



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

**Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit
Institut du développement territorial
Laboratoire de Topométrie-Géomatique**

GR-Ecublens
CH-1015 Lausanne

Projet AGRAM

**Etude de l'acquisition d'une géométrie de référence
des axes de maintenance**

Base pour la révision des normes VSS SN 640 910, SN 640 911 et SN 640 920,
et l'établissement de la norme sur la gestion des géométries d'axe



**Prof. Bertrand Merminod
Pierre-Yves Gilliéron
Rainer Oggier
Marc Gilgen**

Lausanne - avril 2003

Table des matières

RÉSUMÉ	4
ZUSAMMENFASSUNG	5
MOTS-CLÉS	6
1 INTRODUCTION	6
1.1 CONTEXTE DU PROJET	6
1.2 OBJECTIFS DU PROJET	7
1.3 RÉFÉRENCES.....	7
1.3.1 Site Internet	7
1.3.2 Liste des experts ayant participé au projet.....	7
1.4 TERMINOLOGIE.....	8
2 BESOINS DU SYSTÈME DE GESTION DE L'ENTRETIEN (SGE) EN RAPPORT AVEC LA GÉOMÉTRIE	9
2.1 IDENTIFICATION DES PROCESSUS TECHNIQUES LIÉS AU SYSTÈME D'INFORMATION	10
2.2 BESOINS LIÉS AUX PROCESSUS MÉTIER DE L'ENTRETIEN ROUTIER.....	11
2.2.1 Entretien courant.....	12
2.2.2 Télématique, trafic	17
2.2.3 Sécurité, accidents.....	18
2.2.4 Environnement, cadastre.....	18
2.2.5 Coordination SGE.....	18
2.2.6 PMS : Pavement Management System	18
2.2.7 BMS : Bridge Management System.....	19
2.2.8 EMS : Electromechanical Management System.....	19
2.2.9 Gestion des réseaux souterrains.....	19
2.2.10 Autres équipements	20
2.2.11 Installations annexes	20
2.2.12 Management multi-projet.....	20
2.3 BESOINS LIÉS À LA COEXISTENCE DU SRB ET DES GÉOMÉTRIES	21
2.3.1 Intégration de nouvelles technologies dans les processus de relevé des données routières	21
2.3.2 Possