisation et de navigation et présentant leurs caractéristiques principales sans décrire en détail les composantes de l'architecture. De nombreux ouvrages existent sur ces technologies (c.f. bibliographie, 9.2).
- sélectionner les principales applications de la télématique des transports routiers et du système d'information de la route dans lesquelles la localisation joue un rôle prépondérant. Ce choix d'applications n'est pas exhaustif, mais il rassemble les cas les plus représentatifs
- synthétiser les applications en se concentrant sur le rôle de la localisation

Le domaine de validité de ce projet est lié à l'usage de la géolocalisation dans les différents processus métiers de la route. Le cadre de l'étude est fixé par les services de la télématique des transports routiers et par le système d'information de la route. Le domaine de validité est donné par le contexte des applications qui sont directement liées à l'espace (routier) et à la localisation de véhicules, de personnes ou d'objets. Ce sont donc principalement les applications qui ont un rapport direct avec le terrain qui sont concernées.

3. MÉTHODOLOGIE

Le projet Satelrou s'appuie sur deux domaines de compétences distincts : les métiers de gestion de la route et du trafic et les systèmes techniques de la navigation. Dans la méthodologie de projet, il s'est avéré nécessaire, d'une part de séparer ces deux domaines pour la partie d'analyse, et d'autre part de poser quelques définitions communes dans une perspective de synthèse.

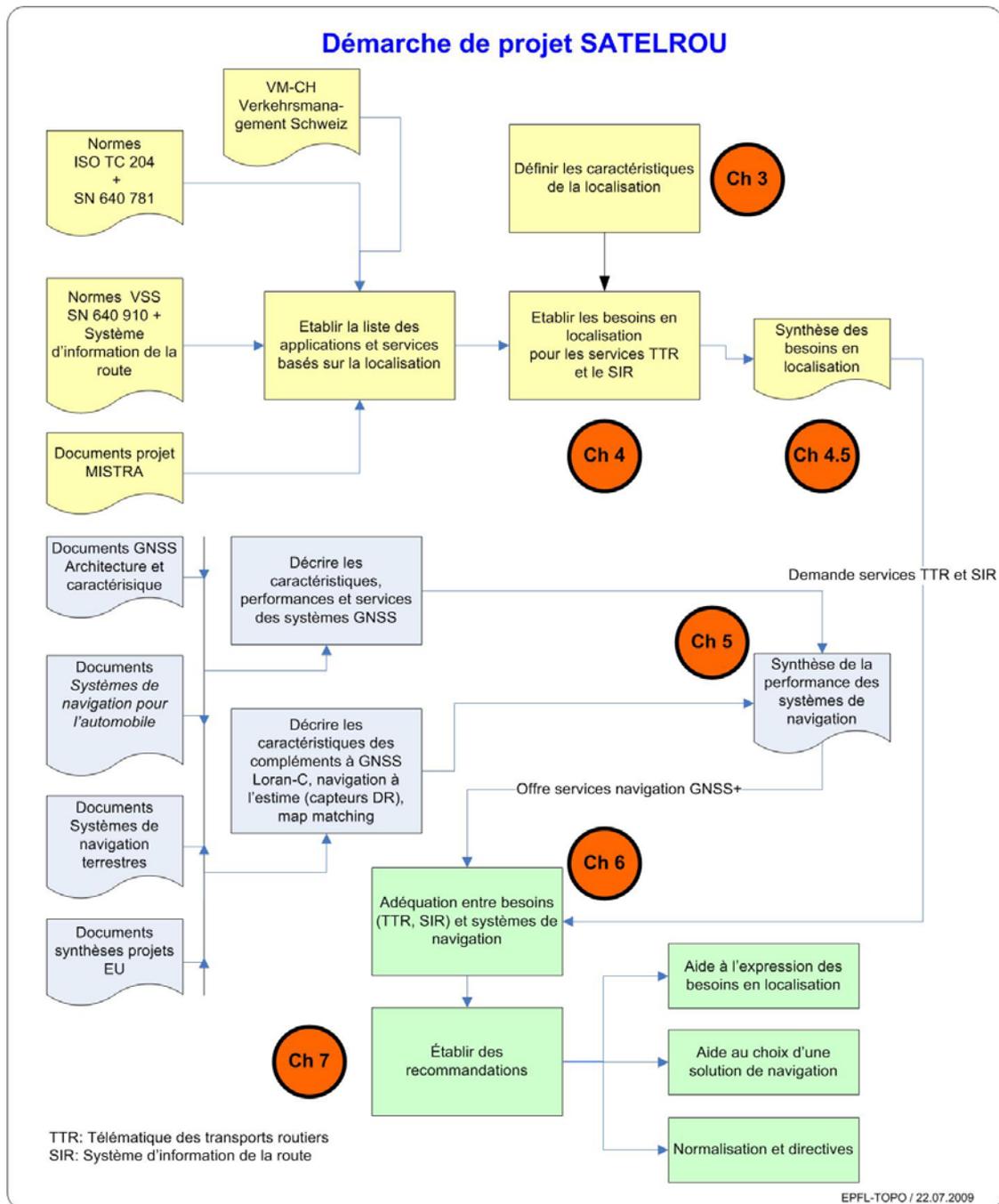


Figure 2 : Démarche générale du projet Satelrou

La Figure 2 illustre la démarche générale du projet avec les différentes parties d'analyses et de synthèses, ainsi que l'articulation des chapitres.

La démarche préliminaire de projet se compose de deux parties principales :

- La description des besoins des utilisateurs en termes de localisation pour la télématique des transports routiers (TTR) et pour le système d'information de la route (SIR)
- La description du potentiel et des performances des systèmes de navigation

En définissant des caractéristiques communes pour décrire, d'une part les besoins en localisation et d'autre part les performances des systèmes de navigation, on peut évaluer l'adéquation entre les exigences des utilisateurs et ce que peuvent fournir les solutions de navigation. Ce « matching » permettra de classer les applications selon leurs niveaux d'exigences et de définir ainsi une typologie des services de navigation.

L'étape finale consistera à rédiger une recommandation pour les personnes concernées par les services de la télématique des transports routiers et par le système d'information de la route. Cette recommandation sera une aide pour :

- l'expression des besoins en localisation pour une application donnée
- le choix d'une solution (en termes d'architecture) de navigation

Finalement cette recommandation orientera la VSS sur l'impact des technologies de la navigation sur les travaux de normalisation qui touchent les questions de repérage spatial que l'on trouve dans la gestion du trafic et des transports (SN 671 940 et suivantes) et dans le système d'information de la route (SN 640 910 et suivantes).

3.1 Définition des caractéristiques de la localisation

Ce chapitre décrit les principales caractéristiques de la localisation. Les concepts de base viennent des définitions que l'on trouve dans les normes de la mensuration et dans les spécifications techniques pour la navigation. Dans le domaine de la route et du trafic la norme SN 640 910-5 « Système d'information de la route: Métadonnées du repérage spatial » pose quelques unes de ces définitions [4].

Ces caractéristiques seront reprises, d'une part pour décrire les besoins des utilisateurs et d'autre part pour qualifier les différents systèmes de navigation.

3.1.1 Précision de la position

La **précision de la position** est une propriété d'un résultat de mesure qui se compose de l'**exactitude** et de la **dispersion**. L'exactitude est la conformité d'un résultat de mesures en se référant à une valeur considérée comme vraie. La dispersion est l'écart entre les mesures, effectuées dans les mêmes conditions et à l'aide de la même technique de lever.

Remarques

- Un résultat de mesure n'est précis que s'il est exact et non dispersé
- Pour fixer le niveau de précision d'un résultat de mesure, on définit un cercle ou niveau de tolérance en fonction du domaine d'application. Le cercle de tolérance doit contenir un certain pourcentage des résultats de mesure.
- En général, on utilise l'écart-type comme indicateur de la dispersion.
- Une inexactitude provient d'une méthode de lever non-adaptée ou d'erreurs de mesures systématiques.

English : Accuracy, Deutsch : Genauigkeit

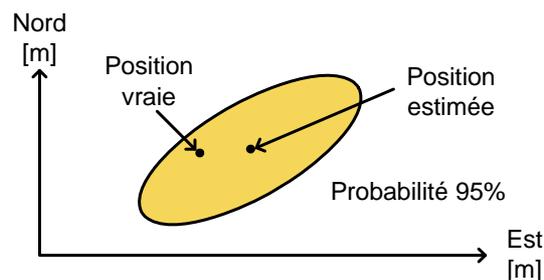


Figure 3 : La position vraie se trouve à l'intérieur d'une ellipse d'erreur calculée avec une probabilité de 95 %

La tolérance est la limite maximale de l'écart admis entre un résultat de mesures et une valeur vraie. En général, on fixe la limite de tolérance (ou limite d'alerte) avec une certaine probabilité.

English: Tolerance (or alert limit), Deutsch: Toleranz

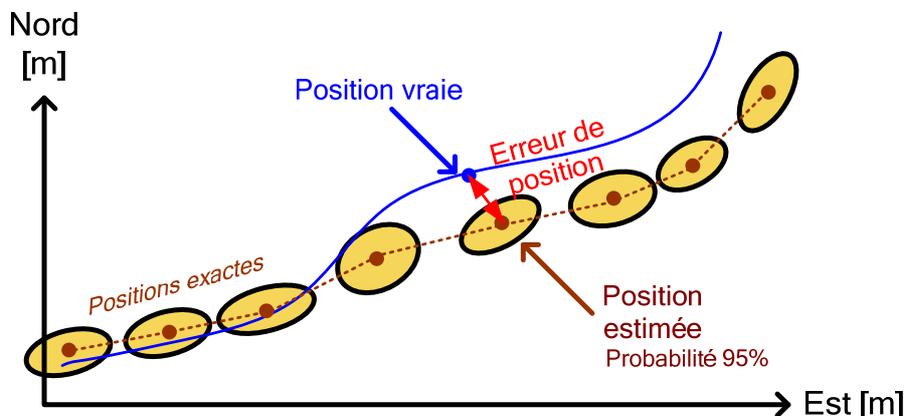


Figure 4 : Erreur de position entre la vraie trajectoire et une suite de positions estimées avec une certaine probabilité

La dispersion de la position, ou dispersion des coordonnées, dépend directement des moyens d'acquisition et de traitement des mesures. En général, on utilise l'**écart-type** (racine carrée de la variance) comme indicateur statistique de la dispersion (Streuunug) entre les mesures d'une grandeur.

English : Precision, Deutsch : Präzision

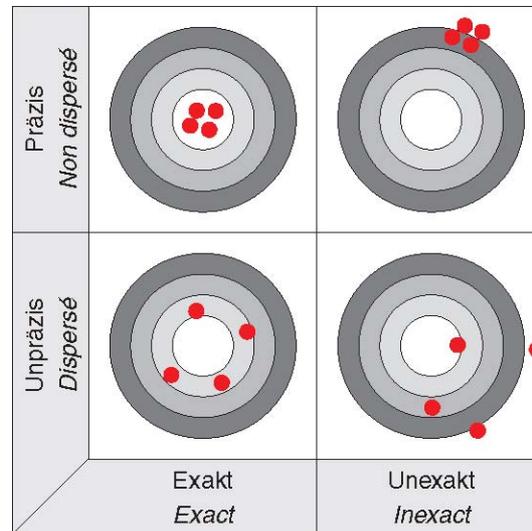


Figure 5 : Relation entre dispersion et exactitude d'une position

3.1.2 Fréquence de localisation

Un système de localisation a la capacité de fournir des positions de l'espace à différents instants.

La fréquence de localisation correspond au nombre de positions utiles et indépendantes (non corrélées) par unité de temps.

Exemple : un appareil GPS fournit des positions à 2 Hz, soit 2 positions par seconde.

English: update rate (or fix rate), Deutsch : Positionierungsfrequenz

3.1.3 Intégrité

L'intégrité est une mesure de confiance en l'information fournie par le système de localisation dans sa globalité. Elle inclut la capacité d'un système à prévenir l'utilisateur, à temps, que le système ne peut pas être utilisé pour l'opération voulue.

Ces exigences sont souvent exprimées par un **risque d'intégrité**, lequel représente la probabilité que l'utilisateur enregistre une erreur de position plus grande qu'un niveau de tolérance ou d'alerte, sans être informé dans un délai prédéfini (temps d'alerte).

English : Integrity, Deutsch : Integrität

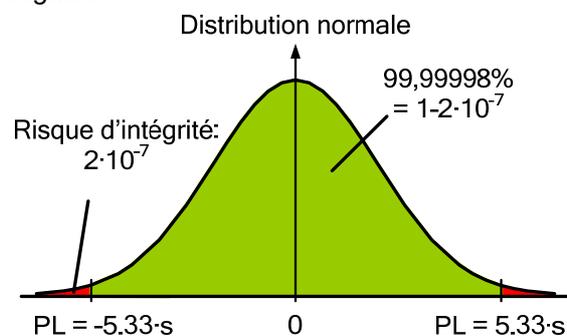


Figure 6 : Risque d'intégrité et erreur de position inférieure à un niveau de protection (PL)

Le **niveau de protection** (PL) est un intervalle de confiance strict défini avec une probabilité d'occurrence. La Figure 6 présente la distribution normale de l'erreur de position réellement commise dont 99.99998% des valeurs sont inférieures à un niveau de protection donné.

Exemple appliqué au domaine routier :

On considère le cas où le système de localisation doit permettre de déterminer sur quelle voie de circulation le véhicule est en train de rouler. Suivant les conditions de mesures, l'estimation de la précision de la position est plus ou moins exacte. Si l'erreur vraie est plus grande que l'erreur moyenne estimée (1σ), l'erreur est sous-estimée. Dans ce cas-là, il est possible que l'identification de la voie empruntée soit fautive, on parle alors d'un risque d'intégrité: le système place le véhicule sur la voie de droite, alors qu'il pourrait être sur la voie de gauche.

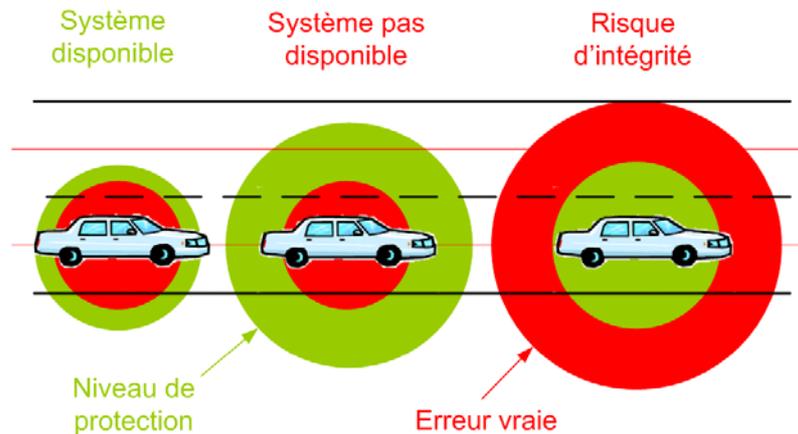


Figure 7 : Visualisation de l'intégrité et de la disponibilité d'un système de navigation appliqué au domaine routier

3.1.4 Disponibilité

La disponibilité est la capacité, pour les utilisateurs, de disposer du système de localisation à n'importe quel endroit et quel moment de la région couverte. Elle peut dépendre de facteurs environnementaux (villes, tunnels, forêts,...) ou du système de localisation lui-même (exigences demandées en termes d'exactitude et d'intégrité non remplies). C'est une proportion de temps pendant lequel le système est disponible.

English : Availability, Deutsch : Verfügbarkeit

3.1.5 Continuité

La continuité qualifie l'état de disponibilité permanente du système pendant un intervalle de temps spécifié, en général lié à la durée d'une opération.

Ce facteur est déterminant pour les applications de navigation exigeant un haut niveau de sécurité (assistance à la conduite, suivi de transports à risque ou de grande valeur,...).

English: Continuity, Deutsch : Kontinuität

3.1.6 Synthèse des caractéristiques de la localisation

Pour la suite de l'étude, on retiendra principalement les caractéristiques de précision de la localisation, intégrité, disponibilité et continuité. Ce sont les éléments de base qui serviront à exprimer les besoins en localisation et à qualifier les systèmes de navigation.

Ces éléments caractéristiques de localisation sont combinables suivant les exigences des applications. La Figure 8 illustre les relations internes entre les caractéristiques de précision, intégrité, continuité et disponibilité. La précision de la position est le paramètre de base à toute application et l'intégrité est celui réglant le niveau de confiance pour avertir l'utilisateur en cas de défaillance du système. Les notions de disponibilité et de continuité sont liées aux types d'opérations envisagées et à la capacité de disposer d'un système de localisation dans l'espace et dans le temps.

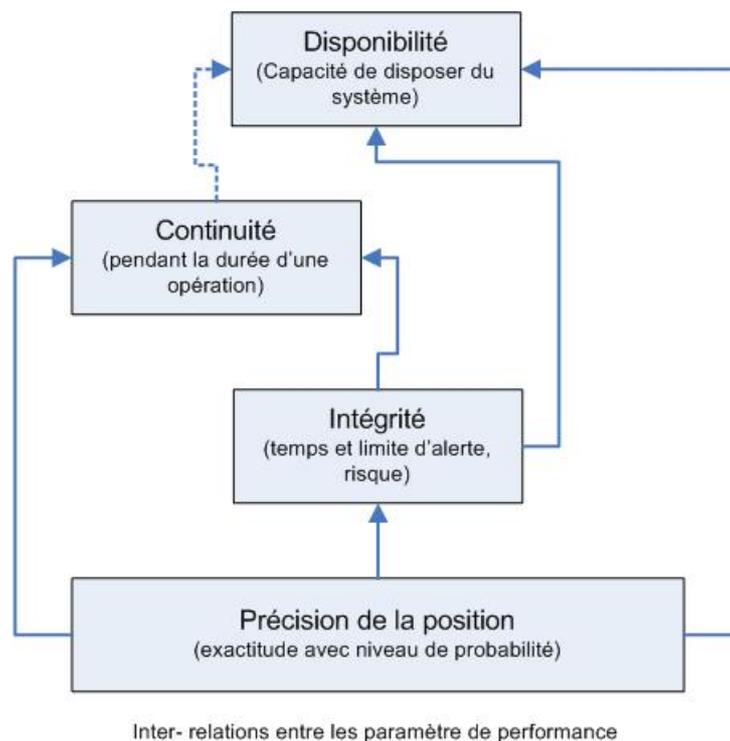


Figure 8 : Inter-relations entre les caractéristiques de la localisation

3.2 Méthode d'évaluation

Les différentes applications de la TTR et du SIR ont recours à la localisation dans des buts qui peuvent être très variables. La plupart des besoins en localisation sont rarement exprimés en fonction des caractéristiques citée au chapitre 3.1. On ne dispose donc que de très peu de valeurs quantitatives pour ces paramètres, à l'exception de la précision. Toutefois, cette étude privilégie une approche quantitative afin d'exprimer les besoins des utilisateurs des services TTR et du SIR. Cette approche a été proposée à des spécialistes de la télématique des transports et du système d'information de la route qui ont évalué les besoins en se basant sur leur propre expérience.

L'approche quantitative est proposée au chapitre 3.2.1. Elle traite les caractéristiques de la localisation de manière indépendante. Toutefois, il est nécessaire de pondérer certains critères suivant le type d'application envisagé. Une méthode de pondération est proposée au chapitre 4.4.

3.2.1 Approche quantitative et classes d'évaluation

Afin de caractériser la localisation, on définit des **valeurs ordinales** (classes) en s'appuyant sur l'expérience de spécialistes du domaine routier et sur une approche que l'on retrouve dans les normes de l'aviation civile [5] ainsi que dans l'ordonnance technique de la mensuration officielle suisse [6]. Dans cette perspective, on tente de définir des classes par des valeurs discrètes de façon à pouvoir comparer facilement différentes applications entre elles :

- très haute
- haute
- moyenne
- basse
- très basse
- non évalué

Précision de la position

La précision de la position est définie par une incertitude qui est égale à l'erreur moyenne sur la position horizontale multipliée par un facteur fonction d'un seuil de probabilité (en général 2.5σ pour une probabilité de 95%).

Classe	Précision de la position 95%	Remarques
Très haute	0.2 m	
Haute	0.5 m	
Moyenne	2 m	Caractéristique d'EGNOS (syst. augm. de GPS)
Basse	10 m	Caractéristique de GPS seul
Très basse	30 m	

Tableau 1 : classes pour la précision de la position

Fréquence de localisation

Classe	Fréquence de localisation [Hz]	Intervalle entre deux pos. à 100 km/h
Très haute	100	0.28m
Haute	10	2.8 m
Moyenne	1	28 m
Basse	0.5 (chaque 2 s)	56 m
Très basse	< 0.2 (chaque 5 s)	> 139 m

Tableau 2 : classes pour la fréquence de localisation

La fréquence de localisation est citée ici comme paramètre additionnel qui peut jouer un rôle suivant le type d'application.

Intégrité

L'intégrité est la mesure de confiance dans le système de localisation qui est qualifiée par la probabilité que l'utilisateur obtienne des informations correctes. On la qualifie par le risque d'intégrité qui est la probabilité d'une erreur de position non communiquée à temps à l'utilisateur.

Classe	Risque d'intégrité [probabilité]	Remarques
Très haute	1.10^{-7}	Exigences typique de l'aviation civile
Haute	1.10^{-5}	1 évènement sur 100'000
Moyenne	1.10^{-3}	1 évènement sur 1000
Basse	1.10^{-2}	1 évènement sur 100
Très basse	1.10^{-1}	1 évènement sur 10

Tableau 3 : classes pour le risque d'intégrité

Disponibilité

La disponibilité est définie par la probabilité que l'utilisateur puisse déterminer sa position avec la précision et l'intégrité requises à n'importe quel endroit et quel moment de la région couverte.

Classe	Disponibilité [probabilité]	Remarques
Très haute	99.999 %	Exigences typique de l'aviation civile
Haute	99.9%	Indisponibilité pour 1 évènement sur 1'000
Moyenne	99 %	Indisponibilité pour 1 évènement sur 100
Basse	90 %	Indisponibilité pour 1 évènement sur 10
Très basse	80 %	Indisponibilité pour 1 évènement sur 5

Tableau 4 : classes pour la disponibilité

Continuité

La continuité est définie par la probabilité que l'utilisateur puisse déterminer sa position avec la précision et l'intégrité requises à n'importe quel endroit et quel moment de la région couverte, ceci pendant un intervalle de temps spécifié (*).

Classe	Continuité [probabilité]	Remarques
Très haute	99.999 % pendant 15 s	Exigences typique de l'aviation civile
Haute	99.9% pendant 15 s	Non continuité pour 1 évènement sur 1'000
Moyenne	99 % pendant 15 s	Non continuité pour 1 évènement sur 100
Basse	90 % pendant 15 s	Non continuité pour 1 évènement sur 10
Très basse	80 % pendant 15 s	Non continuité pour 1 évènement sur 5

Tableau 5 : classes pour la continuité

(*) La question de l'intervalle de temps est fixée à 15 s, ce qui correspond à la durée moyenne des opérations nécessitant absolument une continuité du service de positionnement. Il est clair que suivant les applications, ce temps peut être plus long, par exemple dans certaines applications ADAS.

4. BESOINS DES UTILISATEURS EN TERMES DE LOCALISATION

4.1 Démarche

Dans la plupart des services de télématique des transports et dans les applications du système d'information de la route (SIR), la localisation d'objets ou d'évènements joue un rôle plus ou moins prépondérant. Dans cette étude, on décrit les principaux services télématiques et applications SIR en spécifiant l'implication de la localisation dans les différents processus. Les experts de ces domaines ont évalué les besoins en localisation selon les critères décrits dans le chapitre 3.1.

Cette démarche permet ainsi de rassembler des éléments caractéristiques des besoins en localisation permettant une classification ultérieure des applications selon les critères principaux que sont la précision, l'intégrité, la disponibilité et continuité. Les sous-chapitres suivants donnent une synthèse des applications et de leurs besoins respectifs. L'évaluation des caractéristiques des besoins a été faite par un groupe de spécialistes (voir Impressum) des applications de la télématique des transports routiers et du système d'information de la route.

4.2 Description et exigences des services télématiques

4.2.1 Service d'assistance à la conduite (ADAS)

Pour les services d'assistance à la conduite, on établit une liste de base des applications, tirée de la norme SN 671 831 « télématique des transports routiers, normes de base » [7] et complétée par les documents des projets européens suivants :

- NextMap : <http://www.ertico.com/en/activities/activities/nextmap.htm>
- PReVENT: <http://www.prevent-ip.org/>
- GIROADS: <http://www.intelligentroads.org/>

Dans la norme [7], on cite les applications suivantes :

- amélioration de la visibilité
- conduite automatique du véhicule
- évitement de collisions dans la direction de déplacement
- évitement de collisions latérales
- contrôles d'aptitude à la sécurité
- mesures de protection en cas de collision

Exigences cartographiques pour les ADAS

La plupart des applications d'assistance à la conduite s'appuient sur les données de base (géométrie des axes, topologie du réseau, attributs,...) des systèmes de navigation. Le contenu actuel des cartes de navigation permet l'implémentation de quelques fonctions ADAS et dans les années à venir les principaux fournisseurs de données proposeront une amélioration du contenu et de la qualité des données permettant la réalisation d'autres fonctions.

Le projet NextMAP a défini en 2002 les exigences cartographiques et proposé un calendrier pour l'amélioration de la précision géométrique et du contenu des bases de données. Depuis 2005, les fournisseurs Navteq et Teleatlas procèdent à de nouvelles campagnes de lever cartographique avec une technologie de mobile mapping, améliorant ainsi la précision géométrique et permettant de lever de nouveaux objets et attributs (limites de vitesse, largeurs des voies de circulation,...).

La précision cartographique est à mettre en relation avec la précision de localisation. En effet, il est nécessaire d'assurer une certaine cohérence entre la performance du système de localisation et la possibilité d'associer une position mesurée au contenu de la base de données cartographiques.

D'une manière générale, le but fixé à l'horizon 2012 est d'obtenir une précision de localisation des véhicules

Roadmap Requirements	2001	2004	2006	2008	2010	2012
Desired Map Availability						
- First countries of introduction	EU	EU	EU	EU	EU	EU
- Map available (year)	Today	2004	2006	2008	2010	2012
Geometry Related Accuracy						
Vehicle-position-accuracy (GPS, DGPS, INS...)	+/- 15m	+/- 3m	+/- 3m	+/- 1-2m	+/- 1-2m	+/- 1m
Absolute accuracy	5-25m	4m	4m	2-4m	2-4m	2m
Relative accuracy	5-15m	1-2m	1-2m	0.5 -1m	0.5 -1m	0.5 m
Map objects	5-25m	5-10 m	5-10 m	1- 5m	1- 5m	1m
Lane width	n/a	0,5 m	0,5 m	0,3 m	0,3 m	0,3m
Speed limit	n/a	5m	5m	3m	3m	1m
Priority regulations	n/a	Incl.	Incl.	Incl.
Coverage						
Non Urban Roads						
-Motorway/Fast Dual carriageways		10%-40%	40%-80%	80%-100%	100%	100%
- Dual carriageways	...	10%-30%	30%-60%	60%-80%	80%-100%	100%
- Single carriageways	...	10%-30%	30%-50%	50%-70%	70%-100%	100%
- Minor roads	...		10%-20%	20%-50%	50%-70%	70%-100%
Urban Roads	...					
- Roads	...	10%	10%-50%	50%-70%	70%-90%	90%-100%
- Intersections	...		10%-30%	30%-60%	60%-80%	80%-100%

de l'ordre du mètre. Cette exigence permettra un positionnement du véhicule dans sa voie de circulation qui devra être levée avec une précision du même ordre de grandeur (Figure 9).

Figure 9 : Exigences des bases de données cartographiques proposées dans le projet NextMAP

(source : NextMAP consortium, doc « Final enhanced map database requirements », 14.02.02)

Amélioration de la visibilité

Description

L'**amélioration de la visibilité** (Vision Enhancement) est la fonction liée à l'instrumentation du véhicule qui permet de fournir au conducteur de meilleures informations visuelles lors de conditions de visibilité réduite (mauvaises conditions météo, éclairage défavorable,...).

Les systèmes d'amélioration de la visibilité sont principalement composés de capteurs de vision, d'une unité de traitement d'images et d'une interface de présentation de l'information au conducteur. Le principe de la vision artificielle est basé sur la reconnaissance automatique d'objets et sur la génération d'informations utiles au conducteur.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation absolue joue un rôle mineur. Elle permet principalement de mettre en relation un objet détecté par les capteurs de vision avec le contenu de la base de données cartographiques. Il s'agit avant tout de situer le véhicule dans son environnement, tout en considérant des obstacles potentiels.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m et relativement aux objets de contexte
Intégrité	Basse	
Disponibilité	Basse	
Continuité	Basse	



Dispositions particulières

→ Dans ce type d'application, le contenu cartographique joue un rôle essentiel. La qualité des données de la navigation (actualité, exhaustivité) font partie des caractéristiques des besoins. Ces données cartographiques sont tout aussi importantes que la localisation fournie par les capteurs et systèmes satellitaires.

→ Les exigences en localisation sont globalement basses pour cette application d'aide à la conduite

Conduite automatique du véhicule

Description

La **conduite automatique du véhicule** (Autonomous Driving) est une fonction destinée à contrôler le comportement du véhicule afin qu'il reste sur une voie de circulation prédéfinie tout en percevant la position relative des autres véhicules. Cette route peut être équipée de plusieurs manières : boucles magnétiques, marques de bords de routes, données cartographiques.

But de la localisation

La localisation a pour but de contrôler que le véhicule suit une route prédéfinie et qu'il contrôle sa position par rapport à l'infrastructure et par rapport aux autres véhicules. Il s'agit effectivement d'une opération de navigation au sens littéral du terme. Ce positionnement peut se faire par l'intermédiaire de capteurs sans contacts qui suivent une voie électronique liée à l'infrastructure.

Une localisation absolue par des techniques GNSS et autres capteurs est également possible. Dans ce cas, la « voie » à suivre est virtuelle, car elle est contenue dans une base de données cartographiques.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Haute	0.5 m
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Très haute	
Continuité	Très haute	



Dispositions particulières

→ Ce type d'application fait partie de celles dont les exigences sont les plus élevées, car par le contrôle du comportement du véhicule, la sécurité des passagers doit absolument être garantie (safety of life application). Actuellement, les expériences conduites à titre expérimental, s'appuient principalement sur des capteurs de localisation de proximité (radar, CCD,...) sur des voies de circulation équipées.

→ Le positionnement absolu au moyen de techniques de localisation basées sur des techniques satellitaires (GNSS) est envisagé comme une perspective à long terme, nécessitant une garantie d'un service (précision et intégrité) de localisation et d'une certification des données de navigation

Évitement de collisions

Description

L'**évitement de collisions** est la fonction qui permet de détecter les situations critiques avec une stratégie d'information pour avertir le conducteur à temps. Cette fonction s'applique aussi bien pour éviter des collisions dans la direction de déplacement que des collisions latérales.

But de la localisation

Dans l'évitement de collisions, la fonction de localisation doit permettre de situer un véhicule par rapport aux véhicules circulant sur une même voie de circulation et par rapport aux véhicules circulant sur la voie inverse. C'est donc principalement une localisation relative qui est exigée dans ce type d'application.

Toutefois, comme pour la conduite automatique, une localisation absolue par des techniques satellitaires et d'autres capteurs est également possible, notamment pour l'application d'évitement de collisions latérales. Il s'agit en particulier d'avertir le conducteur en cas de dépassement de la ligne centrale de la route (Lane Departure Warning). Un autre avantage de la localisation absolue est de pouvoir situer les obstacles par rapport à la géométrie de la route. Ceci est nécessaire lorsqu'il s'agit de localiser les objets détectés dans le contexte de la base de données (Figure 10).

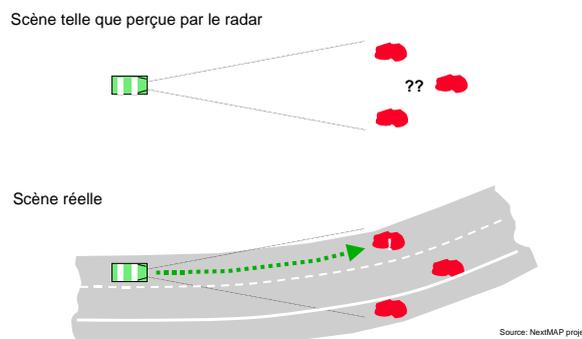


Figure 10 : Détection d'obstacles et placement dans un contexte cartographique
Source : NextMAP consortium

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Haute	0.5 m
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Très haute	
Continuité	Très haute	



Dispositions particulières

→ Ce type d'application fait partie de celles dont les exigences sont les plus élevées, car la localisation du véhicule par rapports aux autres usagers de la route doit absolument être garantie (safety of life application). Actuellement, les expériences conduites à titre expérimental, s'appuient principalement sur des capteurs de localisation de proximité (radar, CCD,...) permettant la détection d'obstacles ou d'autres véhicules.

Contrôle d'aptitude à la sécurité

Description

Le **contrôle d'aptitude à la sécurité** est un ensemble de fonctions qui permet de contrôler certaines caractéristiques (vitesse, distance de sécurité,...) dans le but d'apporter une sécurité optimale lors de la conduite du véhicule.

On peut citer les principales applications :

- **Adaptive Cruise Control (ACC)** : contrôle automatique de la vitesse et de la distance en relation avec les véhicules voisins dans une même voie de circulation.
- **Curve Speed Control (CSC)** : contrôle de la vitesse du véhicule dans des virages nécessitant une réduction de la vitesse due à la courbure.
- **Speed Limit Assistant (SLA)** : avertissement du conducteur des limites effectives de vitesse selon le tronçon parcouru. Cette fonction doit être couplée avec une base de données contenant les valeurs des limitations de vitesses sur l'ensemble du réseau.
- **Lane Keeping Assistant (LKA)**: système d'avertissement ou d'assistance à la conduite permettant au conducteur de rester dans les limites de sa voie de circulation.
- **Lane Change Assistant (LCA)** : cette fonction a pour but d'aider le conducteur à changer de voie de circulation avec comme objectif d'améliorer les flux du trafic.

But de la localisation

La localisation dans les applications de contrôle d'aptitude à la sécurité a pour but de positionner et de déterminer la vitesse du véhicule dans la direction de déplacement (ACC, CSC, SLA) ou de contrôler la position latérale du véhicule par rapport à la voie de circulation (LKA, LCA).

La plupart des ces applications interagissent avec la base de données cartographiques (limite de vitesse, présence de virages,...). Une localisation absolue est donc nécessaire afin de coupler la position du véhicule avec les données géographiques.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Moyenne	2 m
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

→ Dans le cas des applications d'avertissement (SLA, LKA, LCA), les exigences ne sont pas aussi élevées que pour les fonctions de contrôle. Toutefois, il faut pouvoir localiser le véhicule sur sa voie de circulation avec une exactitude suffisante et, dans certains cas, confronter cette information avec celle provenant d'autres sources (capteurs).

→

4.2.2 Information sur la circulation et les déplacements

Parmi les services d'information sur la circulation et les déplacements, on distingue quatre services dans lesquels la localisation joue un rôle :

- information aux passagers des transports publics durant le trajet
- information au conducteur durant le trajet
- information sur les services
- information sur les itinéraires et guidage durant le trajet

Information aux passagers des transports publics durant le trajet

Description

Dans les bus et les trams, des informations sur le trajet sont fournies aux usagers sur des écrans disposés dans les véhicules. Ces informations sont de plus en plus disponibles sur des assistants personnels ou téléphones portables de façon à personnaliser les informations selon les besoins spécifiques de chaque usager.

En général, les informations affichées sont la destination finale ou le prochain arrêt. A l'avenir, d'autres informations pourraient être données comme les éventuels retards, le temps de parcours restant, l'heure probable d'arrivée, les connexions (garanties ou non) à d'autres lignes.

But de la localisation

La plupart des informations sont dépendantes de la position du véhicule, qui est principalement donnée par rapport aux arrêts. Le but de la localisation est donc de déterminer la position du véhicule le long de la ligne de parcours. Ainsi le véhicule peut être localisé dans un système de repérage linéaire, avec une distance jusqu'au prochain arrêt. Le retard, mais également l'avance d'un véhicule, peuvent être déterminés par rapport à l'horaire de la ligne et à l'heure de passage aux arrêts.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	30 m, localisation linéaire (le long du parcours)
Intégrité	Basse	99%
Disponibilité	Haute	99.9%
Continuité	Haute	99.9%



Dispositions particulières

→ Dans ce type d'application, une mesure de la distance parcourue est, la plupart du temps, suffisante. Toutefois, il faut calibrer périodiquement la mesure ; ceci peut se faire aux arrêts qui sont identifiés lors de l'ouverture des portes. Une localisation par GPS avec du map-matching (association de la position estimée à la carte) est également possible afin d'identifier les arrêts, voir la ligne suivie par le véhicule.

→ La disponibilité est le point critique : les arrêts doivent être identifiés sans manquement et sans ambiguïté.

Information au conducteur durant le trajet

Description

Dans ce type de service, on considère les informations qui sont fournies au conducteur en fonction de la position du véhicule et de l'environnement dans lequel il évolue. Le type d'informations fournies comprend l'estimation du temps à parcourir jusqu'à destination, les conditions de trafic, les prévisions météo locales, la disponibilité de places de parc, la présence d'incidents,...

But de la localisation

Dans cette application, la localisation a pour but de situer le véhicule dans un environnement local. Cette information de position vient recouper les informations à référence spatiale des différents services. Un des buts est de sélectionner les informations pertinentes pour le conducteur par rapport à sa position.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	30 m, dans une zone ou quartier
Intégrité	Basse	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Moyenne	



Dispositions particulières

→ Le moyen de sélectionner les informations en fonction de la position de l'utilisateur consiste à tracer un cercle autour de cette dernière et à chercher ce qui est pertinent dans ce secteur. Toutefois, il faut considérer certaines contraintes géographiques et/ou du réseau routier de manière à ne pas fournir des informations non désirées (par exemple, présence d'un bouchon dans l'autre sens de circulation).

→

Information sur les services

Description

L'**information sur les services**, appelés également « Location based services (LBS) », est un ensemble de services basés sur la position effective de l'utilisateur en lui fournissant des informations sur les environs dans lequel il se trouve et selon des critères prédéfinis ou non.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation a pour but de rechercher des points d'intérêts (POI) dans une base de données en fonction de la position de l'utilisateur. Cette dernière peut être fournie par l'utilisateur ou bien une infrastructure (téléphonie mobile,...) peut localiser l'utilisateur.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	30 m, voir moins
Intégrité	Basse	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	



Dispositions particulières

→ Le moyen de sélectionner les POI en fonction de la position de l'utilisateur consiste à tracer un cercle autour de cette dernière et à chercher les POI inclus dans ce cercle. Toutefois, il faut considérer les contraintes géographiques et/ou du réseau routier de manière à ce que l'utilisateur (conducteur automobile,...) puisse atteindre le POI désiré.

→

Information sur les itinéraires et guidage durant le trajet

Description

Ce service est plus communément appelé système de navigation pour l'automobile. Il permet de calculer un itinéraire et fournit les informations de guidage et d'orientation au conducteur en fonction de la position effective du véhicule. Par l'intermédiaire d'une interface vocale ou graphique, le conducteur reçoit à temps les instructions nécessaires pour choisir la bonne route, prendre la bonne présélection ou bifurquer dans la bonne direction. La position du véhicule est reportée en temps réel sur la carte de navigation afin de situer le véhicule dans son environnement.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation a pour but de situer le véhicule sur la route suivie et de contrôler qu'elle correspond à la route prédéfinie. La localisation se fait sur un segment d'axe en fonction d'une distance par rapport à un nœud de trafic. Dans le cas où le véhicule quitte le trajet prédéfini, le processus de localisation fournit le nouvel axe emprunté par le conducteur et calcul le chemin à suivre pour regagner la route prédéfinie.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m, en principe dans un système linéaire
Intégrité	Moyen	
Disponibilité	Haut	
Continuité	Haut	



Dispositions particulières

- Afin de fixer la position du véhicule sur le réseau routier, une procédure de map-matching est utilisée. Dans ce cas, il faut préalablement déterminer une position absolue du véhicule, puis projeter cette estimation de la position sur le bon segment de route. Ceci peut prendre un certain temps suivant la précision de la position estimée et la complexité du réseau routier.
- Lorsque le conducteur quitte la route prédéfinie, il faut à nouveau localiser correctement le véhicule sur le nouveau segment emprunté et calculer une nouvelle route.

4.2.3 Gestion du trafic

Parmi les services de gestion du trafic, on distingue principalement le service de saisie et de préparation des données de trafic dans lequel la localisation joue un rôle.

Saisie et de préparation des données de trafic

Description

Les méthodes de « **floating car data (FCD)** », permettent la saisie d'information trafic à partir d'un échantillon représentatif de véhicules répartis sur le réseau routier. Ces véhicules, appelés véhicules flottants, transmettent leurs informations à une centrale, comme par exemple le temps de parcours entre deux nœuds du réseau, la vitesse (moyenne ou instantanée), La centrale peut compiler ces données, les comparer à des valeurs normales, déterminer le début et la fin de zones de ralentissement ou de bouchons. Ces informations peuvent ensuite être diffusées aux conducteurs concernés.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation du véhicule sur le tronçon routier parcouru doit être fixée. Ceci doit permettre de calculer des temps de parcours d'un nœud de début de tronçon à un nœud de fin de tronçon. Comme pour les systèmes de navigation, la localisation est estimée globalement par GPS, puis par map-matching associée à un tronçon du réseau routier. Dans ce cas, on se contente d'une localisation linéaire sur un tronçon spécifique.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m
Intégrité	Basse	99%
Disponibilité	Moyenne	99%
Continuité	Moyenne	99%



Dispositions particulières

- ➔ Dans ce type d'application, le processus de map-matching est déterminant afin d'identifier avec grande fiabilité le tronçon routier sur lequel se trouve le véhicule.
- ➔ Dans ce type d'application, il faut également considérer la question de la communication des positions entre les véhicules (FCD) et une centrale

4.2.4 Gestion de fret et de flottes

Parmi les services de gestion de fret et de flottes, on distingue principalement les services de contrôle de sécurité à bord des véhicules lourds et de gestion des flottes de véhicules dans lesquels la localisation joue un rôle.

Services de contrôles de sécurité à bord des véhicules lourds

Description

Pour une entreprise de transports, les services de contrôles doivent permettre de surveiller à distance une flotte de véhicules à partir d'une centrale. L'entreprise fixe des critères à partir desquels une alarme peut être générée en cas de détection d'un risque potentiel. Les motivations principales sont liés aux enjeux commerciaux de l'entreprise : protection contre le vol de marchandises, détection d'évènements pouvant mettre en danger le transport, protection contre le vol de véhicule, détection de changements de destination non prévus par le chauffeur,...

But de la localisation

Dans cette application, la localisation du véhicule est déterminante pour fixer le niveau d'alarme qui doit correspondre au niveau de risque choisi par l'entreprise, afin d'éviter la génération d'alarmes inutiles ou d'omettre une alarme importante. Une fois une alarme transmise, la position du véhicule doit être transmise à la centrale pour son éventuel suivi.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	30 m en absolu
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Basse	
Continuité	Basse	



Dispositions particulières

➔ En cas de vol, la position du véhicule doit être fournie à intervalles réguliers, de manière absolue. La disponibilité du service de positionnement est fondamentale dans ce cas.

➔ Dans ce type d'application, il faut également considérer la question de la communication de la position entre le véhicule et une centrale

Gestion de flottes

Description

Pour une entreprise de transport routier de marchandises, la gestion de flottes consiste à suivre les véhicules lors de tournée de livraison ou de chargement de marchandises et à optimiser ces opérations ainsi que le chemin à parcourir. Souvent les commandes en transport surviennent alors que les véhicules sont en tournée. Afin d'insérer une nouvelle opération, il s'agit de connaître la position actuelle et le taux de chargement de véhicule. Un tel système de gestion peut également s'avérer utile en cas d'incident ou de retard, de manière à avertir le client d'une arrivée tardive de sa livraison.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation du véhicule a pour but de contrôler l'état d'avancement des livraisons ou des prises de marchandises. Le but principal est de savoir si le véhicule a passé à un point de livraison et à quel moment durant sa tournée.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	30 m en absolu ou linéaire (suivant une tournée)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Basse	
Continuité	Basse	



Dispositions particulières

→ Suivant le système de gestion, on peut contrôler la route suivie entre deux points de livraison. Dans ce cas, comme pour les systèmes de navigation automobile, on associe la position actuelle du véhicule au tronçon routier parcouru grâce à un processus de map-matching.

→ Dans ce type d'application, il faut également considérer la question de la communication de la position entre les véhicules et une centrale

4.2.5 Transports publics

Gestion de l'exploitation des lignes de transports publics

Description

Ce service couvre l'ensemble des fonctions pour la planification, la gestion et l'exploitation des transports publics. Cela inclut le positionnement des véhicules en temps réel, leur état et leur situation par rapport aux horaires. Ces fonctions permettent une gestion optimale des horaires afin d'assurer des connexions fiables avec d'autres modes de transports.

But de la localisation

Dans ce groupe de services, le but est de localiser les véhicules sur le réseau de transports publics. La plupart de véhicules suivent des lignes prédéfinies et c'est le positionnement relatif par rapport aux arrêts et par rapport aux autres véhicules qui intéresse le gestionnaire.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu ou dans un système linéaire
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

- La localisation par odométrie (distance parcourue) est, la plupart du temps, suffisante. On peut ainsi localiser le véhicule le long du parcours et relativement aux arrêts. Toutefois, dans un processus global de gestion de l'exploitation, il est utile de connaître la position absolue des véhicules qui peuvent circuler quelques fois en dehors du réseau (course spéciales, trajets au garage,...)
- La localisation par GPS doit s'accompagner du map-matching afin de situer le véhicule sur le réseau routier. Dans ce cas, il faut que l'identification du segment routier se fasse sans ambiguïté.
- La localisation des véhicules peut également interagir sur la signalisation lumineuse. Dans ce cas spécifique, les exigences sont élevées afin de donner un signal au bon moment.

Gestion des pools et du partage de véhicules

Description

Ce service a pour but de fournir des informations de transport à la demande aux voyageurs individuels. L'opérateur de transports publics doit gérer l'offre et la demande en fonction de la position des véhicules dans le réseau et de leur capacité. Un système de dispatching permet de router les véhicules en fonction des lieux de prise en charge et des destinations demandées.

Ce type de service peut d'adresser à des compagnies de transports publics, des sociétés de taxi et également à des communautés de conducteurs désirant partager leur véhicule.

But de la localisation

Dans ce groupe de services, le but est de localiser l'ensemble des véhicules dans une région concernée. Cette fonction doit permettre de connaître le statut du véhicule (libre, occupé,...) et sa position approximative (quartier). La demande des utilisateurs doit comporter une adresse de départ et un lieu de destination.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu ou dans un système linéaire
Intégrité	Basse	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Basse	



Dispositions particulières

→ La localisation peut se faire par GPS et doit s'accompagner d'un map-matching afin de situer le véhicule sur un segment routier. A partir de cette information, la gestion des itinéraires (origine, destination) se fait au moyen d'adresses (nom de rue et numéro).



4.2.6 Services d'urgence

Appel d'urgence et alerte au vol

Description

Ce groupe de services a pour but de fournir des informations à une centrale de sécurité en cas d'incident de manière à diriger efficacement des secours si nécessaire. Il concerne aussi bien les conducteurs privés que les professionnels du transport de marchandises.

Parmi ces services, on peut citer l'annonce automatique en cas de collision, les appels d'urgence, la détection et l'annonce automatique en cas d'infraction et de vol.

But de la localisation

Dans ce groupe de services, le but est de localiser les véhicules en cas d'alarme ou lors d'un appel d'urgence. Suivant le type d'incident, la localisation doit être fiable afin de déployer des secours à l'endroit exact.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

→ La localisation par GPS et doit s'accompagner d'un map-matching fiable afin de situer l'incident sur ou proche d'un segment routier. A partir de cette information, les services d'urgence planifient leur mission et leur itinéraire afin d'intervenir au bon endroit.

→ Dans ce type d'application, il faut également considérer la question de la communication de la position entre le véhicule et une centrale d'alarme.

Gestion des véhicules de secours

Description

Ce groupe de services se compose des applications pour la gestion de flotte de véhicules, le guidage et la gestion des priorités sur la signalisation lumineuse. Ces services concernent la gestion des véhicules d'urgence comme la police, les pompiers et les ambulances.

Comme exemple de services, on peut citer le suivi (tracking) de véhicules d'urgence et la coordination de la gestion du trafic en cas d'urgence.

But de la localisation

Dans un premier temps, il s'agit de récupérer les informations de localisation des appels d'urgence, puis de les intégrer dans un service de gestion des secours. Ce dernier a pour but de localiser et connaître le statut des véhicules pouvant potentiellement intervenir.

Lors de l'engagement de véhicules de secours, il s'agit de connaître avec fiabilité leurs positions afin de fournir aux conducteurs des informations de guidage en fonction des conditions de trafic.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

→ La localisation par GPS et doit s'accompagner d'un map-matching fiable afin de situer le véhicule sur un tronçon routier. Ceci permet, par exemple, au service d'engagement et de gestion du trafic d'interagir directement sur la signalisation lumineuse.

→

Gestion des transports exceptionnels et de matières dangereuses

Description

Ce groupe de services comporte les fonctionnalités qui permettent aux autorités de gérer les transports exceptionnels et de matières dangereuses. Ces services fournissent des informations sur la nature, les conditions et la position de convois exceptionnels. La plupart du temps, les itinéraires sont planifiés pour ce type de transport. Il s'agit donc de vérifier que le trajet effectué correspond bien à celui qui est planifié.

En cas d'incident, la localisation est déterminante pour l'acheminement de secours et pour évaluer l'impact qu'il pourrait y avoir sur l'environnement (mesures de protection de la population et de la nature).

But de la localisation

Dans ce groupe de services, le but est de localiser les véhicules et de les suivre sur leur itinéraire. Le but est de fournir une information en temps réel qui permette d'assurer un guidage optimal, de coordonner la fermeture momentanée de tronçons routiers et de déployer des secours en cas d'incident.

Lors de la planification d'itinéraires, on peut les mettre en relations avec des informations spatiales (zones de protection, zones habitées,...) sur les régions traversées en fonction de la dangerosité des produits transportés.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Haute	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

→ La localisation par GPS et doit s'accompagner d'un map-matching fiable afin de situer le véhicule sur l'itinéraire planifié ou s'il s'en écarte. Ceci permet, par exemple, de prendre des mesures adéquates de gestion du trafic (fermeture momentanée de routes,...) afin de limiter l'impact sur les autres usagers.

→

4.2.7 Paiement électronique

Paiement électronique

Description

Le service de paiement électronique est un moyen automatisé pour la perception de redevances et de taxes liées à l'utilisation de l'infrastructure de transports. On distingue les perceptions suivantes :

- pour l'usage des routes. Cette prestation peut être liée au type de route, au type d'ouvrage (pont, tunnel) ou à l'accès à certaines zones spécifiques (centre ville). Cette prestation peut également dépendre de la distance parcourue, de la durée, des propriétés du véhicule ou de l'horaire.
- pour l'usage de places de parc. Cette prestation dépend du type de véhicule, de l'horaire et de la durée.
- Pour l'usage de transports publics. Cette prestation dépend du lieu de départ, du lieu d'arrivée, de facteurs horaires et du profil de la personne.

But de la localisation

Dans cette application, la localisation du véhicule ou de la personne doit permettre de déduire les paramètres pour le calcul de la redevance ou de la taxe liée à la prestation. Par exemple, pour la perception de redevance pour l'utilisation de la route, il peut être nécessaire de connaître quand l'utilisateur a parcouru quel tronçon de route et quelle est la distance parcourue.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	10 m en absolu ou dans un système linéaire
Intégrité	Haute	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Haute	



Dispositions particulières

→ Pour la perception de redevance routière, on envisage trois typologies de localisation :

- détermination du tronçon routier utilisé
- détermination de la région dans laquelle l'utilisateur circule
- détermination du passage par une porte virtuelle



4.3 Description et exigences des applications du SIR

Un grand nombre des objets du système d'information de la route (SIR) ont une composante spatiale ou sont liés à un système de repérage [8]. Les activités liées aux processus métiers de la gestion routière dépendent de la qualité de la localisation des objets d'information. Ce chapitre décrit le but de la localisation et les exigences en localisation pour les principaux objets d'information que l'on retrouve dans la gestion routière.

4.3.1 Repérage spatial et topologique

Repérage spatial planaire et linéaire

Description

Le repérage spatial du domaine routier s'appuie principalement sur un système de coordonnées linéaires définies le long de l'axe de route. En Suisse, ce système de coordonnées s'appelle système de repérage spatial de base (SRB) et est composé de segments d'axes, de points de repère encadrant des secteurs de longueurs connues [9], [10].

But de la localisation

Dans ce contexte, la localisation des points de repère (PR) est fondamentale car elle permet leur assurance. La qualité de la localisation des objets de l'espace routier dépend également de la détermination de la longueur des secteurs.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute	0.2 m en absolu, pour le repérage des PR
Intégrité	Moyenne	Il faut assurer la détermination des PR par une seconde mesure indépendante ou des mesures de contrôle
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Très basse	Pas relevant pour des applications de mensuration



Dispositions particulières

→ Détermination de la position d'un objet dans le SRB :

- Un objet de l'espace routier est mesuré, dans la direction positive de l'axe, à l'intérieur d'un secteur par rapport à la position du PR précédent
- Occasionnellement, on peut mesurer une distance dans la direction inverse de l'axe en utilisant le PR du secteur suivant.
- La longueur des secteurs
 - Mesure de la longueur des secteurs
- La longueur des secteurs peut être mesurée par diverses méthodes, comme la roulette d'arpentage ou le GPS en mode cinématique
- Les exigences de précision pour la longueur d'un secteur sont de l'ordre de 0.5 m

Repérage spatial : géométrie d'axe et calage

Description

Afin de transformer des coordonnées linéaires du SRB en coordonnées planaires (système de coordonnées nationales suisse), les segments d'axe doivent contenir une géométrie horizontale de base. Cette géométrie est liée aux segments d'axe par l'intermédiaire de points de calage qui sont repérés simultanément dans les systèmes planaire et linéaire [11].

But de la localisation

La géométrie horizontale de base ainsi que les points de calage doivent être repérés dans le système planaire des coordonnées nationales. Le but est de décrire l'axe de route par une polygone ou d'éléments géométriques afin de fournir à l'utilisateur les paramètres de transformation entre systèmes de repérage.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute	0.2 m en absolu (points de calage, points de la géométrie d'axe)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	Suivant les méthodes de mensuration utilisées



Dispositions particulières

→ Qualité de la géométrie des axes et des points de calage:

- La qualité de ces éléments est déterminante pour assurer la transformation entre systèmes de repérage
- Les métadonnées du repérage spatial sont prévues à cet effet et décrite dans la norme [12]
-

→ Segments et éléments de calage

- Un élément de calage est une portion d'axe qui suit un point de calage. Il doit être défini par sa longueur sur la géométrie horizontale de base et par sa longueur issue du repérage linéaire (SRB). Le facteur de calage est défini comme le rapport entre ces longueurs.
- La précision pour la détermination de ces longueurs est directement liée à la précision de la longueur des secteurs et à la précision de la géométrie de base horizontale.

Repérage topologique : nœuds, lieux de nœuds et segments d'axe

Description

Un réseau routier peut être décrit par sa topologie composée d'éléments logiques que sont les nœuds et les arêtes. Les nœuds forment le découpage des segments d'axe. La norme [13] sur les réseaux et leur topologie définit les éléments principaux : réseau de tronçons, réseau de section, nœud et lieu de nœud.

But de la localisation

Le repérage topologique est un moyen fondamental pour le positionnement d'objets ou d'évènements sur le domaine routier. Il est donc nécessaire de pouvoir situer les nœuds dans l'espace planaire comme dans l'espace linéaire, que ce soit pour des besoins de représentation ou de combinaisons de données routières dans certains processus.

La localisation des nœuds dans l'espace linéaire se fait par l'intermédiaire des lieux de nœud.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute	La localisation des lieux de nœuds sur la géométrie horizontale de base suit les mêmes exigences que celles décrites pour la géométrie et le calage
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	



Dispositions particulières

→ Localisation des lieux de nœuds :

- La localisation des lieux de nœuds sur la géométrie horizontale de base suit les mêmes exigences que celles décrites pour la géométrie et le calage

- Détermination de la distance de référence

- La détermination des longueurs des distances de références des lieux de nœuds dans l'espace linéaire suit les mêmes exigences que celles décrites pour les longueurs de secteurs.

4.3.2 Processus de gestion de l'entretien

Gestion de l'entretien : chaussée, ouvrages et installations techniques

Description

Les objets d'information pour la chaussée (signalisation, marquage,...), les ouvrages d'art et les installations techniques sont repérés, en règle générale, dans l'espace linéaire (SRB). Les relations entre les objets sont décrites par leurs relations spatiales.

La localisation dans l'espace linéaire se fait principalement avec une distance de référence (u) dans le secteur considéré ainsi qu'un écart latéral (v) par rapport au milieu de la chaussée.

Les objets d'information peuvent être de type ponctuel ou linéaire. On peut définir des objets surfaciques dont l'abstraction consiste à définir des largeurs le long d'un objet linéaire.

But de la localisation

La localisation a pour objectif de décrire la position des objets d'information dans l'espace linéaire (SRB).

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute, haute	0.2 m dans la coordonnée v (latéral) 1-2 m dans la coordonnée u (longitudinal)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	moyenne	



Dispositions particulières

→ repérage des objets dans l'espace planaire :

- Les objets d'information peuvent également être mesurés dans l'espace planaire (ex. lever d'objet à l'aide de GPS). On obtient ainsi des coordonnées planes x,y qui doivent ensuite être transformées en coordonnées linéaires u,v.
- La qualité de cette transformation de planaire à linéaire dépend, non seulement de la précision de la localisation de l'objet (x,y), mais de la qualité des éléments du repérage (longueurs de secteurs, points de calage, géométrie de base horizontale,...)
- Les métadonnées du repérage spatial doivent être documentées avec soin dans un tel cas [12].



Gestion de l'entretien : drainage, évacuation de l'eau

Description

L'espace routier est régulièrement équipé avec des moyens de drainage. Les eaux usées sont évacuées directement de la route (fossé drainant) ou collectées pour être conduites dans une installation pour l'épuration. Les installations de drainage du domaine routier doivent être décrites pour l'usage des techniciens et pour les besoins des plans du cadastre des conduites.

But de la localisation

La détermination de la position des éléments de drainage sont essentiels pour le personnel technique en charge de la gestion de l'entretien. Les coordonnées linéaires des regards et constructions doivent être déterminées avec précision afin que les éléments visibles soient ordonnés correctement.

Les éléments constitutifs du cadastre des conduites sont repérés avec grande précision dans le système planaire.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute haute	0.2 m dans la coordonnée v (latéral) 0.5 m dans la coordonnée u (longitudinal)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	



Dispositions particulières

→ Pour le cadastre des conduites :

- Précision de la position planimétrique : 0.2 m



4.3.3 Processus d'exploitation

Processus d'entretien d'exploitation

Description

L'entretien d'exploitation englobe les mesures permettant d'assurer la sécurité d'exploitation des infrastructures routières. Parmi ces mesures, on trouve principalement le nettoyage des voies de circulation, le déneigement (garantie des conditions de sécurité), l'entretien des surface vertes ainsi que la maintenance préventive des installations techniques.

Dans l'entretien d'exploitation, on s'intéresse à certains lieux du réseau routier et à l'information sur certaines zones (avalanches, zones inondables, zones constructibles, zones de protection du bruit,...).

But de la localisation

La localisation des objets d'information (zones incluses) concerne tous les processus d'entretien d'exploitation et leur relation avec l'environnement. Un aspect important de ces processus est le benchmarking qui nécessite une description détaillée de l'espace et de la dimension des objets.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute, haute	0.2 m dans la coordonnée v (latéral) 1-2 m dans la coordonnée u (longitudinal)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	moyenne	



Dispositions particulières

→ repérage des objets dans l'espace planaire :

- Les objets d'information, en particulier les zones, peuvent être mesurés dans l'espace planaire (ex. lever d'objet à l'aide de GPS). On obtient ainsi des coordonnées planes x,y qui doivent ensuite être transformées en coordonnées linéaires u,v.
- La qualité de cette transformation de planaire à linéaire dépend, non seulement de la précision de la localisation de l'objet (x,y), mais de la qualité des élément du repérage (longueurs de secteurs, points de calage, géométrie de base horizontale,...)
- Les métadonnées du repérage spatial doivent être documentées avec soin dans un tel cas [12].



Monitoring du trafic, inclus comptage et statistiques

Description

Le monitoring du trafic de la saisie, de la préparation et de la publication des statistiques des valeurs de trafic. Aux endroits de mesure, on enregistre différentes valeurs de trafic qui alimentent les statistiques et qui servent à la planification. Les instruments de mesure sont souvent placés en un point du réseau et des transformations spatiales sont nécessaires pour ramener l'information au tronçon.

But de la localisation

La localisation des objets d'information du monitoring du trafic vient en appui aux processus de planification. Elle a pour but de repérer les instruments utiles au comptage du trafic (boucles, caméras, systèmes pneumatiques,...).

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute, haute	0.2 m dans la coordonnée v (latéral) 1-2 m dans la coordonnée u (longitudinal)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	moyenne	



Dispositions particulières

→ repérage des objets dans l'espace planaire :

- Les objets d'information, en particulier leur localisation dans les voies de circulation, peuvent être mesurés dans l'espace planaire (ex. lever d'objet à l'aide de GPS). On obtient ainsi des coordonnées planes x,y qui doivent ensuite être transformées en coordonnées linéaires u,v.
- La qualité de cette transformation de planaire à linéaire dépend, non seulement de la précision de la localisation de l'objet (x,y), mais de la qualité des éléments du repérage (longueurs de secteurs, points de calage, géométrie de base horizontale,...)
- Les métadonnées du repérage spatial doivent être documentées avec soin dans un tel cas [12].



Sécurité routière et accidents

Description

Les objets d'information de la sécurité du trafic servent principalement au processus de planification d'installations de gestion du trafic. Cette planification à court et moyen terme permet d'agir sur l'amélioration de la sécurité. Ces connaissances des installations actuelles permettent également la planification de futures installations.

Un point important de ce thème est la mise en relation avec les accidents. A partir de la localisation des accidents et de leur fréquence, on peut déterminer les endroits critiques du réseau. Ceci permet d'identifier ces points et de planifier des mesures d'amélioration de la sécurité.

But de la localisation

La localisation des objets d'information de la sécurité du trafic vient en appui au processus de planification et permet la transformation de ces données dans d'autres systèmes de repérage. Comme les accidents sont souvent repérés dans une voie de circulation, la localisation perpendiculaire à l'axe (latéral) est importante.

Exigences

Caractéristiques des besoins	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très haute, haute	0.2 m dans la coordonnée v (latéral) 1-2 m dans la coordonnée u (longitudinal)
Intégrité	Moyenne	
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	moyenne	



Dispositions particulières

→ repérage des objets dans l'espace planaire :

- Les objets d'information, en particulier leur localisation dans les voies de circulation, peuvent être mesurés dans l'espace planaire (ex. lever d'objet à l'aide de GPS). On obtient ainsi des coordonnées planes x,y qui doivent ensuite être transformées en coordonnées linéaires u,v.
- La qualité de cette transformation de planaire à linéaire dépend, non seulement de la précision de la localisation de l'objet (x,y), mais de la qualité des éléments du repérage (longueurs de secteurs, points de calage, géométrie de base horizontale,...)
- Les métadonnées du repérage spatial doivent être documentées avec soin dans un tel cas [12].



4.4 Agrégation des classes des caractéristiques

Compte tenu de la diversité des applications (TTR, SIR) et de la variabilité des exigences en localisation, il s'avère utile d'agréger les caractéristiques de la localisation afin d'établir une typologie des besoins. La Figure 8 présente les relations entre les caractéristiques principales. Afin d'agréger les classes de chaque caractéristique, on propose l'approche suivante :

- **la précision** de la position est l'élément de base contenant 5 classes.
On propose de garder ces classes que l'on peut facilement mettre en relation avec les caractéristiques des systèmes de navigation ou celles des produits cartographiques.

Pour les autres caractéristiques, on propose une approche basée sur une classification binaire :

- **l'intégrité** est le paramètre fondamental pour les applications ayant un enjeu sécuritaire ou légal. On propose de l'agréger en 2 classes : avec garantie de l'intégrité, sans garantie de l'intégrité
- **la disponibilité** : agrégation en 2 classes principales : complète, partielle
- **la continuité** : agrégation en 2 classes principales : garantie, non garantie

Cette approche par agrégation permet de simplifier l'évaluation de la performance en localisation, sachant que certains critères sont estimés de manière empirique et qu'au final cette démarche sert à mettre en évidence des grandes catégories (typologie) de services et d'applications.

Caractéristique	Classe (élevée)			Classe (basse)	
Précision de la position	<i>très haute 0.2 m</i>	<i>Haute 0.5 m</i>	<i>Moyenne 2 m</i>	<i>Basse 10 m</i>	<i>très basse 30 m</i>
Intégrité	Garantie <i>Classes très haute, haute</i>	-		Non garantie <i>Classes moyenne, basse, très basse</i>	
Disponibilité	Complète <i>Classes très haute, haute</i>	-		Partielle <i>Classes moyenne, basse, très basse</i>	
Continuité	Garantie <i>Classes très haute, haute</i>	-		Non garantie <i>Classes moyenne, basse, très basse</i>	

Tableau 6 : Agrégation des caractéristiques de la localisation

A partir du Tableau 6, on propose une méthode pour classer les services et les applications, en se basant sur :

- I. la classification sur les trois caractéristiques de base d'intégrité, de disponibilité et de continuité.
- II. Une sélection « binaire » de la caractéristique selon qu'elle doit être garantie (couverte) ou non
- III. La caractéristique de la précision de la position est traitée séparément

Cette démarche est présentée dans l'organigramme de la Figure 11.

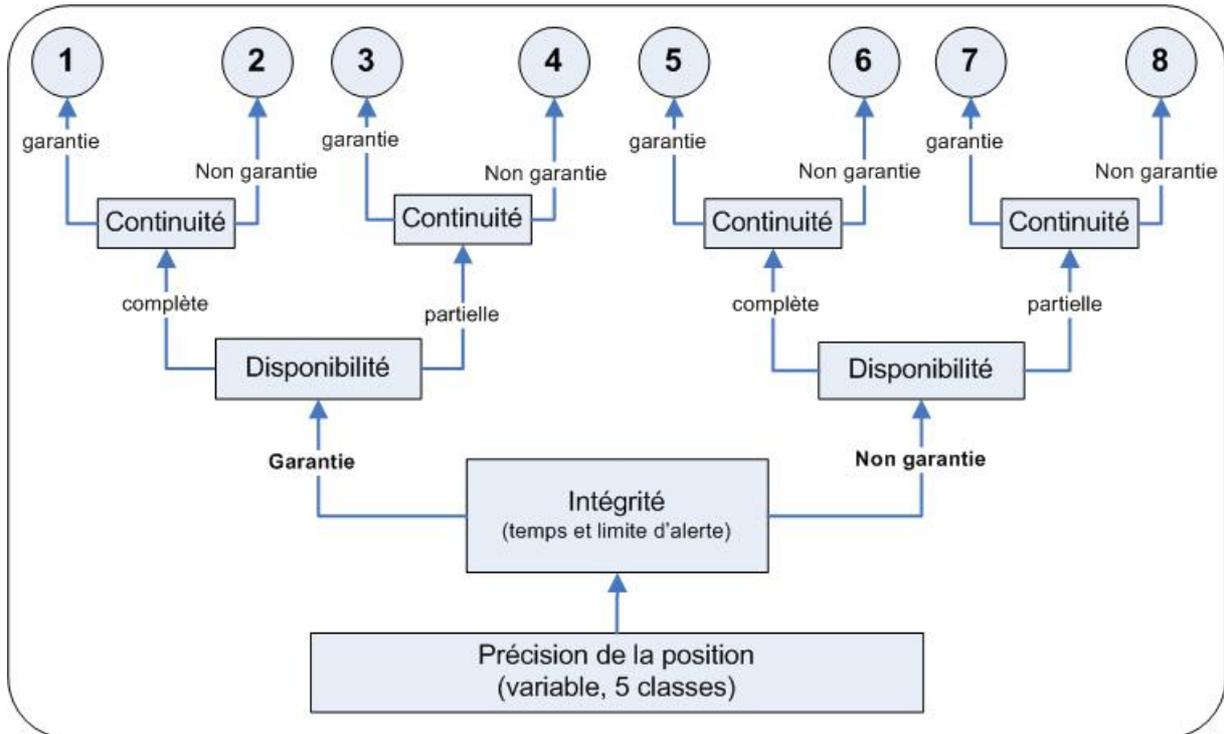


Figure 11 : Organigramme de classification des caractéristiques de la localisation

L'organigramme proposé ci-dessus décrit des classes de services (CL) en fonction des caractéristiques de base de la localisation. On place ainsi l'intégrité comme la caractéristique fondamentale qui est déterminante pour les applications et services qui ont un impact direct sur la sécurité des personnes ou des biens ou une implication légale ou commerciale.

4.5 Synthèse des besoins en localisation

Services de télématique des transports						
Nr	Selon norme SN 671 831	Précision de la position	intégrité	disponibilité	continuité	CL
Information sur la circulation et les déplacements						
2	information au conducteur durant le trajet	Très basse	Basse	Haute	Moyenne	6
3	information aux passagers des transports publics durant le trajet	Très basse	Basse	Haute	Haute	5
4	Information sur les services	Très basse	Basse	Moyenne	Moyenne	8
5	information sur les itinéraires et guidage durant le trajet	Basse	Moyenne	Haute	Haute	5
Gestion du trafic						
6	Saisie et préparation des données de trafic	Haute	Basse	Moyenne	Moyenne	8
Aide au conducteur et contrôle du véhicule						
12	Amélioration de la visibilité	Basse	Basse	Basse	Basse	8
13	conduite automatique du véhicule	Haute	Haute	Très haute	Très haute	1
14	éviter de collisions dans la direction de déplacement	Haute	Haute	Très haute	Très haute	1
15	éviter de collisions latérales	Très haute	Haute	Très haute	Très haute	1
16	contrôles d'aptitude à la sécurité	Moyenne	Moyenne	Haute	Haute	5
Gestion de fret et de flottes						
21	contrôles de sécurité à bords des véhicules lourds	Très basse	Haute	Basse	Basse	4
22	gestion des flottes de véhicules	Très basse	Moyenne	Basse	Basse	8
Transports publics						
23	Gestion de l'exploitation des lignes de transports publics	Très basse	Moyenne	Basse	Basse	8
24	Transports publics à la demande	Basse	Moyenne	Haute	Haute	5
25	Gestion des pools et du partage de véhicules	Basse	Basse	Moyenne	Basse	8
Services d'urgence						
26	appel d'urgence et alerte au vol	Basse	Haute	Haute	Haute	1
27	gestion des véhicules de secours	Basse	Haute	Haute	Haute	1
28	gestion des transports exceptionnels et de matières dangereuses	Basse	Haute	Haute	Haute	1
Paiement électronique						
29	Paiement électronique	Basse	Haute	Moyenne	Haute	3

Tableau 7 : Synthèse des caractéristiques en localisation dans les services de télématique des transports routiers (le numéro dans la colonne « CL » correspond à ceux issus de la Figure 11)

Système d'information de la route (SIR)					
	Précision de la position	intégrité	disponibilité	continuité	CL
Repérage spatial et topologique					
Repérage spatial planaire et linéaire	Très haute	Moyenne	Moyenne	Très basse	8
Géométrie d'axe et calage	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
Repérage topologique	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
Processus de gestion de l'entretien					
chaussée (EMF), ouvrages d'art (EMK) et installations techn.	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
drainage et évacuation de l'eau	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
Localisation (u,v) d'objets de type chaussée (EMF) ou ouvrages d'art (EMK) ou équipements techn.	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
Entretien et exploitation					
Processus d'entretien d'exploitation	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
monitoring du trafic, comptage et statistiques	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8
Sécurité et accidents de la circulation	Très haute	Moyenne	Moyenne	Moyenne	8

Tableau 8 : Synthèse des caractéristiques en localisation pour le système d'information de la route (le numéro dans la colonne « **CL** » correspond à ceux issus de la Figure 11)

On constate que les services de la TTR et les applications SIR se répartissent principalement dans les classes suivantes :

- **1** : exigences élevées en continuité et disponibilité avec garantie de l'intégrité
- **5** : exigences élevée en continuité et disponibilité sans garantie (complète) d'intégrité
- **8** : exigences basses sans garanties particulières

On trouve quelques applications (classes 3, 4 et 6) qui se situent entre ou proche de ces classes principales. Un autre facteur de différenciation est la précision de la position qui est très variable selon les types d'applications (de quelques décimètres à plusieurs dizaines de mètres).

Cette synthèse des caractéristiques servira à l'établissement d'une **typologie des applications** (6.1) par rapport à leurs besoins en localisation.

5. POTENTIEL ET PERFORMANCE DES SYSTEMES DE NAVIGATION

Ce chapitre présente les différents concepts et moyens techniques utilisés dans les systèmes de navigation afin de déterminer la position d'un mobile de manière absolue ou relative. L'ensemble des technologies sont considérées sans a priori sur leur potentiel d'intégration pour les besoins des services de la TTR et des applications SIR.

5.1 Classification des systèmes de navigation

Dans les systèmes d'aide à la navigation, on désire connaître la position de véhicules ou de personnes en temps réel avec des précisions de l'ordre de 10 à 20 m, voire de 1 à 2 m selon les exigences des applications. La faculté de fournir une information continue et fiable de la position est également une condition que doit garantir un système performant de localisation pour les applications les plus exigeantes.

Aujourd'hui, différentes techniques de localisation sont disponibles (Figure 12). On peut les classer en trois catégories principales:

- des systèmes à ondes radio (satellites, radars, radio-goniométrie, téléphonie mobile)
- des systèmes à estimation de parcours (dead reckoning systems)
- des systèmes à balises fixes (réseaux de bornes RFID ou étiquettes géolocalisées)

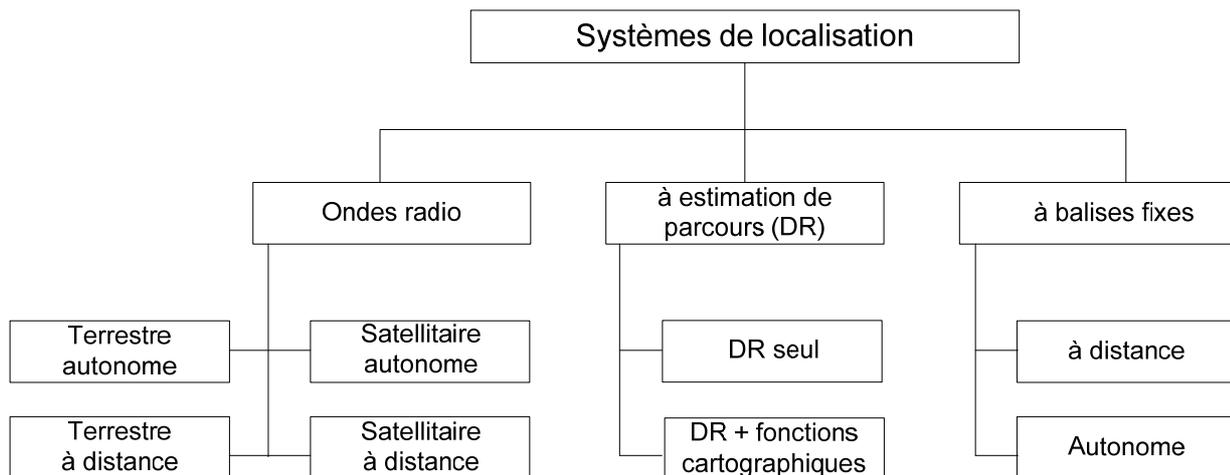


Figure 12 : Classification des systèmes de positionnement utilisés en télématique routière

Les systèmes de localisation peuvent procéder au calcul de la position du véhicule selon l'une des deux stratégies suivantes :

- le **positionnement autonome** (self positioning) où le système de positionnement embarqué dans le véhicule détermine sa position en réceptionnant des signaux (ondes radio, capteurs, etc.). L'information de position est directement disponible pour l'utilisateur.
- le **positionnement à distance** (remote positioning) où à partir de signaux provenant directement ou indirectement du véhicule, un système externe au véhicule et captant ces signaux peut localiser le véhicule (exemple : le radar). Pour que l'utilisateur puisse disposer de cette information de position, il faut la lui renvoyer.

Parmi ces outils, les systèmes satellitaires autonomes occupent une position privilégiée. En effet, ils permettent à leurs utilisateurs de connaître très rapidement et facilement leur position. Le plus connu et le plus utilisé de ces systèmes satellitaires est le Global Positioning System (GPS). Les systèmes à estimation de parcours sont également très avantageux, dans le sens où ils permettent de déterminer assez

simplement le déplacement du véhicule, tout en garantissant une autonomie au navigateur. La combinaison de ces différentes sources d'informations constitue la base de la quasi-totalité des systèmes de navigation automobile. La tendance dans le domaine des systèmes de navigation continue à privilégier la voie de l'intégration de ces deux méthodes.

Dans les chapitres suivants nous allons décrire chacun des principaux systèmes de navigation et dresser une synthèse de leurs performances dans la mesure des informations disponibles. A ce sujet, il faut distinguer :

- les caractéristiques **nominales** de la localisation qui sont données par les opérateurs de systèmes ou par les fabricants de matériel. Dans ce cas, ces caractéristiques sont données dans des conditions idéales d'utilisation et sans sources d'erreurs systématiques.
- les caractéristiques **effectives** de la localisation qui tiennent compte de l'environnement et de facteurs pouvant affecter la qualité du positionnement. C'est le cas typique d'un environnement urbain ou routier dont l'impact est non négligeable sur certaines techniques, notamment les systèmes de localisation par satellites.

A titre d'exemple, on présente un environnement urbain dans lequel les conditions de réception des signaux GNSS ne sont pas optimales. En effet les bâtiments ou les obstacles physiques créent d'une part des obstructions entre le récepteur et les satellites et d'autre part des effets de réflexion des ondes. Ces perturbations peuvent affecter la précision du positionnement engendrant des erreurs systématiques qui peuvent être relativement importante (Figure 13). Lorsque le nombre de satellites visibles tombe en-dessous de 4, le calcul de la position n'est plus possible et dans ce cas le positionnement GNSS n'est plus disponible.

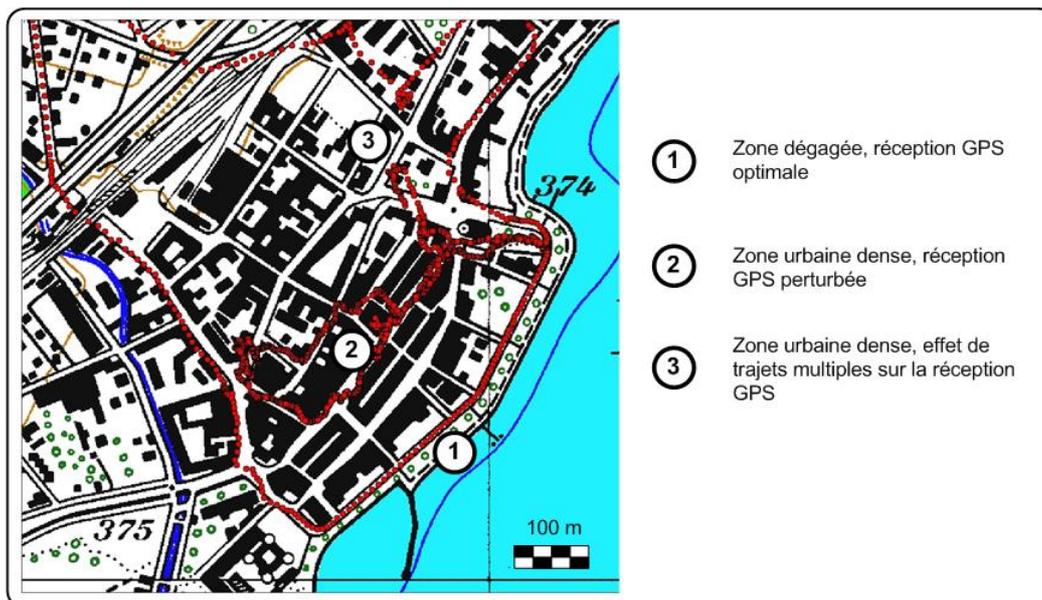


Figure 13 : Cas d'utilisation de GPS en zone urbaine

Remarque :

Les tableaux suivants (5.2) donnent des performances **nominales** de pour caractériser la localisation.

5.2 Description et performances des systèmes à ondes radio

5.2.1 Systèmes de navigation par satellites

GPS – SPS

Description

Le système NAVSTAR-GPS (NAVigation System by Timing And Ranging - Global Positioning System) est un système de positionnement par satellites conçu et mis en service par le Département de la Défense des Etats-Unis (DoD). Il permet de déterminer la position et la vitesse d'un objet ou d'une personne à chaque instant.

L'architecture du système est composée de trois parties distinctes :

- la partie spatiale qui est constituée d'un ensemble de 24 satellites répartis sur 6 plans orbitaux (Les satellites émettent en continu des signaux composés de trois parties : les ondes porteuses L1 et L2, les codes civil (C/A-Coarse Acquisition) et militaire (P-Precise) et les informations nécessaires pour calculer la position des satellites ;
- la partie de contrôle, qui permet de piloter le système, est composée de 5 stations américaines au sol et d'un centre de contrôle. Les stations enregistrent tous les signaux émis par les satellites et le centre calcule leurs éphémérides et transmet des données aux satellites ;
- la partie des utilisateurs militaires et civils qui regroupe l'ensemble des récepteurs civils et militaires qui ne font que recevoir les informations des satellites.

La détermination d'une position par GPS est basée sur le recoupement de la distance entre un récepteur et au moins 4 satellites. On obtient les distances, soit par mesure du temps de parcours du code C/A ou P, soit par mesure du déphasage de l'onde porteuse L1 ou L2 avec le récepteur.

Le service de positionnement standard SPS est disposition des utilisateurs civils par l'intermédiaire du code C/A et est libre d'accès. Il existe aussi un service de positionnement précis PPS mais il est réservé aux utilisateurs militaires [14].

De grands efforts de modernisation de GPS sont en cours avec notamment une nouvelle fréquence civil L2C et une troisième fréquence L5 compatible avec la bande réservée à l'aviation civile.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	5-10 m en bonnes conditions de réception
Fréquence de localisation	Haute	1-20 Hz
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Moyenne	99% - (erreur horizontale inférieure à 36 m et verticale inférieure à 77 m avec une probabilité de 95%)
Continuité	Non évalué	interruption du signal en cas de masquage



Avantages

- récepteurs grands publics bon marché
- technologie intégrée dans de nombreux outils (navigation automobile, assistants personnels, téléphonie mobile,...)



Facteurs limitant

- Multi-trajet ou absence de signaux en canyon urbain
- très vulnérable aux interférences électromagnétiques

GALILEO – Open Service

Description

Galileo est la contribution européenne à la deuxième génération de systèmes de navigation par satellites. Financé par la Commission Européenne et l'Agence Spatiale Européenne (ESA), le système est dans sa phase de développement et de validation et sera mis en service à l'horizon 2013.

Le système est sous contrôle civile et non pas militaire comme c'est le cas pour GPS. Le système sera complètement interopérable avec les autres GNSS. Pour les services ouverts, les récepteurs de base combineront les signaux GPS et Galileo, positionnant ces deux systèmes non pas comme des concurrents, mais comme complémentaires. Galileo permettra d'étendre la couverture offerte par GPS et GLONASS aux latitudes élevées du globe (Europe du nord) et d'améliorer la disponibilité en milieu urbain dense.

L'architecture de Galileo est semblable à celle de GPS, avec :

- un segment spatial comportant une constellation de 27 satellites opérationnels (et des satellites de réserve) répartis sur 3 plans orbitaux. Chaque satellite émettra des signaux modulés sur trois bandes de fréquence : E5A/E5B pour les messages de navigation, intégrité, Search & Rescue, E6 pour les signaux cryptés du service public réglementé (PRS), signaux commerciaux et L1 pour les messages de navigation, intégrité
- un segment de contrôle et un segment utilisateur.

Galileo offrira 5 services :

- *Open Service* : service "grand public" similaire à celui offert par GPS aujourd'hui. Ce service sera gratuit et accessible à tout le monde avec trois signaux.
- *Commercial Service*
- *Safety of Life Service*
- *Public Regulated Service*
- *Search and Rescue Service*

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	OS : 15 m en mono-fréquence à 95 % (4 m en mode bi-fréquence)
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Moyenne à haute	99% - 99.9 %
Continuité	Non évalué	



Avantages

- distribution grand public
- interopérable avec les autres GNSS
- couverture étendue aux latitudes élevées du globe
- amélioration de la disponibilité en milieu urbain dense, combiné avec GPS



Facteurs limitant

- Multi-trajet ou absence de signaux en canyon urbain
- vulnérable aux interférences électromagnétiques

GALILEO – Commercial Service Global

Description

La principale nouveauté de Galileo par rapport au GPS est la possibilité pour les utilisateurs d'établir un contrat de prestations pour un service à caractère commercial avec des frais d'utilisation et un accès réservé aux utilisateurs autorisés. Ceci dans l'optique de garantir un service et d'implémenter des applications ayant un impact légal.

Couverture Globale

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	5 - 10 m (bi-fréquence)
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	Service à valeur ajoutée, défini contractuellement
Disponibilité	Moyenne à haute	99% - 99.9 %
Continuité	Non évalué	



Avantages

- Possibilité de définir un service par contrat
- Accès à des moyens (restreints) de communications par satellites



Facteurs limitant

- Politique commerciale (non définie)

GALILEO – Commercial Service Local

Description

La principale nouveauté de Galileo par rapport au GPS est la possibilité pour les utilisateurs d'établir un contrat de prestations pour un service à caractère commercial avec des frais d'utilisation et un accès réservé aux utilisateurs autorisés. Ceci dans l'optique de garantir un service et d'implémenter des applications ayant un impact légal.

Couverture locale

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Haute	< 10 cm – 1m
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	Service à valeur ajoutée
Disponibilité	Moyenne à haute	99% - 99.9 %
Continuité	Non évalué	



Avantages

- possibilité pour un acteur local (par ex. swisstopo) de s'impliquer dans ce marché



Facteurs limitant

-

GALILEO – Safety of Life

Description

La principale nouveauté de Galileo par rapport au GPS est la possibilité pour les utilisateurs d'établir un contrat de prestations pour un service à caractère sécuritaire (applications de sécurité critique, par exemple l'aviation civile, transport de matières dangereuses). Le service transmet des données d'intégrité. Ceci dans l'optique de garantir un service et d'implémenter des applications ayant un impact légal.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	4 - 6 m (bi-fréquence) niveau critique
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Haute	Performance typique de l'aviation civile
Disponibilité	Moyenne à haute	99% - 99.9 %
Continuité	Haute	10 ⁻⁵ / 15 s niveau critique 10 ⁻⁴ / heure - 10 ⁻⁸ / heure niveau non critique



Avantages

→ intégrité connue et garantie contractuellement



Facteurs limitant

→

GLONASS

Description

GLONASS (Global Navigation Satellite System) est le système de navigation par satellite de la Russie. Il est indépendant de GPS, mais néanmoins compatible. Tout comme les autres GNSS, GLONASS dispose de trois segments :

- Un segment spatial comportant une constellation de 24 satellites disposés selon trois plans orbitaux. Les satellites transmettent deux types de signaux : les signaux L1 de précision standard (SP) et les signaux L2 de haute précision (HP). La prochaine génération de satellites : GLONASS-K fournira une troisième fréquence L3 avec un service de secours et recherche.
- Un segment de contrôle comportant 5 stations au sol
- et utilisateurs.

Le système GLONASS devrait atteindre des performances comparable à celle des systèmes GPS et GALILEO d'ici 2010 et il est prévu d'étendre le système à l'horizon 2015 avec des satellites de nouvelle génération GLONASS-KM.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	57-70 m (99.7%)
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Très basse	Pas de message d'intégrité pour l'usage civil 30-60 s : délai d'alerte pour un satellite qq minutes à 16 heures: délai d'alerte pour l'ensemble de la constellation
Disponibilité	Très basse	En avril 2006, la disponibilité est de 76 % et elle va s'améliorer avec les lancements prévus dès 2007.
Continuité	Non évalué	



Avantages

- ➔ accès gratuit et sans restriction aux signaux civils de GLONASS à tous les usagers



Facteurs limitant

- ➔ Multi-trajet ou absence de signaux en canyon urbain
- ➔ très vulnérable aux interférences électromagnétiques
- ➔ nombre limité de récepteurs de type Glonass

5.2.2 Systèmes d'augmentation par satellites

EGNOS

Description

Certains domaines, comme le transport aérien, doivent en plus de l'amélioration de la localisation, assurer la qualité spatio-temporelle de l'information de positionnement. C'est pourquoi, la communauté de l'aviation civile a mis en œuvre un système dit d'augmentation spatial du GPS qui fournit à l'utilisateur des informations sur l'état du système de navigation grâce à un message d'intégrité.

Le système européen EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) est actuellement opérationnel. L'utilisation des services d'EGNOS dans l'aviation civile est prévue prochainement (2010) après leur validation par les organismes concernés.

L'architecture d'EGNOS est composée de trois segments :

- Le **segment de contrôle** est composé des RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), des MCC (Mission Control Centres) et des NLES (Navigation Land Earth Stations). Les 34 RIMS sont distribuées géographiquement et collectent des données GPS et GLONASS. Les 4 MCC rassemblent toutes les informations. Ils calculent les corrections différentielles ainsi qu'une estimation de la précision. Ensuite, les stations NLES envoient ces messages aux satellites géostationnaires qui les diffusent aux utilisateurs par l'intermédiaire de la fréquence L1 avec une modulation et un codage similaire à GPS. Il n'est donc pas nécessaire d'acquérir un récepteur supplémentaire.
- Le **segment spatial** est composé de 3 satellites géostationnaires.
- Le **segment utilisateur** est composé de récepteurs EGNOS standards et d'un équipement spécifique pour les applications aériennes, maritimes ou terrestres.

EGNOS améliore la performance des systèmes satellitaires GPS et GLONASS par l'intermédiaire des trois services suivants:

- "GEO Ranging": la transmission de signaux L1 (code et phase) de 3 satellites géostationnaires augmente le nombre de satellites disponibles pour le positionnement, ce qui améliore la géométrie de la constellation de satellites.
- "Wide Area Differential": la précision du positionnement augmente grâce à la transmission de corrections différentielles pour l'ensemble des satellites GPS et GEO par les satellites géostationnaires.
- "GNSS Integrity Channel": l'information d'intégrité transmise par les satellites géostationnaires fournit le niveau de sécurité exigé, notamment pour les applications de la navigation aérienne

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Moyenne	1 - 2 m
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Très haute	2×10^{-7} (risque d'intégrité)
Disponibilité	Moyenne	0.95
Continuité	Très haute	8×10^{-7}



Avantages

- message d'intégrité gratuit pour les utilisateurs
- améliore nettement les performances (+ satellites, corrections différentielles)



Facteurs limitant

- très vulnérable aux interférences électromagnétiques

5.2.3 Systèmes de radiolocalisation terrestre

LORAN-C

Description

Le Loran-C (Long-Range Navigation) est un système de radionavigation terrestre à basse fréquence principalement dédié à la navigation dans les eaux côtières et océaniques. Le système Loran est basé sur la transmission d'impulsions RF (radio fréquence) espacées, permettant à l'utilisateur de déduire des informations temporelles, de position ou de vitesse.

Le système Loran-C traditionnel fonctionne avec une chaîne de trois à six stations synchronisées entre elles. Chaque chaîne possède une station maîtresse et des stations secondaires. Chaque station peut avoir un rôle simple (transmission du signal dans une chaîne) ou double (transmission d'un signal dans une chaîne, et d'un autre signal dans une autre chaîne). Le récepteur calcule sa position à partir des différences de temps d'arrivée des impulsions RF pour chaque paire de stations "maîtresse-secondaire" d'une même chaîne.

L'architecture du système comprend des émetteurs, des centres de contrôle et des sites de surveillance. Les sites de surveillance servent à vérifier que les signaux sont perçus de manière utilisable.

Malgré l'importante évolution technologique, les utilisateurs du Loran-C pourront toujours utiliser leurs récepteurs mais sans pouvoir bénéficier des apports du e Loran.

Le Loran-C possède une bonne couverture sur l'hémisphère Nord.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	18 - 90 m
Fréquence de localisation	Haute	10 - 20 fix/sec
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Haute	99.7%
Continuité	Non évalué	



Avantages

→ les signaux Loran se propagent à la surface de la terre, pénètrent profondément dans les centres-villes et même dans les bâtiments - et pour l'aviation, dans le fond des vallées, jusqu'au niveau du sol



Facteurs limitant

→ Système relativement ancien et peu intégré aux nouvelles technologies

E-LORAN

Description

Les récepteurs e-Loran, se basent sur un mode d'observation synchronisé, calculant la meilleure position à partir de toutes les stations dont ils reçoivent un signal, souvent plus de 10 à la fois (de la même manière que les récepteurs GNSS reçoivent les signaux de plusieurs satellites). La contribution de chaque station est pondérée en fonction de la qualité de réception du signal. La couverture obtenue avec le eLoran est donc meilleure que celle obtenue avec le Loran-C.

L'architecture du système comprend des émetteurs, des centres de contrôle et des sites de surveillance.

Les systèmes de contrôle temps-fréquence des émetteurs appliquent des corrections de phase en continu. Les émissions eLoran sont synchronisées à une source certifiée de temps UTC, par une méthode complètement indépendante des systèmes GNSS. Cette synchronisation à une référence temporelle commune permet aux récepteurs d'employer une combinaison des signaux eLoran et des signaux satellitaires.

Les sites de surveillance, situés dans l'aire de couverture du eLoran, sont utilisés pour garantir l'intégrité du système à la communauté des utilisateurs. Grâce à leurs récepteurs, ils surveillent les signaux eLoran et fournissent aux centres de contrôle des informations en temps réel concernant la distribution des signaux dans l'espace. Lorsqu'une station eLoran sort des tolérances admissibles, elle est immédiatement mise hors ligne pour que les récepteurs cessent aussitôt d'utiliser le signal. Certains des sites de surveillance sont utilisés comme station de référence pour générer les messages de corrections.

Un récepteur e-Loran est capable de recevoir et de décoder les messages du canal de données et d'appliquer ces informations selon les besoins spécifiques à l'application de l'utilisateur. Ces informations couplées avec les corrections publiées sur le signal propagé, fournissent à l'utilisateur une solution de position, de navigation et de synchronisation très précise.

Une infrastructure de transmission eLoran est en cours d'installation aux Etats-Unis et une variante de l'e-Loran est maintenant opérationnelle en Europe. On prévoit une évolution globale vers l'eLoran et les premiers récepteurs combinés e-Loran/GNSS sont sur le marché en vue d'une large gamme d'applications qui verront le jour dans un futur proche².

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	8 - 20 m
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Très haute	0.999999 (1×10^{-7})
Disponibilité	Très haute	0.999 – 0.9999
Continuité	Très haute	0.999 – 0.9999 pendant 150 s



Avantages

- très résistant aux interférences électromagnétiques
- les signaux Loran se propagent à la surface de la terre, pénètrent profondément dans les centres-villes et même dans les bâtiments - et pour l'aviation, dans le fond des vallées, jusqu'au niveau du sol



Facteurs limitant

- Equipements coûteux, réservés à un usage professionnel

² <http://www.loran.org/>

RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE – Cell-ID

Description

Il existe quatre principaux types de réseaux de téléphonie mobile : GSM, GPRS, EDGE et UMTS. Les plus couramment utilisés sont le GSM et le GPRS. Ils permettent notamment de déduire la position d'un mobile.

GSM est l'abréviation de **Global System for Mobile communication**. Chaque cellule numérique GSM dispose d'une Station Radio de Base (BTS) qui agit sur un ensemble de canaux radios, différents de ceux utilisés dans les cellules voisines pour éviter toute interférence. Ce mode de subdivision permet d'utiliser à nouveau les mêmes fréquences dans des cellules éloignées. En général, on utilise des cellules réparties régulièrement, ou clusters, réguliers pour couvrir une surface de service. Une communication GSM passe par un seul canal, en mode point à point. Elle utilise un numéro de téléphone pour joindre un serveur d'accès à Internet. Par conséquent la communication est facturée au temps écoulé.

Le GPRS (**Global Packet Radio Service**) permet à des téléphones mobiles équipés pour le GPRS d'émettre et de recevoir des données via le réseau cellulaire GSM. Le GPRS utilise plusieurs canaux GSM simultanément, en mode multipoint. Le GPRS est conçu pour Internet, et permet le transfert de fichiers et la consultation de pages web de manière rapide. La communication est facturée non plus au temps, mais à la quantité de données transmises. Le GPRS est encore très utilisé actuellement.

EDGE (**Enhanced Data Rate for Gsm Evolution**) comme le GPRS permet à un utilisateur muni d'un téléphone compatible, de réaliser une transmission de données en mode paquets. Il s'agit d'un compromis entre le GPRS moins rapide et l'UMTS plus coûteux. EDGE est relativement peu utilisé.

L'UMTS (**Universal Mobile Telecommunications System**) propose des débits de transmission de données plus élevés et une connexion avec Internet est constante. L'UMTS ne s'appuie pas sur l'infrastructure GSM, il possède sa propre architecture, plus complexe composée de deux parties : le cœur de réseau et le réseau d'accès. Comme le GSM, l'UMTS s'appuie sur des zones de réception ayant chacune des débits différents. Tandis que l'UMTS utilise un multiplexage fréquentiel (attribution à chaque utilisateur d'une fréquence spécifique pour l'émission et la réception des données) ; le GSM est basé sur un multiplexage temporel (le temps d'utilisation de la bande passante est divisé entre les utilisateurs). L'UMTS reste peu utilisé en raison de son coût important.

Deux techniques sont principalement utilisées pour déterminer la position d'un mobile: l'identification de la cellule BTS (Cell-ID) et l'estimation du temps de parcours d'un signal (OTDOA).

La technique du Cell-ID est la plus simple à mettre en œuvre mais moins précise. La précision de la position dépend de la taille de la cellule, elle est de l'ordre de 300 m en ville, de 600 m en zone périurbaine et varie de 1 à 8 km en zone rurale. En milieu dense, il est habituel que la station radio de base comporte plusieurs antennes, souvent trois. La cellule est ainsi divisée en trois secteurs de 120° correspondant chacun à une. Il est alors possible de savoir dans quel secteur de la cellule se trouve le mobile.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	fonction du rayon de la cellule
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Non évalué	
Continuité	Non évalué	



Avantages

→ Méthode simple pour une localisation grossière



Facteurs limitant

→ dépendance d'un opérateur

RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE – OTDOA

Description

La deuxième méthode employée se base sur l'estimation du temps de parcours d'un signal (OTDOA : Observed Time Difference of Arrival).

Chaque station BTS émet un signal dans sa zone de couverture ou cellule. Le mobile peut recevoir les signaux de plusieurs BTS. La position du mobile est déterminée à partir des différences de temps d'arrivée par paire de BTS visible. Le lieu géométrique des positions possibles du mobile obtenu à partir d'une paire de BTS est un hyperboloïde. Trois mesures TDOA, résultant de la réception des signaux de trois BTS sont nécessaires pour déterminer la position du mobile. La position est calculée directement par le mobile ou via le réseau.

Les méthodes TOA (mesure du temps d'arrivée - multilatération) et AOA (mesure d'angle d'incidence - triangulation) sont moins fréquemment utilisées en téléphonie mobile. La méthode OTDOA permet de s'affranchir du problème de synchronisation que doit résoudre la méthode TOA. La méthode AOA est difficile à mettre en œuvre car nécessite que le réseau soit muni d'antennes directionnelles et est difficilement réalisable sur le mobile.

Bien que la structure du signal UMTS soit plus appropriée que le GSM pour le positionnement, la géométrie du réseau ne fournit pas une couverture suffisante pour le positionnement autonome en utilisant la technique TDOA. D'après des simulations, il faudrait que le réseau soit pourvu de trois fois plus de BTS pour respecter les performances exigées par la norme E911 (appels d'urgence aux Etats-Unis).

Pour améliorer les performances lors du calcul de la position du mobile, il est recommandé de combiner ces méthodes. On pourra par exemple constituer une solution hybride par combinaison des méthodes de GPS assisté (A-GPS) et OTDOA. La tendance du marché des appareils de téléphonie mobile va dans le sens d'une intégration de composant GPS au téléphone portable.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Très basse	67% des appels peuvent être localisés avec une précision de 100 m On peut atteindre une précision de 20 à 30 m avec une architecture UMTS optimisée pour le positionnement.
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Non évalué	
Continuité	Non évalué	



Avantages

- Service intégré à la téléphonie mobile



Facteurs limitant

- effets de multi-trajets
- visibilité de plusieurs cellules : dépend fortement de la position géométrique des stations de base

WIFI

Description

Wi-Fi, (Wireless Fidelity) est la désignation commerciale de la norme des réseaux sans fil IEEE 802.11. Wi-Fi désigne aussi une norme définie par le WECA³ dont le respect garantit l'interopérabilité entre les produits de différents constructeurs. Le Wi-Fi permet d'accéder sans fil aux grands réseaux informatiques via une carte spécifique dont le mobile doit être muni. Pour que la connexion soit établie il faut que l'appareil soit situé à proximité d'une borne (802.11a : environ une dizaine de mètres; 802.11b : jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé). Le Wi-Fi ne passe pas par une infrastructure téléphonique, c'est une connexion directe à Internet ou à l'intranet.

Le Wi-Fi Positioning System (WPS) est d'une alternative urbaine au système de positionnement par GPS. Ce logiciel mis au point par la société Skyhook Wireless⁴, fonctionne selon le même principe que le GPS mais à partir de bornes Wi-Fi.

Le mobile équipé d'un émetteur / récepteur Wi-Fi, capte les signaux de plusieurs balises Wi-Fi. Celles-ci émettent de manière répétitive des signaux annonçant leur présence dans un rayon généralement compris entre 150 et 200 m. La position du mobile est calculée à partir des coordonnées de chacune des bornes, stockées dans une banque de données, et d'un algorithme de positionnement.

Cette technologie n'est actuellement mise en place que dans les plus grandes villes américaines, canadiennes et australiennes. Il est prévu que les 50 plus grandes villes européennes et les 15 plus grandes villes asiatiques soient couvertes à court terme.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	20 m à l'intérieur des bâtiments ou en zone urbaine Fortement dépendante de la géométrie de l'infrastructure
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Haute	99.8% (selon densité des bornes)
Continuité	Non évalué	



Avantages

→ Cette technologie présente l'avantage de fonctionner aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments et dans les zones urbaines denses à l'instar du GPS.



Facteurs limitant

→ Le système est mieux adapté aux zones urbaines qu'aux régions rurales dans lesquelles les bornes Wi-Fi sont trop distantes les unes des autres, voire inexistantes.

³ Wireless Ethernet Compatibility Alliance

⁴ <http://www.skyhookwireless.com/>

ULB

Description

L'ULB est une technologie de transmission sans fil à Ultra Large Bande (ou UWB : Ultra Wide Band) basée sur la transmission d'impulsions de très courte durée : de l'ordre de la picoseconde (10^{-12} s). Cette fine résolution temporelle permet de calculer, à partir de mesures du temps de parcours du signal, la distance entre un émetteur et un récepteur avec une précision de l'ordre du décimètre.

L'émission sur une large bande de fréquences procure au signal une meilleure résistance au multitrajet que le GPS (au sens de la distinction entre le trajet direct et indirect). En effet, la pénétration du signal dépend à la fois de la fréquence utilisée et des propriétés du matériau. Ainsi avec une large gamme de fréquences, la probabilité qu'une partie du signal traverse le matériau est plus grande.

La grande qualité du signal tant du point de vue résistance au multitrajet que de la résolution temporelle est contrebalancée par une faible puissance d'émission imposée par les normes en vigueur, pour éviter toute interférence, notamment avec le système GPS. La faible portée du signal qui en résulte, rend cette technologie peu propice aux applications à l'extérieur.

On peut toutefois citer à titre d'exemple : l'exploitation de l'ULB à été appliqué à la cartographie et au guidage local en cas d'incident dans le projet EUROPCOM du 6^e programme cadre européen. Il s'agit d'un système déployé localement à partir de véhicules, localisés par GPS. Cette infrastructure locale permet de localiser des intervenants dans un contexte difficile.

On peut imaginer de déployer de telles infrastructures localement pour des tunnels, carrefours important, zones de péage,....

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Haute	De l'ordre du mètre sous de bonnes conditions
Fréquence de localisation	Non évalué	
Intégrité	Non évalué	
Disponibilité	Non évalué	
Continuité	Non évalué	



Avantages

- meilleure résistance au multi-trajet que le GPS
- haute précision



Facteurs limitant

- La faible portée du signal rend cette technologie peu propice aux applications à l'extérieur.
- Déploiement local

5.3 Description et performances des systèmes de navigation à l'estime et basés sur la carte

NAVIGATION À L'ESTIME - FUSION DE CAPTEURS

Description

Le principe des systèmes à estimation de parcours, ou systèmes « dead reckoning (DR) », est de déterminer les mouvements du véhicule. Un système DR typique comprend des capteurs de distance parcourue (ou de vitesse) et de direction : compas, compteurs de vitesse, odomètres, capteurs inertiels (gyroscopes et accéléromètres). Ces capteurs permettent ainsi d'intégrer la trajectoire d'un mobile et de fournir une position à chaque instant. Une position initiale absolue du véhicule doit être connue et des positions intermédiaires sont nécessaires pour recalculer la trajectoire lors d'accumulation d'erreurs.

La plupart de ces capteurs sont issus de la technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) qui permet une miniaturisation, une production à bas coût et une faible consommation d'énergie. Basé sur ces capteurs, un système DR ne peut être utilisé seul à cause de l'accumulation défavorable des erreurs. Par contre, les systèmes DR sont, du fait de leur autonomie, particulièrement aptes à maintenir un flux d'informations continu qui peut suppléer aux manques de données du système GPS. Les systèmes DR sont donc, en général, couplés avec un GPS et une carte de navigation.

Le principe d'intégration consiste à combiner les informations provenant de divers capteurs en tirant le bénéfice maximum de chacun. Une méthode (DR) peut être précise à court terme mais nécessite un re-calage régulier, alors qu'une autre (GPS) présente l'avantage de fournir une position précise mais par forcément en continu.

Le problème central dans l'intégration de GPS avec des capteurs DR est la conception de l'algorithme de calcul des données. On utilise le principe du filtre de Kalman pour réunir ces différents types d'informations. Les capteurs DR fournissent l'information sur la position relative (à une position connue), tandis que les coordonnées issues de GPS (lorsqu'elles sont disponibles) permettent, en plus de livrer la position absolue, de déterminer les erreurs des capteurs DR. Ces erreurs étant déterminées, le processeur de navigation peut les prendre en compte.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	5 à 20 m (typique du GPS) Ces performances sont tenues quelques secondes en mode DR seul.
Fréquence de localisation	Haute	10 Hz
Intégrité	Non évalué	Il faudrait une architecture de capteurs redondants et de meilleure qualité pour garantir un niveau d'intégrité
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	



Avantages

- Le plus grand avantage des systèmes DR est leur autonomie.
- Les défauts du GPS et systèmes DR se compensent mutuellement : compensation de la dérive des capteurs par le GPS quand les conditions sont adéquates, calcul de la position par les capteurs DR lorsque la visibilité des satellites est obstruée.



Facteurs limitant

- les erreurs des capteurs s'accumulent jusqu'à la nouvelle calibration
-

CARTE COMME CAPTEUR DE LOCALISATION + Navigation à l'estime

Description

Dans bien des applications, ce n'est pas la position donnée dans un système de coordonnées qui est intéressante, mais plutôt une position relative au réseau routier. Des cartes de navigation routières ont été développées à cet effet. Elles représentent le réseau routier sous forme d'une succession d'arrêtes et de nœuds auxquels sont rattachés des règles de circulation, des noms de rues et d'autres attributs. Tous ces éléments sont bien entendu, repérés dans un système de coordonnées compatible avec GPS.

Un processus de map matching est alors nécessaire pour faire correspondre la position estimée par le système de localisation (par ex. GPS) à une position sur un tronçon de route issu de la carte de navigation.

On peut assimiler les cartes de navigation à un capteur de position. En effet, en partant de l'hypothèse que le véhicule ne peut se déplacer que sur une route, la métrique de la carte est alors utilisée pour fournir une observation cartographique à combiner avec les données provenant des autres capteurs (DR+GPS).

La carte peut être utilisée comme une source d'information pouvant améliorer la localisation et même remplacer le GPS en cas d'indisponibilité de ce dernier. Dans ce cas, la méthode devient une méthode d'odométrie recalée par carte. Cette méthode comporte les étapes suivantes :

- Estimation de la position du véhicule : fusion des données récoltées à partir de l'odomètre du véhicule et d'un récepteur GPS grâce à un filtre de Kalman
- Sélection des segments de routes sur lesquels le véhicule est susceptible d'être positionné : présélection des segments de route situés dans un rayon prédéterminé autour de la position estimée
- Constitution d'une observation cartographique : par projection orthogonale de la position estimée sur le segment le plus probable (selon les critères d'orientation, de distance et selon les règles topologiques)
- Fusion de l'observation cartographique avec la position estimée : l'observation cartographique est introduite dans le filtre de Kalman pour être fusionnée avec la première position estimée.

Performances

Caractéristiques des performances	Classe	Remarque
Précision de la position planimétrique	Basse	5-20 m, selon les spécifications des fournisseurs de cartes de navigation (Tele Atlas, NavTeq)
Fréquence de localisation	Haute	
Intégrité	Pas évalué	Dépend de la qualité de la carte, mise à jour
Disponibilité	Moyenne	
Continuité	Moyenne	



Avantages

→ Améliore la continuité du signal de navigation en milieu urbain



Facteurs limitant

→ il faudrait qualifier l'intégrité de toute la chaîne y compris de la carte.

→ dépendant de l'état de mise à jour de la carte

5.4 Synthèse des performances des systèmes de navigation

Le paragraphe précédent donne un aperçu des solutions de navigation qui présentent un potentiel pour les services TTR et les applications SIR. A partir de ces tableaux descriptifs, on peut établir des solutions types adaptées pour l'automobile et les transports routiers. Cette architecture de solutions est développée dans le chapitre 6.2.

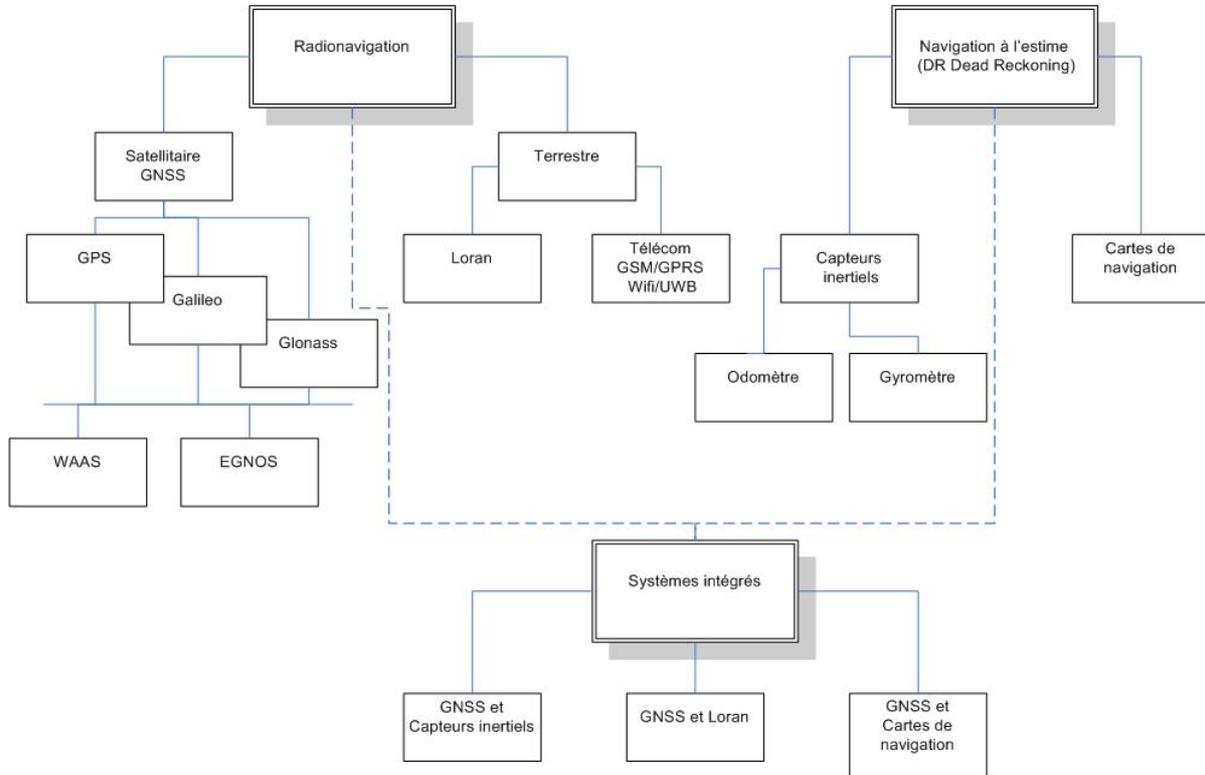


Figure 14 : Architecture générale des solutions de navigation

Précision de la position : elle est variable suivant le type de système et elle dépend fortement de l'environnement et des conditions de mesure. Les systèmes satellitaires GNSS fournissent une position dont la précision varie dans l'espace et le temps et qui peut être affectée d'erreurs systématiques (effets de multi-trajets, atmosphère,...). Les capteurs inertiels de type MEMS, utilisés pour la navigation à l'estime, sont précis à court terme, mais accumulent rapidement des erreurs s'ils ne sont pas recalés. Quand aux méthodes (map matching) qui font recours aux données cartographiques, leur précision dépend directement de la qualité de ces données.

Le tableau suivant présente une synthèse des performances des systèmes de localisation et de navigation, répartie selon les classes de précisions.

Classe	Commentaires
Très haute, 0.2 m	Cette qualité de positionnement est réservée aux applications de mensuration ou de localisation cinématique. Dans ce cas, on a recours à des méthodes GNSS qui exploite l'onde porteuse du signal. Comme ce mode de mesure est très sensible aux coupures de réception des signaux, il est souvent combiné avec des capteurs inertiels de haut de gamme. Ces équipements sont très coûteux (>100 KCHF) et ne sont donc pas réservés à des applications de marché de masse.
Haute, 0.5 m	A partir du demi-mètre, on peut envisager de recourir à des services locaux de corrections différentielles GNSS, qui vont encore s'améliorer avec la qualité des signaux de Galileo et la modernisation de GPS. Toutefois, le couplage avec des capteurs inertiels reste une solution relativement onéreuse pour garantir cette gamme de précision.
Moyenne, 2 m	C'est typiquement les valeurs obtenues par les systèmes d'augmentation de type EGNOS ou WAAS dans de bonnes conditions de réception des signaux.
Basse, 10 m	C'est la précision nominale des services ouverts des GNSS. C'est également une gamme de précision que des capteurs DR de type MEMS peuvent atteindre pendant un laps de temps réduit.
Très basse, 30 m	C'est une précision que de nombreux systèmes de navigation et de localisation peuvent atteindre dans la plupart des environnements urbains et routiers, avec une réserve toutefois quant à la résistance aux interférences pour certains systèmes.

Tableau 9 : Classes de précisions commentées

Intégrité : c'est la caractéristique fondamentale pour les applications qui demandent la garantie d'un niveau de service. Pour l'instant, seuls les systèmes d'augmentation satellitaire de type EGNOS fournissent un message d'intégrité utile aux applications de l'aviation civile. Ce signal peut également être utilisé pour des applications terrestres, moyennant l'usage d'un récepteur GPS compatible WAAS/EGNOS. Toutefois, lorsque le signal EGNOS n'est plus disponible (obstructions), l'utilisateur perd momentanément le service d'intégrité. Le couplage d'un récepteur EGNOS avec des capteurs inertiels est possible, mais dans ce cas, il faut que le système de navigation (EGNOS/INS) procure également un signal d'intégrité basé sur les deux systèmes de mesures.

Une combinaison avec le eLoran est aussi envisageable, car ce système fournit un signal d'intégrité et son architecture est compatible avec les GNSS. A ce jour les premiers récepteurs combinés GNSS/INS ou GNSS/Loran sont disponibles sur le marché et la question de la garantie de l'intégrité fait encore l'objet de développement.

L'usage de données cartographiques pour garantir l'intégrité est également envisageable. Toutefois, la question de la certification des données se pose et, à ce jour, aucun organisme ne s'est engagé dans cette voie.

Disponibilité : c'est un facteur clé pour les applications qui demandent un service de positionnement sur l'ensemble du réseau routier et à chaque instant. La non-disponibilité des systèmes de navigation par satellites est principalement due à l'environnement (canyon urbain, tunnels, forêt dense,...) qui fait obstruction aux signaux des satellites. Par remédier à ce problème une combinaison de GNSS avec des capteurs inertiels ou le système eLoran, dont la disponibilité est spécifiée, s'avère nécessaire.

Avec l'usage de capteurs inertiels bon marché de type MEMS, on a vu que la précision peut rapidement se dégrader et donc rendre le système indisponible. Dans ce cas, le recours à la cartographie, comme élément de calage des capteurs s'avère nécessaire.

Continuité : c'est le facteur clé lorsque la disponibilité de service doit être garantie pendant un intervalle de temps donné. Cet intervalle peut être très variable suivant le type d'application.

6. ADEQUATION ENTRE BESOINS (TTR ET SIR) ET SOLUTIONS DE NAVIGATION

Cette partie de l'étude met en relation les besoins en localisation exprimés dans les différents services TTR et dans les applications SIR (chapitre 4) avec le potentiel des solutions de navigation (chapitre 5). L'évaluation des différentes caractéristiques de la localisation a montré qu'une approche quantitative n'est pas toujours évidente à établir et elle peut varier suivant le type d'implémentation du service et le contexte de l'application. Ainsi, on préconise une approche pragmatique qui consiste de regrouper les exigences en grandes catégories définissant ainsi une typologie des services, tout en sachant que la localisation y joue un rôle plus ou moins déterminant.

Cette approche s'appuie sur les propositions faites dans le projet européen de recherche « GIROADS, GNSS Introduction in the Road Sector » [18]. Cette étude a dressé un inventaire détaillé des applications du secteur routier et pouvant potentiellement avoir recours à un système de localisation GNSS. Le concept de groupement des applications présenté comporte 4 classes avec des implications liées à la sécurité, légales, commerciales et sans implications particulières. Nous reprenons ce modèle dans cette étude afin d'agréger et de répartir les applications décrites dans le chapitre 4.

La Figure 15 illustre les 4 groupes d'applications proposés et pondère les caractéristiques de base de la localisation (précision, intégrité, continuité, disponibilité) dans chacune des classes. La caractéristique de précision reste un facteur variable et spécifique à chaque application (par ex. : une application très exigeante en intégrité peut se contenter d'une précision de position basse).

6.1 Typologie des services TTR et des applications SIR

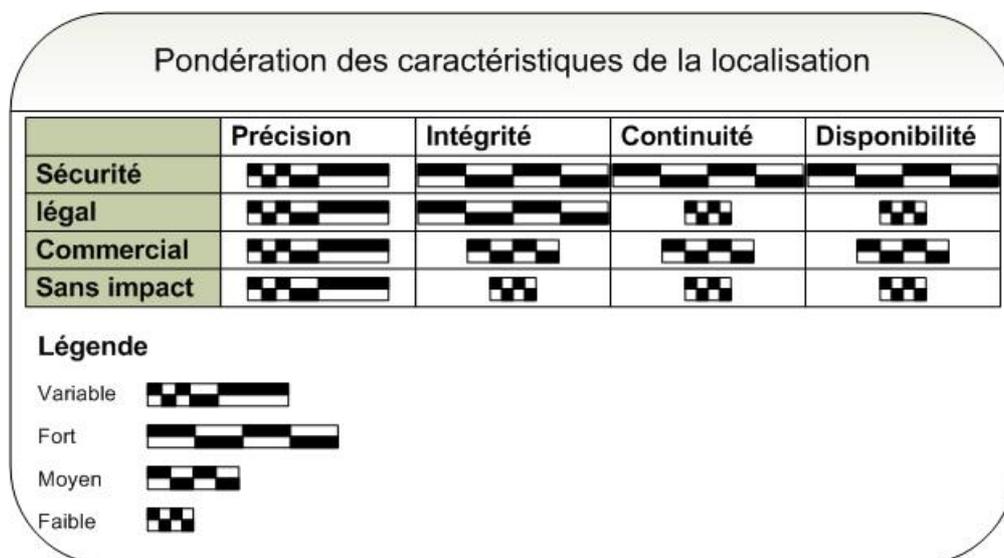


Figure 15 : pondération des caractéristiques de la localisation en fonction des classes d'applications/services

Définitions des classes (typologie)

A. Lié à la sécurité (des personnes)

Cette classe regroupe les applications ou services dans lesquels la sécurité, en particulier des personnes, est en jeu. Une erreur de localisation non prévisible aurait un impact dramatique sur les acteurs du domaine routier.

Dans ce cas, les caractéristiques d'intégrité, continuité et disponibilité sont fondamentales pour la garantie d'un service de localisation de très haute exigence.

Exemple : on peut citer certaines applications d'assistance à la conduite (ADAS) comme les moyens

d'évitement de collisions

B. Avec une implication légale

Cette classe regroupe les applications ou services dans lesquels une erreur de localisation aurait des conséquences légales dues au non-respect des spécifications contractuelles d'un service de navigation.

Dans ce cas, l'intégrité du service de localisation est le paramètre principal. Les caractéristiques de disponibilité et de continuité peuvent être pondérées plus faiblement, du moment que l'utilisateur sait avec une grande confiance que le service n'est pas disponible.

Exemple : le calcul de la monétarisation de la mobilité (road pricing) effectué sur la base d'un service de navigation peut être faussé en cas de dysfonctionnement (non explicite) du service. Une facture établie sur cette base est discutable.

C. Avec une implication commerciale

Cette classe regroupe les applications ou services dans lesquels une erreur de localisation aurait des impacts commerciaux relevant de l'usage d'un service de navigation permettent un bénéfice commercial direct ou indirect.

Dans ce cas, les caractéristiques d'intégrité, de continuité et de disponibilité sont pondérées de manière équivalente avec toutefois un niveau d'exigence inférieur à la classe A. Ce niveau est fonction du risque que l'utilisateur peut assumer sachant que l'impact est avant tout financier.

Exemple : une société de transports gère sa flotte de véhicule à l'aide de systèmes de navigation. En cas de défaillance de systèmes, la société en question pourrait subir momentanément une perte commerciale due à une baisse de sa performance.

D. Sans implication particulière

Cette classe regroupe le solde des applications et services sans implications particulières en cas de défaut de localisation du service de navigation.

Dans ce cas, les caractéristiques d'intégrité, disponibilité et continuité sont pondérées de manière équivalente avec le niveau d'exigence le plus bas, voir nul.

Exemple : un système d'information au conducteur durant le trajet présentant un dysfonctionnement n'a pas un impact particulier si ce n'est l'absence d'information durant un moment.

Ces classes d'applications n'ont pas une définition stricte et peuvent présenter des dépendances selon la nature de l'application ou du service, comme par exemple :

- une application ayant un impact sur la sécurité peut engendrer une implication au plan légal et/ou commercial ;
- une application ayant un impact légal a souvent une implication commerciale et vice versa ;
- Une application sans implications particulières peut, dans une certaine mesure, avoir une implication commerciale.

Compte tenu des multiples implications que peut engendrer un défaut de localisation dans les applications et services, on propose de les grouper dans une classe en fonction de la **caractéristique dominante**. Par rapport au tableau de synthèse des besoins en localisation (Tableau 7), l'approche proposée ici présente une vue agrégée principalement basée sur le paramètre d'intégrité de la localisation. Dans chaque domaine d'application, la question fondamentale à se poser est : quel est l'impact d'un défaut de localisation et quel est la part de risque que l'on (fournisseur de service et/ou utilisateur final) est en mesure d'assumer ?

Le Tableau 10 présente cette nouvelle classification des services TTR et applications SIR par rapport à la typologie des services proposée ci-dessus avec des remarques sur l'intégrité de la localisation.

Services TTR et applications SIR		
Typologie des services	Domaine	Remarques sur l'intégrité
A. Lié à la sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Aide au conducteur et contrôle du véhicule - Services d'urgence 	Dans ce groupe de services la notion de temps réel est un paramètre déterminant dans la plupart des applications. Le niveau d'intégrité doit donc être le plus élevé possible de manière à valider des opérations ou décisions dans très court laps de temps.
B. Avec une implication légale	<ul style="list-style-type: none"> - Paiement électronique 	Dans ce contexte, c'est un dispositif de monitoring de l'intégrité qui doit être mise en place afin de détecter les périodes pendant lesquelles le calcul de la taxe prélevée ne serait pas optimal.
C. Avec une implication commerciale	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de fret et de flottes - Transports publics 	L'implication commerciale dépend du risque d'entreprise. Il est évident qu'un système, par exemple pour la gestion de flotte, doit être d'une grande fiabilité, mais on peut admettre que dans certains cas le signal de positionnement ne soit pas disponible sans entraver grandement l'opération en cours.
D. Sans implication	<ul style="list-style-type: none"> - Information sur la circulation et les déplacements - Gestion du trafic - Système d'information de la route 	Sans implication ne signifie pas sans fiabilité . Toutefois, dans ce type d'applications, la notion de temps réel est moins déterminante et on peut fiabiliser la localisation par l'application d'un principe de surabondance de mesures , comme le font les géomètres (<i>eine Messung ist keine Messung</i>). Par exemple, pour déterminer un flux de trafic, on dispose d'un très grands nombre de mesures originales (positions et vitesses de véhicules) et par un traitement statistique, on peut écarter les mesures aberrantes.

Tableau 10 : Synthèse entre typologie des services et type de solutions de navigation

6.2 Typologie des solutions de navigation

Il existe des classifications de systèmes de navigation dans des domaines spécifiques comme la marine ou l'aviation civile. Dans le domaine du transport terrestre, il n'y a pas encore une telle classification reposant sur des normes. Toutefois, nous proposons une approche basée sur une solution générale répartie en trois niveaux rassemblant les concepts de localisation, de service à valeur ajoutée et de cartographie.

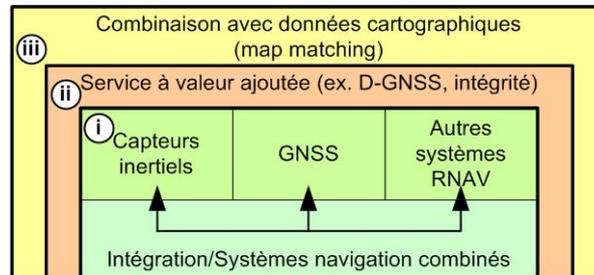


Figure 16 : Architecture générale des solutions de navigation

Les niveaux représentés sur la Figure 16 décrivent :

- i) L'ensemble des systèmes de positionnement et de navigation fournissant les données de base, soit la position, la vitesse et le temps. Ces systèmes de base peuvent être utilisés isolément ou de façon combinée.
- ii) L'éventail de services à valeur ajoutée qui permettent un gain de performance ou un ajout de fonctionnalités aux systèmes de base.
- iii) Le niveau de cartographie avec les fonctions de map-matching.

Cette vision globale permet de combiner les éléments (systèmes, services, carte) afin de proposer de solutions de navigation en réponse à la typologie des besoins exprimés précédemment. On propose trois types de solutions de navigation :

- avec garantie de l'intégrité : solution la plus performante basée sur des systèmes redondants et sur un ou des service(s) à valeur ajoutée
- avec fonctions cartographiques : solution combinant les informations issues d'une carte de navigation utiles dans de nombreuses applications (gestion, routage,...)
- de base : solution minimale avec fonctions de base de localisation avec une garantie limitée de performance

Cette liste n'est pas exhaustive, il existe certainement d'autres types de solutions, mais ces trois types devraient offrir une gamme de performance et fonctionnalités adaptées aux applications routières.

6.2.1 Navigation avec garantie de l'intégrité

Cette solution se compose principalement sur un ou plusieurs système(s) de localisation par satellites qui comprend un service de base d'intégrité (EGNOS, Galileo) qui est couplé avec des moyens complémentaires de localisation que sont les capteurs inertiels ou la radionavigation terrestre (par ex. Loran).

Le couplage est réalisé au niveau du terminal de navigation qui contrôle la qualité des signaux de navigation et le niveau de protection (3.1.3) par rapport aux exigences de l'application. Par ce mécanisme, l'utilisateur est averti à temps si le système ne répond plus à ses exigences, sachant que suivant le type d'application, on va chercher à minimiser les instants pendant lesquels le système serait indisponible.

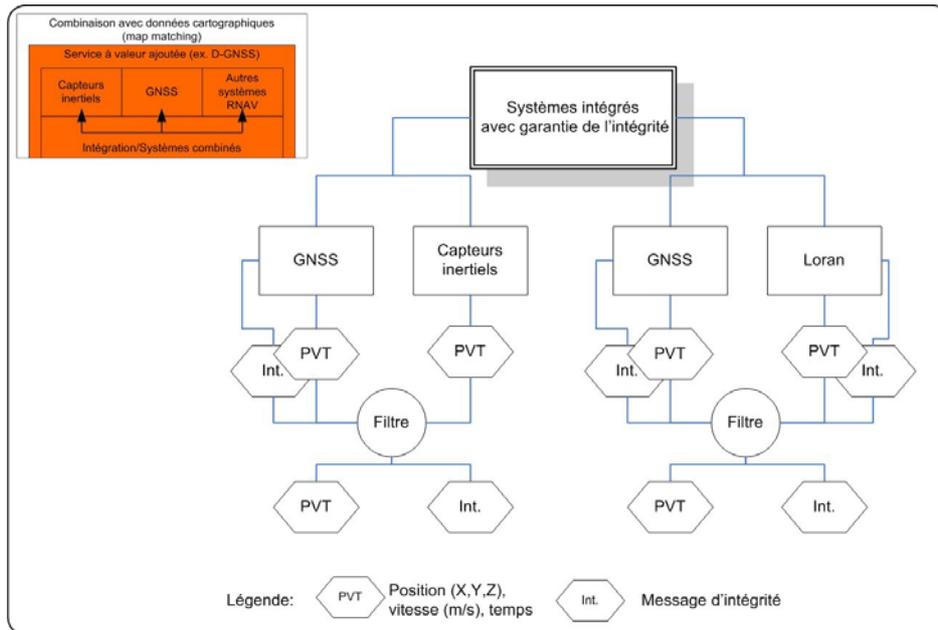


Figure 17 : Système avec garantie de l'intégrité

6.2.2 Navigation avec fonctions cartographiques

Cette solution se base principalement sur un système de localisation par satellites qui peut comprendre, en option, un service d'intégrité (EGNOS, Galileo) qui est couplé avec des moyens complémentaires de localisation que sont les capteurs inertiels. De plus, on considère le contenu cartographique comme un élément essentiel du terminal de navigation dans le sens qu'il associe l'estimation de la position à une donnée cartographique (arête, nœud) et contextuelle par map matching.

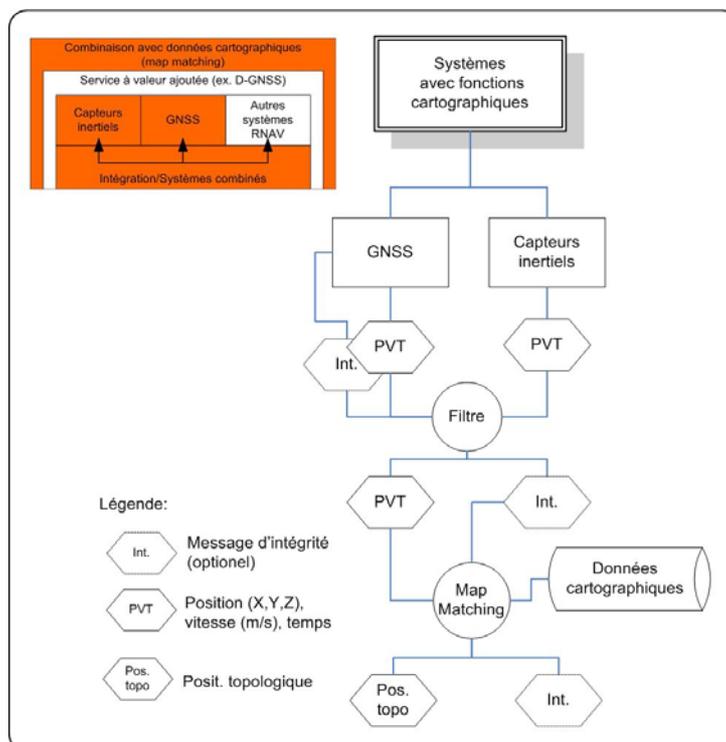


Figure 18 : Système avec fonctions cartographiques

6.2.3 Navigation de base

Cette solution de base est composée soit d'un récepteur simple de type GNSS ou d'un récepteur combiné GNSS et capteurs inertiels. La diffusion d'un message d'intégrité reste une option possible, mais qui se situe plutôt au niveau du système de navigation et non comme un véritable service à valeur ajoutée.

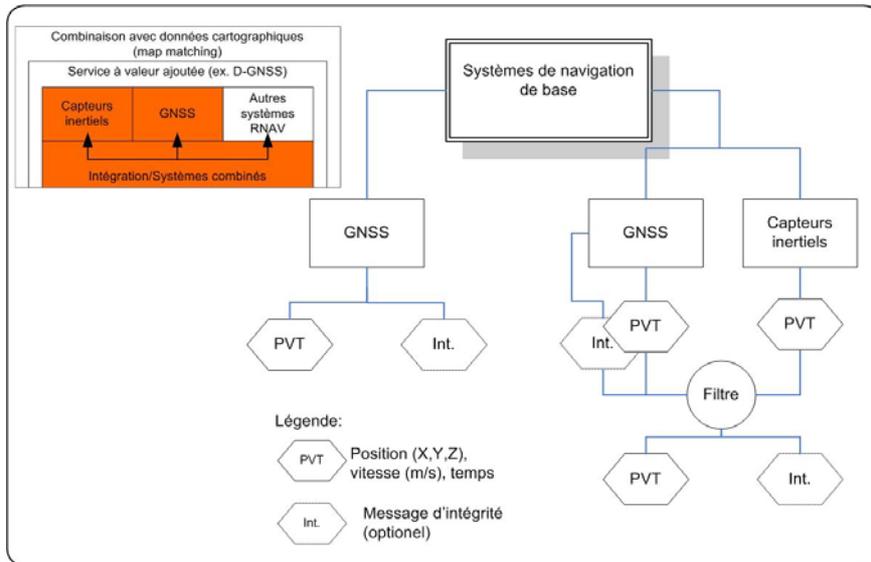


Figure 19 : Système de base

6.3 Synthèse entre besoins et solutions

Le tableau suivant dresse une synthèse entre les typologies de services TTR ou applications SIR et les grands types de solutions de navigation.

Typologie des services	Types de solutions de navigation		
	Avec garantie de l'intégrité	Avec fonctions cartographiques	De base
Lié à la sécurité	- l'intégrité est l'élément essentiel pour ce type de solution. Le risque doit être minimisé, voir nul.	- La notion d'intégrité doit faire partie intégrante de cette solution en s'appuyant notamment sur des cartes dont le contenu est certifié.	-
Avec une implication légale	- l'intégrité est un élément essentiel qui doit permettre de reconstituer l'état de fonctionnement du système en case de litige (traçabilité).	- l'association avec la cartographie a un but légal, par exemple pour contrôler qu'un transport spécial suit correctement un itinéraire autorisé.	-
Avec une implication commerciale	- le risque d'intégrité est dimensionné en fonction du risque commercial que l'utilisateur est prêt à assumer. Un défaut de localisation peut engendrer plus ou moins de perte économique,	- l'association avec la cartographie est essentielle dans la plupart des applications à but commercial. Elle apporte une plus value, en particulier pour la visualisation d'opérations.	- Certaines applications avec une implication commerciale peuvent se contenter de solutions de base, en général associées à des fonctionnalités de l'informatique mobile (smartphone, PDA,...)
Sans implication	-	- solutions croissantes des marchés de masse avec la 3 ^e génération de la téléphonie mobile : nombreuses applications de localisation combinée à la carte avec des services grand public d'information et de guidage.	- solutions de localisation et/ou communication pour le repérage de véhicules à distance et pour la trajectographie (enquêtes de mobilité).

Tableau 11 : Synthèse entre typologie des services et type de solutions de navigation

7. RECOMMANDATIONS

Cette partie finale de l'étude propose quelques recommandations pour les personnes en charge de la gestion du trafic et des transports ainsi que celles concernées par le système d'information de la route. Le premier chapitre aide les utilisateurs dans l'expression de leurs besoins en localisation, le second chapitre renseigne les utilisateurs sur les architectures possibles de système de navigation et finalement la dernière partie propose quelques idées de publications de du thème localisation et navigation pour la VSS.

Remarque : par utilisateurs, on entend les personnes qui ont la responsabilité d'établir un cahier des charges et de choisir un système pour la gestion du trafic et des transports ou un système d'information de la route. Sont compris également les experts en télématique routière qui sont chargé de rédiger de nouvelles normes.

7.1 Aide à l'expression des besoins en localisation

Cette partie a pour but de proposer aux utilisateurs, non spécialistes de la navigation, une liste de thèmes et de questions permettant de spécifier leurs besoins en localisation. On propose, dans l'ordre, les questions suivantes associées à des réponses types qui sont regroupées dans trois thèmes : les caractéristiques, les performances et les fonctionnalités (Figure 20).

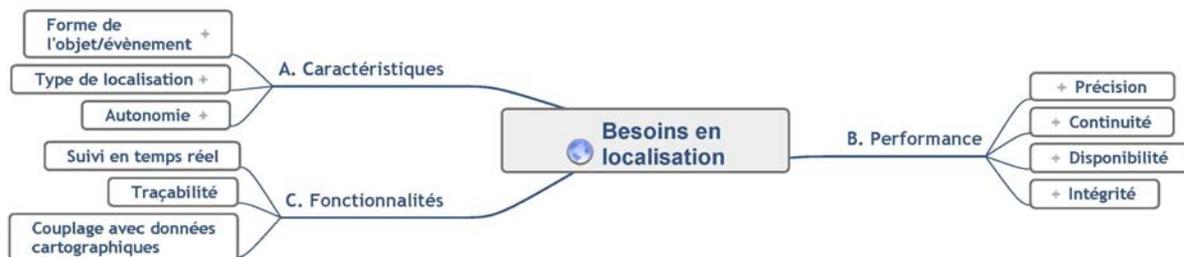


Figure 20 : Spécifications des besoins en localisation

No	Questions	Réponses types
	A : Caractéristiques	
A1	Quel est le type de localisation envisagé ?	iv) Absolue, dans un système de repérage planaire <ul style="list-style-type: none"> - en coordonnées géographiques (par ex. WGS84) - en coordonnées nationales (par ex. le système suisse) v) Relative, dans un système de repérage linéaire et/ou topologique <ul style="list-style-type: none"> - en coordonnées linéaires (par ex. le SRB) - référencer à une topologie de réseau (par ex. GDF) vi) Relatif, par rapport à des éléments géométriques du réseau routier <ul style="list-style-type: none"> - en coordonnées relatives par rapport à des éléments cartographiques (par ex. l'axe de la route) - en coordonnées relatives par rapport à des éléments réels (par ex. la ligne blanche)
A2	Quelle est la forme de l'objet ou de l'évènement à localiser ?	i) Ponctuelle. Exemple : position d'un véhicule, emplacement d'un panneau de signalisation,... ii) Linéaire. Exemple : Segment de route avec un chantier, bouchon,... iii) Surfaccique (zone, région). Exemple : zone de protection de l'environnement, zone de restriction de trafic,
A3	Quelle est le degré d'autonomie du système de localisation/navigation par rapport à une infrastructure de service ?	i) Totalement dépendant d'une infrastructure. L'utilisateur mobile n'a aucune autonomie et ne dispose pas de moyens propres à bord du véhicule pour se localiser ii) Partiellement. L'utilisateur mobile dispose de quelques

		<p>moyens de localisation, mais doit partiellement se référer à une infrastructure (par ex. pour recalculer un capteur)</p> <p>iii) Indépendant de toute infrastructure. L'utilisateur mobile dispose de tous les moyens de positionnement à bord du véhicule.</p>
	B. Performance	
B1	Quelle est la précision requise ?	<p>i) Très basse (30 m). Exemple : localisation dans un quartier, une jonction,</p> <p>ii) Basse (10 m). Exemple : localisation sur une route principale, sur un carrefour, ...</p> <p>iii) Moyenne (2 m). Exemple : localisation sur un axe de route, sur une zone d'arrêt (feu, arrêt de bus,...)</p> <p>iv) Haute (0.5 m). Exemple : localisation dans une voie de circulation spécifique, ...</p> <p>v) Très haute (0.2 m).</p>
B2	Quelle est la disponibilité utile du signal de localisation ?	<p>i) Complète, sur l'ensemble du réseau routier, y compris dans les villes et les tunnels</p> <p>ii) Partielle, uniquement sur le réseau principal, y compris dans les tunnels</p> <p>iii) Partielle, sur l'ensemble du réseau routier avec quelques lacunes</p> <p>iv) Partielle, sur l'ensemble du réseau routier urbain</p> <p>v) Partielle, a des endroits spécifiques (zones de péage, voie de circulation, ...)</p>
B3	Est-ce la continuité du signal de navigation est nécessaire ? Si oui pendant quel laps de temps ?	<p>i) Oui, lors d'opérations de faible durée (qq sec)</p> <p>ii) Oui, lors d'opérations de longue durée (qq min)</p> <p>iii) Non</p>
B4	Est-ce que l' intégrité de la localisation doit être garantie ? (Est-ce qu'un défaut de localisation a un impact dommageable pour l'application ou le service concerné ?)	<p>i) Oui. L'application ou le service ne peut accepter des positions fausses qui auraient un impact direct sur la sécurité des personnes ou sur des aspects légaux et commerciaux.</p> <p>ii) Non. Le cas de positions fausses n'a pas un impact dommageable (fait partie des risques qui peuvent être assumés) pour le service ou l'application concernés.</p>
	C. Fonctionnalités	
C1	Est-ce que la localisation doit être couplée à des données cartographiques ?	<p>i) Oui avec des données de la navigation automobile (type GDF)</p> <p>ii) Oui avec des données métiers spécifiques (par ex. un réseau de transports publics, des données environnementales,...)</p> <p>iii) Non</p>
C2	Est-ce que la localisation doit servir au suivi en temps réel (tracking) ?	<p>i) Oui avec une transmission de la position seule</p> <p>ii) Oui avec une transmission de la position et d'autres paramètres (statut du véhicule, chargement, ...)</p> <p>iii) Non</p>
C3	Est-ce que la localisation doit servir à la traçabilité (historique des positions) ?	<p>i) Oui avec l'enregistrement d'un historique des positions</p> <p>ii) Oui avec l'enregistrement d'un historique des positions et d'autres paramètres (statut du véhicule, chargement, ...)</p> <p>iii) Non</p>

Tableau 12 : Questions et réponses pour l'expression de besoins en localisation

Voici quelques conseils et considérations complémentaires qui peuvent aider à une formulation plus précise des besoins :

- **dépendance d'une infrastructure** (de service) : cette notion a été prépondérante lors du déploiement des premières solutions de positionnement et de télécommunication et a un impact direct sur les coûts de mise en œuvre et de maintenance du système. C'est une caractéristique importante du degré d'autonomie (A3) d'une solution de navigation par rapport à une infrastructure, en particulier celle de télécommunication. Par exemple, le déploiement d'un service basé sur la localisation nécessitant des transactions via GSM ou GPRS est entièrement dépendant de la politique tarifaire de l'opérateur de téléphonie mobile.
- la **protection de la sphère privée** : le recours à des moyens de tracking ou de traçabilité de véhicules, don indirectement de personnes (chauffeur, passagers,...) doit respecter les principes de protection de la sphère privée. Cet élément doit être intégré le plus tôt dans la définition d'un système de navigation et de tracking de façon à bien évaluer les effets et impacts sur l'organisation des processus métiers ou services.
- la notion de **garantie de service** est certainement l'élément fondamental dans l'expression de besoins ou plutôt dans la définition de la part de risque que l'entreprise (société de service, administration, opérateur d'autoroute,...) est prête à assumer en cas de dysfonctionnement ou d'indisponibilité du système. Cette étape doit être conduite avec précaution et appuyée d'une analyse coûts et risques (légaux ou commerciaux).

7.1.1 Services de la télématique des transports

Ce projet ne peut pas donner des conseils détaillés pour chaque service de la TTR, par contre il est judicieux de choisir quelques applications concrètes par rapport à la typologie des services et de donner quelques recommandations.

Type Implication	Application	Caractéristique	Performance	Fonctionnalité
Sécurité	Assistance à la conduite, évitement de collision	- le type de localisation est essentiel car il met en jeu à la fois la position du véhicule par rapport aux autres et par rapport à l'infrastructure - : -	- l'intégrité est le facteur déterminant dans une application sécuritaire - la précision a un caractère relatif	- la notion de traçabilité doit être considérée dans ce type d'application, notamment en cas d'accident, lorsqu'il s'agit de reconstituer l'historique.
Légale	Péage routier ou (transport de matières dangereuses)	- le type de localisation est d'abord à considérer de manière absolue (trajectoire d'un véhicule sur le réseau routier), puis de manière relative par rapport aux éléments de péage (ponctuel, cordon, zone). -	- l'intégrité est le facteur déterminant. Le risque d'intégrité doit être évalué afin de déterminer la part d'erreur admissible pour les deux parties (les usagers, l'autorité/opérateur qui prélève la taxe).	- le recours à des données cartographiques est fondamental pour le calcul de la taxe par rapport au trajet suivi. - la notion de traçabilité doit être prise en compte afin de conserver un historique des mesures, y compris leur qualité, ayant servi au calcul de la taxe.
Commerciale	Gestion de flotte de véhicules	- le type de localisation est surtout relatif aux éléments du réseau routier ainsi qu'aux lieux d'acheminement. -	- la disponibilité est un des facteurs déterminant pour un service à but commercial et qui couvre une grande portion du territoire.	- Le suivi en temps réel est le facteur déterminant pour une gestion de flotte de véhicules répartis sur un grand territoire. - L'association à un contenu cartographique joue également un rôle prépondérant pour le calcul de routes optimales.
Sans	Information sur les déplacements	-	-	-

Tableau 13 : Exemples d'expression des besoins pour la TTR

7.1.2 Applications du SIR

Le domaine du SIR avec les processus métiers de l'entretien et de l'exploitation est également approché par un choix d'applications avec différentes implications. Le type lié à la sécurité est écarté de ce domaine, car dans la plupart des applications ce risque n'est pas présent. Toutefois, il faut considérer que dans des applications futures, l'exploitation et la gestion des routes *in situ*, utilisent les moyens de localisation et de communication pour annoncer la présence d'intervenants au bord d'une route ou sur un chantier. Le développement des systèmes coopératifs entre les véhicules et l'infrastructure intégrera probablement ces éléments de gestion « en temps réel » de l'entretien. Dans ce cas, la dimension sécuritaire prend toute son importance.

Type Implication	Application	Caractéristique	Performance	Fonctionnalité
Sécurité	Futures applications de gestion de l'entretien dans combinées avec les systèmes coopératifs de la TTR	- le type de localisation se fait en mode combiné relatif/absolu : les véhicules p.r. aux personnes intervenants sur la route et ces dernières p.r. à l'environnement de l'infrastructure. - : -	- l'intégrité est un facteur essentiel car il doit avertir à temps les conducteurs de la présence d'intervenants au bord d'une route -	- la notion de sécurité des intervenants aux abords des routes pourra être améliorée avec les futurs systèmes coopératifs combinant communication et localisation..
Légale	Relevé d'accidents	- le type de localisation se fait avant tout en mode relatif, p.r. aux autres véhicules et p.r. à l'infrastructure. La localisation en coordonnées linéaires est également essentielle pour positionner l'accident sur le réseau routier. -	- la précision est le facteur fondamental afin que les éléments de l'accident soient localisés correctement les uns par rapport aux autres.	-
Commerciale	Gestion de l'entretien courant : comptabilité (mètres) à l'aide d'outils de localisation	- le type de localisation se fait en coordonnées linéaires afin de localiser les opérations d'entretien sur le réseau routier -	-l'intégrité est un facteur important afin que la confiance dans l'information de position soit maximum car elle sert au calcul de mètres en vue d'une facturation	- Le suivi en temps réel peut intéresser le gestionnaire qui doit suivre et orienter ses équipes sur le terrain. - La notion de traçabilité est importante car elle permet une vérification minutieuse des opérations de terrain et éventuellement un calcul de rendement.
Sans	SIR mobile	- le type de localisation est multiple. Il faut pouvoir combiner aisément des coordonnées absolues (GPS) et des coordonnées linéaires.	- La précision est un facteur déterminant, en particulier pour les opérations de saisies d'objets ou d'évènement <i>in situ</i> .	-

Tableau 14 : Exemples d'expression des besoins pour le SIR

7.2 Aide au choix d'une solution de navigation

Cette partie a pour but d'aider les utilisateurs dans leurs choix d'une solution de localisation ou de navigation adaptée à leurs besoins. Cette aide se base sur une série d'options possibles portant sur l'architecture, les performances et les fonctionnalités. Elle ne donne pas de conseil sur des produits du marché, mais elle doit permettre à l'utilisateur de situer sa demande par rapport à des grandes catégories de solutions.

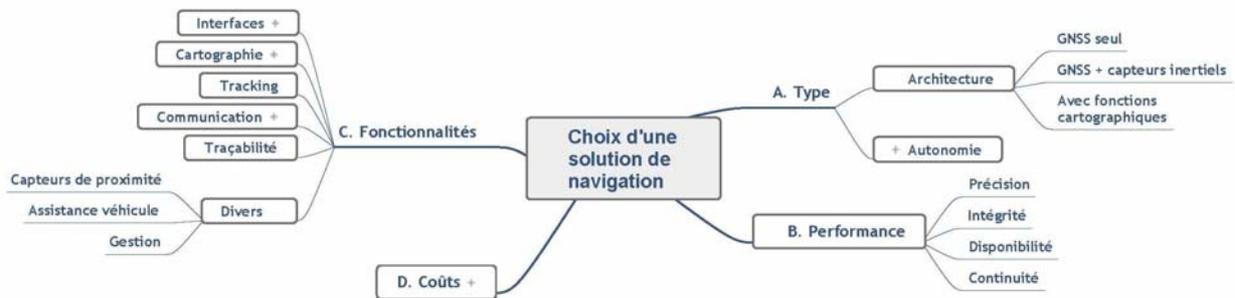


Figure 21 : Spécification des éléments pour le choix d'une solution de navigation

No	Élément de choix	Options possibles
	A : Type	
A1	Architecture	<ul style="list-style-type: none"> - GNSS seul : le système est basé sur un récepteur de type GPS standard dont les spécifications correspondent au service de base de GPS (SPS). - GNSS de type WAAS/EGNOS : le système est basé sur un récepteur GNSS compatible WAAS ou EGNOS pouvant recevoir et interpréter les messages de corrections différentielles et d'intégrité. - GNSS combiné : le système est équipé d'un multi-récepteur capable de recevoir les signaux de plusieurs systèmes de navigation par satellites (GPS, Glonass, Galileo,...) <i>Note</i> : a ce jour, ce type de récepteur est relativement cher et est réservé aux applications précises de navigation. <i>En général ce sont des récepteurs bi-fréquence.</i> - GNSS avec capteurs inertiels : cette combinaison d'un récepteur GNSS avec des capteurs inertiels permet d'améliorer la disponibilité du signal de navigation dans les endroits où la réception des signaux satellitaires n'est pas assurée. On distingue différentes catégories de capteurs inertiels : <ul style="list-style-type: none"> - Bas de gamme : capteurs miniaturisés de type MEMS, utilisés dans l'industrie automobile. - Milieu de gamme : ex. gyroscopes à fibre optique (FOG) - GNSS (et) capteurs inertiels et fonctions cartographiques : le système est couplé avec une base de données cartographique qui aide à l'estimation de la position. En principe, les données cartographiques sont celles utilisées pour la navigation automobile.
A2	Autonomie <i>Remarque : la notion d'autonomie</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Totale : le système embarqué dans le véhicule fonctionne en toute autonomie sans dépendre d'une infrastructure ou d'un service de positionnement externe. A l'exception de GPS qui

	est d'autant plus complexe lorsque les architectures de systèmes englobent des services à valeur ajoutée, de la cartographie et des moyens de communication.	<p>est une infrastructure mise à disposition de la communauté civile à une très large échelle (on peut le considérer comme un service public).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Partielle : le système embarqué dans le véhicule fonctionne périodiquement en partenariat avec une infrastructure, avec d'autres véhicules ou par l'intermédiaire d'un service externe. - Sans : le système est complètement dépendant d'une infrastructure externe qui, en général, détermine et contrôle la position des véhicules à distance.
A3	Vulnérabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Totalement protégé : le système est conçu pour résister complètement aux interférences et aux attaques malveillantes pouvant dégrader, fausser ou rendre inopérant le système de navigation. - Partiellement protégé : le système est conçu pour ne résister que partiellement aux attaques extérieures et interférences. - Sans protection : le système n'a pas de protection particulière et est vulnérable.
	B. Performance	-
B1	Précision	<ul style="list-style-type: none"> - Très basse (30 m). <i>Permet de se situer dans une région/quartier</i> - Basse (10 m) : correspond à la caractéristique nominale du positionnement GPS libre de tous effets systématiques et dans de bonnes conditions de réception. C'est également la gamme de précision des cartes de navigation automobile en zones rurales. <i>Permet de se situer sur les routes principales.</i> - Moyenne (2 m) : correspond à la caractéristique nominale du positionnement WAAS/EGNOS libre de tous effets systématiques et dans de bonnes conditions de réception. C'est également la gamme de précision des cartes de navigation automobile en zones urbaines <i>Permet de se situer sur toutes les routes</i> - Haute (0.5 m) : correspond à la précision fournie par un service de corrections (locales) différentielles de code GPS avec des récepteurs de gamme supérieur (high end). Par exemple, le service swipos-NAV de l'office fédéral de topographie⁵. <i>Permet de se situer sur une voie de circulation.</i> - Très haute (0.2 m) : correspond à la précision fournie par un service de corrections (locales) différentielles de code et phase GPS avec des récepteurs de gamme supérieur (high end). Par exemple, le service swipos-GIS/GEO de l'office fédéral de topographie. <i>Permet de se situer à l'intérieur d'une voie de circulation</i>
B2	Disponibilité	<ul style="list-style-type: none"> - Avec une garantie de disponibilité du signal de navigation suivant le type d'environnement. La garantie est fixée avec un seuil de probabilité. - Avec une garantie restreinte de disponibilité du signal de

⁵ <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/fr/home/products/services/swipos.html>

		<p>navigation suivant le type d'environnement. (Par ex. : le système n'est pas disponible dans les tunnels).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sans garantie particulière de disponibilité
B3	Continuité	<ul style="list-style-type: none"> - Avec une garantie de continuité du signal de navigation pendant un certain laps de temps lié à une opération. - Sans garantie de continuité.
B4	Intégrité	<ul style="list-style-type: none"> - Avec garantie de l'intégrité : le système propose un message d'intégrité qui avertit l'utilisateur à temps si la solution de navigation ne répond pas aux spécifications de l'application. - Sans garantie de l'intégrité : le système ne fournit pas de message d'intégrité. - .
	C. Fonctionnalités	-
C1	Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> - NMEA : protocole de transmission des éléments de localisation (position, vitesse, ...) implémenté sur la plupart des instruments et logiciels de navigation. Ce standard est développé par la « National Marine Electronics Association » et c'est le projet 0183 qui concerne le GNSS. - CANBus (Controller Area Network): c'est un bus de communication standard pour les véhicules qui permet aux équipement et périphériques d'échanger des données. - Sans interfaces particulières
C2	Cartographie	<ul style="list-style-type: none"> - Données de navigation : le système est équipé avec des cartes standards de navigation, en général codées dans un format propriétaire (Tele Atlas, NavTeq). - Données métiers : suivant le type d'application, les données de navigation sont directement associées à des données spécifiques (données de base du système d'information de la route ou de gestion du trafic, données détaillées des réseaux de transports routiers,...) - Autres
C3	Suivi en temps réel (tracking)	<ul style="list-style-type: none"> - Dans le cas d'un système centralisé de gestion, il existe des moyens d'interroger un véhicule ou une flotte et de reporter la/les position(s) instantanée(s) sur un support cartographique - Notion de protection de la sphère privée de la personne
C4	Communication	<ul style="list-style-type: none"> - Canal de communication entre les unités mobiles et une centrale de gestion - Canal de communication véhicule à véhicule (V2V) - Canal de communication véhicule à infrastructure (V2I), (par ex. entre un bus et un feu de signalisation, entre un véhicule et un portail de péage,...) - Sans moyens de communication <p><i>Note</i> : L'ISO-TC 204 a initié, par son groupe de travail 16, la rédaction de standards pour des protocoles de communication sans fils basés sur différents mode de transmission (GSM, WiMAX, Bluetooth,...) appliqués à la télématique des transports routiers.</p>

C5	Traçabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Le système de localisation garde en mémoire les positions mesurées en fonction du temps de manière à pouvoir gérer l'historique des trajets parcourus - Le système de localisation ne garde pas en mémoire les positions.
C6	Interface utilisateur	<ul style="list-style-type: none"> - L'interface utilisateur est adaptée aux applications de transports et respecte les principes de sécurité pour le conducteur. - L'interface utilisateur n'est que moyennement adaptée aux applications de transports et peut être source de risque pour le conducteur.
	D. Coûts	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Note</i> : l'évaluation des coûts d'une solution de navigation n'est pas évidente car elle dépend beaucoup de l'application, donc d'autres composants de télécommunication et de parties logicielles. Toutefois, il faudrait distinguer les coûts des équipements pour : <ul style="list-style-type: none"> - L'automobile - Les véhicules professionnels : transports, sécurité, transports publics - La centrale de gestion
D1	Coûts	<ul style="list-style-type: none"> - Bas de gamme (> 1KCHF/unité) : cas des systèmes de navigation standards pour l'automobile, composés d'un récepteur GPS, de la carte de navigation et de son logiciel. La démocratisation de ces appareils a eu un impact sur les prix qui ont baissé fortement ces dernières années et le système de navigation est monté en série par les constructeurs automobiles. Ce montage permet notamment de récupérer les signaux odométriques du compteur de vitesse afin de mieux estimer le parcours lors de pertes de signaux GPS. Exemple : appareils de type Garmin, TomTom - Milieu de gamme (~ 5KCHF/unité) : cas des systèmes à usage professionnel, notamment ceux utilisés pour la gestion de flottes de véhicules qui incluent des fonctionnalités de communication. Exemple : solutions du type http://www.masternaut.fr/ - Haut de gamme (< 10 KCHF/unité) : cas des systèmes à usage spécialisé qui combinent systèmes GNSS et capteur inertiels garantissant un niveau de performance. Exemple : solutions intégrées GPS/INS de type http://www.novatel.com/products/span.htm

Tableau 15 : Principaux éléments et options pour le choix d'une solution de navigation

7.3 Recommandations pour la normalisation (VSS)

Les domaines de la navigation et de la localisation sont l'objet de nombreux travaux de normalisation dans les différents secteurs des transports et à différents niveaux (concepts, systèmes, services). Par rapport à la structure des normes suisses et internationales de la route et du trafic, il s'agit de spécifier les besoins et la place de ces domaines parmi les normes spécifiques de la TTR et du SIR, respectivement pour la VSS par rapport aux travaux des commissions FK9 et FK7.

Type de norme	Contenu	Usage
Service	- Définition des exigences de performances et modes opératoires	- Validation de service par une autorité de surveillance - Benchmark de systèmes et solutions -
Systèmes	- Définition de systèmes techniques : architecture, processus, - Interfaces d'échange de données - Définition de performance -	- Validation de systèmes - Homologation d'appareils
Bases et concepts	- Définitions de base, principes - Modèles conceptuels et sémantiques - Modèles mathématiques et physiques - ..	- Harmonisation de la terminologie - Modèles génériques utiles au développement de systèmes et d'applications - Bases pour l'interopérabilité des systèmes - ..

Tableau 16 : Types de normes, contenu et usage

Selon le Tableau 16, la place de la normalisation de la navigation et de la localisation dans les transports routiers, se situe d'une part aux niveaux des concepts de base et d'autre part au niveau des services et en particuliers ceux décrit pour la télématique des transports routiers [7]. En principe, la notion de systèmes (navigation/localisation) n'entre pas dans les objectifs de normalisation de la VSS et est plutôt sous la responsabilité de l'industrie (automobile, télécom,...).

Parmi les bases et concepts, ce sont surtout, les normes concernant le repérage spatial et la qualité des données qui entrent en ligne de compte et dont certaines définitions et principes peuvent être repris dans une thématique liée à la localisation.

Dans cette optique, on propose de dresser l'inventaire des normes suisses et internationales en matière de repérage spatial et de localisation appliquées au domaine routier. Ensuite, il s'agit d'orienter les experts de la VSS sur l'impact des technologies de la navigation sur les travaux de normalisation qui touchent les questions de repérage spatial que l'on trouve dans la gestion du trafic et des transports (SN 671 940 et suivantes) et dans le système d'information de la route (SN 640 910 et suivantes).

7.3.1 Contexte des normes sur le repérage

Normes ISO et européennes

La question du repérage spatial est principalement traitée dans les groupes de travail ISO/TC 211 pour le domaine de l'information géographique et par ceux de ISO/TC 204 pour le domaine de la télématique des transports routiers [7].

Dans ISO/TC211, on trouve les publications principales suivantes :

- ISO 19111: **Spatial referencing by coordinates**. Cette norme définit le modèle conceptuel pour le repérage spatial par des coordonnées avec une extension pour le repérage temporel. Elle décrit les données minimum pour les systèmes de coordonnées à une, deux et trois dimensions. Elle décrit également quelles sont les informations nécessaires pour le changement de système de coordonnées.

- ISO 19112: **Spatial referencing by geographic identifiers**. Cette norme définit le modèle conceptuel pour le repérage spatial basé sur des identifiants géographiques.
- ISO 19115: **Metadata**. Cette norme décrit le modèle de métadonnées pour l'information géographique et les services. Elle fournit les informations sur l'identification, les extensions, la qualité, le modèle spatial et temporel ainsi que pour la distribution d'informations géographiques.
- ISO 19116: **Positioning Services**. Cette norme spécifie la structure de données et le contenu d'une interface qui permet la communication de positions entre des technologies de positionnement et des applications des systèmes d'information géographique (mesuration, navigation, ITS).
- ISO 19132: Location based services – **Reference model**. Cette norme définit un modèle de référence et un cadre conceptuel pour les services géodépendants (location-based services (LBS)) en décrivant leurs principes.
- ISO 19133: Location based services – **Tracking and navigation**. Cette norme décrit les types de données, les opérations associées à ces types pour l'implémentation de services de navigation et de tracking. (par ex. services web disponibles pour des terminaux mobiles).
- ISO 19134: Location based services – **Multimodal routing and navigation**. Cette norme décrit les types de données et les opérations associées pour l'implémentation de services multi-modaux de type LBS pour le routing et la navigation.
- ISO 19148: **Geographic information/Geomatics** – Linear referencing system. Status: en préparation (draft 2009).

Dans ISO/TC 204, on trouve les publications principales suivantes :

- ISO 17572-1 : ITS – **Location referencing for geographic databases**, part 1: General requirements and conceptual model (exigences générales et modèle conceptuel). Cette norme définit les méthodes de repérage qui décrivent le positionnement dans les bases de données géographiques. Cette norme est utilisée pour positionnement de phénomènes relatifs aux transports.
-
- ISO 17572-2 : ITS – **Location referencing for geographic databases**, part 2: Pre-coded location references (références d'emplacements précodées). Cette norme définit les méthodes de positionnement pré-codifiées utilisées dans les formats VICS, TPEG et ALERT-C.
- ISO 17572-3 : ITS – **Location referencing for geographic databases**, part 3: Dynamic location references (références d'emplacements dynamiques). Cette norme définit les méthodes de positionnement dynamiques comprenant les attributs, les règles d'encodage et les modèles de données logiques.
- ISO/NP TS 12813: Road transport and traffic telematics -- Electronic fee collection -- **Compliance checking of GNSS/CN systems over DSRC**. Nouveau projet approuvé
- ISO 14825: ITS – **Geographic Data Files (GDF)** – Overall data specification – Cette norme définit les modèles conceptuels et logiques pour les bases de données géographiques dans les applications ITS. Elle contient les spécifications des contenus potentiels d'une telle base de données et comment ces contenus peuvent être représentés et quelles en sont les métadonnées importantes.
- ISO TS 17575-1: Road Transport and Traffic Telematics (RTTT) -- Electronic Fee Collection (EFC) -- Application Interface Definition for Global Navigation Satellite Systems and Cellular Networks (GNSS/CN) -- Part 1: Charging
- ISO TS 17575-2: Road Transport and Traffic Telematics (RTTT) -- Electronic Fee Collection (EFC) -- Application Interface Definition for Global Navigation Satellite Systems and Cellular Networks (GNSS/CN) -- Part 2: Communication and connections to the lower layers
- ISO TS 17575-3: Road Transport and Traffic Telematics (RTTT) -- Electronic Fee Collection (EFC) -- Application Interface Definition for Global Navigation Satellite Systems and Cellular Networks (GNSS/CN) -- Part 3: Provisions for updating on-board equipment (OBE)

- ISO 21707: Intelligent transport systems -- Integrated transport information, management and control -- **Data quality in ITS systems**. Cette norme spécifie la terminologie standard pour définir la qualité des données qui sont échangées entre les fournisseurs et les utilisateurs du domaine ITS. Cette norme définit un jeu de paramètres ou des métadonnées comme la précision, l'exactitude,... Ceci est appliqué à la mesure de la disponibilité et de la fiabilité de services de données.

On constate que les normes internationales traitent en détail la question du repérage spatial du point de vue de la modélisation, de la codification et de l'échange des données. La gestion de la qualité des données est également traitée dans certaines normes avec des éléments spécifiques au repérage spatial. On explique comment documenter le repérage spatial par des métadonnées, sans toutefois spécifier des classes de précisions liées à des applications ou des services.

Les méthodes de localisation d'objets routiers ou d'évènements ne sont pas traitées pour l'instant dans la perspective de leur intégration dans les services de la gestion du trafic et des transports.

Normes Suisses

La question du repérage spatial du domaine routier est traitée principalement par la commission VSS FK7 sous le thème du système d'information de la route.

- SN 640 910-5 Système d'information de la route; métadonnées du repérage spatial
- SN 640 911 Système d'information de la route: repérage linéaire; norme de base
- SN 640 912 Système d'information de la route: repérage linéaire; système de repérage spatial de base SRB
- SN 640 913 Système d'information de la route: repérage linéaire; géométries d'axes
- SN 640 914 Système d'information de la route: repérage linéaire; réseaux et leur topologie

La commission VSS FK9 contribue également à la question du repérage spatial avec la norme de base suivante :

- SN 671 941 Télématique des transports routiers. Repérage des données des transports et des informations sur la circulation

L'ensemble de ces normes définit et décrit les composantes des systèmes de repérage spatial et topologique appliqués au domaine routier. La question de la gestion de la qualité des données est traitée dans la norme SN 640 910-5 qui définit différentes classes de précision pour le repérage des objets routiers.

En dehors du domaine routier, il faut également considérer les normes suisses de la géoinformation. On peut citer les normes principales traitant de la localisation et du repérage spatial.

- SN 612010: Vermessung – Informatiksicherheit – **Sicherheit und Schutz von Geodaten** (Juli 2000)
- SN 612020: Vermessung und Geoinformation; **Datenreferenzmodell GEOBAU** (Januar 1994)
- SN 612030: Vermessung und Geoinformation; **INTERLIS** Modellierungssprache und Datentransfermethode (November 1998)
- SN 612031: Vermessung und Geoinformation - **INTERLIS 2** Modellierungssprache und Datentransfermethode; **INTERLIS 2** Referenzhandbuch (Mai 2006)
- Norm SN 612040: Vermessung und Geoinformation - **Gebäudeadressen** - Struktur, Georeferenzierung, Darstellung und Datentransfer (Juni 2004)
- Directive – Utilisation de GNSS pour la détermination de points de détail en mensuration officielle-
KKVA/CSCC, (Juin 2009)

7.3.2 Place de la localisation et de la navigation dans les normes

Normes de base et concept

Le rôle premier des normes consacrées au repérage spatial du domaine routier est de poser les bases des systèmes de repérage, de proposer des modèles et des concepts de transformations de coordonnées entre systèmes de repérage et de gérer la qualité des données du repérage spatial. En principe les fondamentaux sont couverts ou vont être complétés dans les travaux planifiés de normalisation des commissions FK9 et FK7. Toutefois, les notions de localisation dynamique ne sont pour l'instant pas abordées.

Propositions

- Intégrer le concept de localisation dynamique ou en temps réel dans les travaux de la commission FK9. Les notions d'intégrité, disponibilité et continuité du positionnement devraient faire l'objet de définitions dans le contexte de la TTR.
- La gestion de la qualité de ces paramètres de base est également essentielle dans les processus de transformation entre systèmes de repérage. Elle devrait faire partie intégrante des réflexions sur les normes consacrées aux transformations et à l'échange de données (c.f. programme de normes de la EK 9.03).
- La question des interfaces de et vers les systèmes de navigation et de localisation n'a pas été spécifiquement abordée dans cette étude, mais une réflexion en termes de choix de format d'échange de données indépendant des constructeurs devrait être conduite.

Normes ou directives pour les services TTR

L'approche qui consiste à considérer la notion de service (télématique) indépendamment d'un système ou d'une réalisation est essentielle. Il faut considérer la partie « localisation et navigation » comme faisant partie intégrante d'un service avec comme principale fonction de fournir des paramètres quantitatifs au niveau du service.

Exemple.

*A titre d'exemple, on peut prendre le péage routier basé sur un système de localisation GNSS [17]. Les différents modes de calcul d'une taxe d'utilisation des infrastructures routières sont répartis dans plusieurs catégories en fonction de critères spatiaux (ponctuel, voie de circulation, cordon, zone) et temporels. Pour calculer les taxes, les systèmes mesurent, pour les véhicules soumis à la taxe, des positions successives et/ou des distances parcourues et/ou une période de temps. Finalement ces éléments quantitatifs sont traduits en coûts pour l'usage d'une infrastructure donnée pour une période (jour, semaine, mois). Dans [16], les auteurs proposent un changement de paradigme en ramenant la question de l'intégrité et de la disponibilité au niveau du service de prélèvement de la taxe. Ils considèrent cette application comme étant critique du point de vue de la responsabilité, dans le sens que l'autorité qui prélève la taxe doit pouvoir justifier de l'exactitude du prélèvement et doit éviter que les utilisateurs soient surtaxés. **Ainsi les concepts d'intégrité, de disponibilité et de précision sont placés au niveau de la valeur de la taxe et non des métriques de positionnement ou de distance parcourue.***

Propositions

- Identifier les services TTR dans lesquelles la localisation joue un rôle prépondérant dans la détermination de valeurs dérivées (ex. taxe), dans la gestion d'informations et dans la prise de décisions. Réfléchir sur les modèles de qualité et caractéristiques des données au niveau du service TTR. Intégrer ces réflexions dans les futurs travaux de normalisation.
- Proposer des directives (ou normes) pour la définition d'exigences de performance des services TTR et pour l'établissement de modes opératoires afin de valider lesdites performances.

8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet SATELROU a été initié à un moment où l'Europe a démarré le projet Galileo avec beaucoup de promesses et des perspectives réjouissantes dans de nombreux domaines d'application liés notamment aux différents secteurs des transports. Les nombreuses initiatives de recherches⁶ conduites parallèlement au développement de Galileo ont permis de mieux cerner les besoins des utilisateurs et les réelles possibilités offertes par la nouvelle génération de navigation par satellites. Le déploiement du système d'augmentation EGNOS a notamment permis la réalisation de nombreux tests dans des conditions réelles et aussi pour le secteur des transports terrestres. Globalement, les connaissances du potentiel technique des systèmes de navigation a connu une forte croissance depuis quelques années et permet, à ce jour, de mieux appréhender les questions de performances effectives face aux attentes de secteurs comme celui de la télématique des transports routiers.

Cette étude a donc respecté une méthodologie qui consiste à cerner correctement les besoins des utilisateurs en matière de navigation et de localisation en toute indépendance des performances affichées des systèmes et solutions de navigation. Cette démarche a révélé toute la complexité de définir et quantifier ces besoins au travers de paramètres comme la précision, l'intégrité, la disponibilité et la continuité. C'est une première étape vers des spécifications plus détaillées des exigences des services et applications de la TTR et du SIR.

Perspective 1 : Passer des besoins en localisation aux tests opérationnels

La notion d'intégrité est fondamentale dans les applications liées à la sécurité et ayant une implication légale ou commerciale. Il faudrait pour chaque domaine d'application approfondir l'approche des besoins pour une étude spécifique des exigences à placer dans des scénarios types. Afin de valider les méthodes préconisées, l'organisation de tests opérationnels sur le terrain est une étape essentielle à prévoir avant le déploiement de nouveaux services.

Le développement des systèmes de navigation pour l'automobile est avant tout l'œuvre des industriels qui ont investi dans le développement des systèmes embarqués et dans la création de base de données spécifiques aux réseaux routiers. Cet aspect visionnaire du développement de la cartographie routière avec notamment le standard GDF a permis une portabilité des applications de navigation sur l'informatique nomade et sur les téléphones mobiles. Récemment, nous avons assisté à un changement de paradigme avec le rachat des sociétés NAVTEQ par le fabricant de téléphones mobiles Nokia et Tele Atlas par le fournisseur de systèmes de navigation TomTom. Le marché de la navigation a connu ainsi une croissance majeure avec une ouverture vers des marchés plus globaux de service de mobilité proposés aux utilisateurs de la téléphonie mobile. Le GPS et le contenu cartographique font désormais partie intégrante des périphériques nomades.

Perspective 2 : vers une augmentation de la qualité des services télématiques induit par les marchés de masse

La démocratisation de la navigation personnelle stimule une concurrence entre les acteurs qui doivent sans cesse améliorer la qualité de leurs services (guidage, information trafic, points d'intérêts,...). Les applications professionnelles de la TTR bénéficieront de ces progrès que se soit dans l'enrichissement du contenu cartographique ou dans la qualité du positionnement (combinaison GPS/GSM/capteurs). Ce contexte sera certainement favorable à l'intégration de services professionnels à valeur ajoutée.

Dans ce contexte le ciel de la navigation par satellites va fortement évoluer dans un horizon de 5 à 10 ans et les futurs récepteurs GNSS intégreront plusieurs systèmes et plusieurs fréquences. A ce jour, il est difficile de prévoir quelle architecture de récepteurs sera massivement déployée dans les périphériques mobiles, mais les utilisateurs bénéficieront à terme des avantages de constellations et signaux multiples en termes de précision et de disponibilité.

⁶ <http://www.gsa.europa.eu/go/randd/fp6>

Perspective 3 : vers des récepteurs GNSS pour les applications exigeantes de la TTR

Le fait de combiner les signaux de deux constellations de satellites (par ex. GPS et Galileo) augmente la disponibilité dans des régions (ex. les villes) où la réception actuelle est difficile. De plus Galileo permettra de garantir certains services de base, ce qui permettra le déploiement de services à valeur ajoutée avec des exigences sécuritaires ou légales. Toutefois des compléments aux systèmes spatiaux resteront indispensables pour assurer une continuité de service dans des zones comme les tunnels, les parkings souterrains,...

Une évolution majeure des systèmes intelligents des transports (SIT) est due à l'avènement des systèmes coopératifs qui ouvre la voie des communications entre les véhicules, l'infrastructure, les opérateurs routiers et d'autres instances. L'Europe a récemment décidé d'harmoniser l'utilisation de la bande de fréquence de 5,9 GHz pour les besoins des applications sécuritaires du domaine routier. Elle a notamment inscrit l'intégration des véhicules dans l'infrastructure routière dans son plan d'action pour le déploiement de systèmes de transport intelligents en Europe⁷ [19]. De nombreuses initiatives sont conduites conjointement par l'industrie, les organismes de normalisation et les autorités publiques. On peut notamment citer « Communication for eSafety⁸ » traitant des questions d'architecture de télécommunications et « Easyway⁹ » qui est une initiative institutionnelle pour le déploiement de services de mobilité durable (interopérabilité des réseaux routiers principaux, gestion du trafic,...). Tous ces projets s'inscrivent dans un but sécuritaire et environnemental, avec le souci de déployer des systèmes et des services de haute qualité, fiables et protégés.

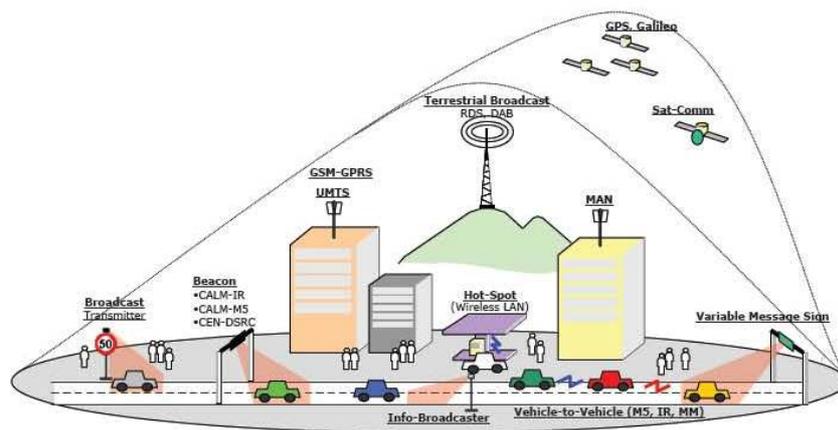


Figure 22 : Perspective d'implémentation des systèmes coopératifs, de [21]

Perspective 4 : le déploiement des systèmes coopératifs favorisera l'aspect sécuritaire de la localisation

Le challenge du développement des systèmes coopératifs réside d'une part dans la convergence des intérêts des différents acteurs (industrie, opérateurs routiers, autorités, usagers de la route) et les défis technologiques pour harmoniser et sécuriser les moyens de télécommunication. Comme la question de la localisation fait partie intégrante de ces réflexions et développements, elle devrait bénéficier d'un cadre (architecture) qui se soucie de questions fondamentales touchant la sécurité des données, la lutte contre la fraude et la protection de la sphère privée.

L'échec du partenariat public-privé de Galileo pour la création d'une infrastructure satellitaire reste dans les mémoires et doit servir d'exemple pour de futurs plans de financement impliquant l'industrie et les pouvoirs publics. Le rapport spécial, publié par la Cour des Comptes Européenne, sur la gestion de la phase de développement et de validation du programme Galileo [20], tire quelques enseignements de cette expérience et pose toute une série de recommandations dont les principales nous concernant sont :

⁷ http://ec.europa.eu/transport/its/road/action_plan_en.htm

⁸ <http://www.comesafety.org/>

⁹ <http://www.easyway-its.eu/1/>

- la clarification des objectifs du programme en objectifs stratégiques et opérationnels avec une feuille de route à l'appui
- le positionnement de Galileo comme système commercial avec une évaluation réaliste de ce qui est commercialisable
- l'analyse, la consolidation et la validation des exigences des utilisateurs

Comme on peut le constater, il reste passablement de questions ouvertes, mais en même temps c'est une occasion unique pour des domaines comme les transports routiers, et en particulier les SIT, d'exprimer des exigences en termes de navigation et positionnement de manière à intégrer dès aujourd'hui les systèmes satellitaires dans les futurs services de la TTR.

9. RÉFÉRENCES

9.1 Contributions au projet

Cette étude a été réalisée par le centre de recherche du laboratoire de topométrie (TOPO) de l'EPFL accompagné des sociétés d'ingénieurs PTV Swiss à Bern, INSER SA au Mont-sur-Lausanne et Rosenthaler & Partner AG à Muttenz. Ces bureaux ont principalement participé à l'identification des services et à la définition des besoins en localisation pour le domaine routier. Les personnes suivantes ont contribué au projet :

- Mme V. Chazal et M. P.-Y. Gilliéron du Laboratoire de Topométrie de l'EPFL
- M. J.-L. Miserez du bureau INSER SA
- M. Ch. Rosenthaler et M. C. Marschal, du bureau d'ingénieurs Rosenthaler + Partner AG
- M. F. Mühlethaler, de la société PTV Swiss.
- M. G. Petersen, Office fédéral des routes

Cette étude a été suivie par la commission d'accompagnement constituée des membres de la EK 9.03 et de la EK 7.03 qui ont apporté leur compétences métiers.

9.2 Bibliographie

- [1] *CH-RNP. Schweizerischer Radionavigationsplan : heutiger und zukünftiger Einsatz von Positionierungs- und Navigationsverfahren im Verkehrswesen und anderen Anwendungsbereichen. Bundesamt für Zivilluftfahrt; in Zusammenarbeit mit: Swisscontrol, 2000*
- [2] *Department of Defense (DoD), USA. Global Positioning System, Standard Positioning Service, Performance Standard, 2001*
- [3] *European Commission, ESA. GALILEO High Level Definition, 2002*
- [4] *Norme suisse, SN 640 910-5, Système d'information de la route: Métadonnées du repérage spatial*
- [5] *RTCA. Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning Systems, Wide Area Augmentation System Airborne Equipment, DO-229C, 2001*
- [6] *Ordonnance technique du DDPS du 10 juin 1994 sur la mensuration officielle (OTEMO), RS 211.432.21
http://www.admin.ch/ch/f/rs/c211_432_21.html*
- [7] *SN 671 831, Télématique des transports routiers, norme de base, VSS 1999*
- [8] *SN 640 911, Système d'information de la route : repérage linéaire ; norme de base, VSS 2006*
- [9] *SN 640 912, Système d'information de la route : repérage linéaire ; système de repérage spatial de bae SRB, VSS 2005*
- [10] *SN 640 912-1, Système d'information de la route : repérage linéaire ; système de repérage spatial de bae SRB : assurance et matérialisation, VSS 2005*
- [11] *SN 640 913, Système d'information de la route : repérage linéaire ; géométries d'axes, VSS 2006*
- [12] *SN 640 910-5, Système d'information de la route : métadonnées du repérage spatial, VSS 2007*
- [13] *SN 640 914, Système d'information de la route : repérage linéaire ; réseaux et leur topologie, VSS 2006*
- [14] *Department of Defense (DoD), USA, Global Positioning System, Standard Positioning Service, Performance Standard, 2001*

- [15] Gilliéron P.-Y., Konnen J., *Enhanced navigation system for road telematics*, Swiss Transport Research Conference, Ascona, 2003
- [16] Grush B, Khalsa P, *A new Paradigm for Using GNSS for Road Tolling*, ION International Technical Meeting, January, Anaheim, CA, 26-28, 2009
- [17] Gilliéron P.-Y., Waegli A., *Galileo et le prix de la mobilité*, Journal Route et Trafic, mars 2005
- [18] Europe Road Union Federation 2240_P, *GIROADS, GNSS Introduction in the Road Sector, Road application development – Executive Summary*, April 2006
- [19] Commission des Communautés Européennes, *Plan d'action pour le déploiement de systèmes de transport intelligents en Europe*, December 2008
- [20] Cours des Comptes Européenne, *Gestion de la phase de développement et de validation du programme Galileo*, rapport spécial No 7/2009, <http://eca.europa.eu/portal/pls/portal/docs/1/2690296.PDF>
- [21] IST, *Specific support action, COMeSafety, 2008, D31 European ITS – Communication architecture, overall framework, proof of concept implementation*

9.3 Références Internet et divers

GPS

- <http://pnt.gov/>
- <http://www.navcen.uscg.gov/>
- <http://www.gps.gov/>
- <http://www.losangeles.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=5325>

GALILEO

- MRD - Galileo Mission requirements document, ESA, 2003
- Galileo System Design and Technology, ESA, 2000
- http://www.esa.int/esaNA/SEMM9GRMD6E_galileo_0.html
- http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_fr.htm
- http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/gal_com_2000_750_fr.pdf

GLONASS

- Glonass Status, ENC-GNSS 2006, S. Averin
- Site officiel : <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:1:5985715311394524730>
- <http://www.generation-nt.com/glonass-russie-gps-navigation-satellites-actualite-23645.html>
- <http://fr.rian.ru/>

QZSS

- http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/index_e.html
- http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/index_e.html
- http://qzss.jaxa.jp/is-qzss/IS-QZSS_01_E.pdf

COMPASS – BEIDOU

- <http://www.astronautix.com/craft/beidou.htm>

- <http://www.sinodefence.com/strategic/spacecraft/beidou1.asp>
- <http://www.sinodefence.com/strategic/spacecraft/beidou2.asp>

GNSS

- Galileo Status Time Nav'07, Dr. Hermann Ebner, European GNSS Supervisory Authority, 29 May 2007 – Geneve Switzerland
- <http://www.gsa.europa.eu/>

PRINCIPE D'AUGMENTATION

- Livre : Navigation, Principles of positioning and Guidance, chap. 10, Springer, 2003
- SBAS, Integrity Concept, Eurocontrol, Ober, 2001

EGNOS

- EGNOS performances analysis on observed data using Gaussian Mixture Model, Matthieu Delas, Rafael Lucas-Rodriguez, European Space Agency, Navigation departement
- http://www.egnos-pro.esa.int/IMAGEtech/imagetech_realtime.html
- <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>
- <http://www.egnos-pro.esa.int/newsletter.html>
- <http://www.gsa.europa.eu/go/egnos/what-is-egnos>

LORAN-C ET eLORAN

- Loran's capability to mitigate the Impact of GPS outage on GPS position, Navigation and Time applications, US FAA, March 2004
- Loran Status, ENC-GNSS 06, Narins, 2006
- eLoran Accelerating, Prof. Dr Durk van Willigen, European Journal of Navigation, volume 5, number 2, may 2007
- EJN interviews Dr Sally Basker, European Radio Navigation Plan: Dead or Alive?, Prof. Dr Durk van Willigen, European Journal of Navigation, volume 5, number 2, may 2007
- The Case for eLORAN, Research and Radionavigation, General Lighthouse Authorities of the United Kingdom and Ireland, 8th May 2006
- Enhanced Loran (eLoran) Definition Document, 12.01.2007, International Loran Association
- GLA Radio Navigation Plan, General Lighthouse Authorities, The United Kingdom and Republic of Ireland, Delivering 2020 The Vision, February 2007.
- <http://www.loran.org/>
- <http://www.helios-tech.co.uk/ERNP/documents.htm>

RÉSEAUX GSM/GPRS DE LA TÉLÉPHONIE MOBILE

- SIG Mobiles et télégestion d'une base de données, V. Chazal, S. Durler, P.Y. Gilliéron, EPFL TOPO et LASIG, janvier 2006
- Standardization of Mobile Phone Positioning for 3G Systems, Yilin Zhao, Motorola Inc., IEEE Communication Magazine, July 2002.
- (Cell-Id localisation technique, limits and benefits: an experimental study, Emiliano Trevisani, Andrea Vitaletti, 2004 IEEE)
- Livre : Navigation, Principles of positioning and Guidance, divers chap., Springer, 2003

RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATION WI-FI, UWB

- <http://www.skyhookwireless.com/howitworks/>
- Techniques de localisation intra muros à transmission Ultra Large Bande, V. Renaudin, B. Merminod, M. Kasser, revue XYZ, n°111 – 2^e trimestre 2007.
- Ultra Wide-Band (UWB) Indoor Positioning, Dave Harmer, Thales Research and Technology UK Ltd, ARTES 4 Project, ESTEC, December 2004
- Project no: 004154, EUROPCOM, Emergency Ultrawideband RadiO for Positioning and COMMunications, Summary of the System Architecture
- www.ubisense.net
- www.timedomain.com

10. GLOSSAIRE

ADAS : Advanced Driver Assistance Systems

Système d'assistance à la conduite : ensemble de systèmes technique pour l'aide et l'assistance lors de la conduite du véhicule. Exemple : ACC : adaptive cruise control, adaptateur intelligent de la vitesse du véhicule par rapport à la vitesse des autres véhicules.

A-GPS: Assisted GPS

Système d'assistance de GPS: ensemble de moyens et de fonctions de télécommunications qui permettent de diffuser des messages et données de GPS au terminal de l'utilisateur. Ce système d'aire permet un gain de performance dans la localisation GPS.

DGPS: Differential GPS

GPS différentiel: infrastructure et moyens de communications qui permettent de calculer et de diffuser des corrections sur les signaux GPS. CE type de service permet d'améliorer la précision de la localisation.

DR: Dead Reckoning, navigation à l'estime

Principe de navigation base sur le report du trajet parcouru à partir de mesures relatives de cap et de distance.

EDGE: Enhanced Data Rate for GSM Evolution

Norme pour la téléphonie mobile, évolution du GPRS.

EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay System

Système européen d'augmentation de GPS (principe voir WAAS).

FCD: Floating Car Data

Principe de mesures de paramètres de temps, vitesses et positions à partir de véhicules répartis dans une zone d'intérêt. Ce type de mesures peut s'avérer utile pour l'a mesure instantanée de l'état du trafic dans une région.

GPS: Global Positioning System

Système global de navigation par satellites, par défaut faisant référence au système militaire américain.

GDF: Geographic Data Files

Norme ISO 14825 contenant les définitions et un modèle de données pour les cartes géographiques de la navigation automobile.

GSM: Global System for Mobile Communications

Norme pour la téléphonie mobile.

GPRS: General Packet Radio Service

Norme pour la téléphonie mobile dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé.

INS: Inertial Navigation System

Système inertiel de navigation basé sur les mesures de grandeurs physiques (vitesses, accélérations) afin d'intégrer la trajectoire suivie par le mobile. C'est un complément idéal au GPS lorsque ce dernier est inopérant.

ITS: Intelligent Transportation System

Systèmes intelligents des transports (SIT). Ensemble de moyens informatiques et de télécommunications et de services permettant d'optimiser l'usage des infrastructures de transports et d'améliorer la sécurité des usagers.

LBS: Location Based Services

Services bases sur la localisation ou services géodépendants. Ce sont des applications de la téléphonie mobile qui s'appuient sur la position de l'utilisateur afin d'orienter le type de service.

LORAN: Long-Range Navigation

Système de radionavigation terrestre à basse fréquence développé pour la navigation maritime.

MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems

Microsystème électromécanique. C'est un microsystème comprenant un ou plusieurs éléments mécaniques, utilisant l'électricité comme source d'énergie, en vue de réaliser une fonction de capteur (accéléromètre, gyromètre) avec une structure présentant des dimensions micrométriques.

RFID: Radio Frequency IDentification

La radio-identification est une méthode pour mémoriser et récupérer des données à distance en utilisant des marqueurs appelés « radio-étiquettes ». Cette technologie trouve également un usage en localisation.

RNP: Radio Navigation Plan

Plan de radionavigation : document établi par un organisme d'Etat permettant de définir les enjeux et les spécifications de la radionavigation pour les différents domaines de transports.

OTDOA: Observed Time Difference of Arrival

Principe de localisation basé sur des antennes de télécommunication terrestres qui permet de s'affranchir de problèmes de synchronisation des antennes.

SIR: Système d'information de la route

Système informatique pour la gestion des données et des processus de la route. Ce système repose sur une architecture composée d'une base de données, d'applications métiers, d'interfaces utilisateur et de fonctions d'analyse et de représentation des données (ex. MISTRA).

SIT : Systèmes Intelligents de Transport ou ITS

Voir ITS

SRB : Système de repérage Spatial de Base

Système de coordonnées linéaires spécifique au domaine routier en Suisse. Il permet le repérage rapide des objets et événements le long d'un axe routier. Sa matérialisation est faite avec des carrés jaunes placés au centre de la route et répartis le long de l'axe. Chaque carré a un identifiant et correspond à un kilométrage.

TDOA : Time Difference of Arrival

TOA : Time of Arrival

Principe de localisation basé sur des antennes de télécommunication terrestres

TTR: Télématique des Transports Routiers

ULB : Ultra Large Bande (UWB)

Voir UWB

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

Norme de téléphonie mobile.

UTC: Coordinated Universal Time

Temps universel coordonné: une échelle de temps adoptée comme base du temps civil international par la majorité des pays du globe.

UWB: Ultra Wide Band

Technologie de transmission sans fil à ultra large bande basée sur la transmission d'impulsions de courtes durées.

WAAS: Wide Area Augmentation System

Système d'augmentation de GPS développé principalement pour les besoins de l'aviation civil afin d'améliorer la précision de GPS et de donner une information d'intégrité aux utilisateurs.

Wi-Fi: Wireless Fidelity

Technologie déposée de réseau informatique sans fil mise en place pour fonctionner en réseau interne.

---***---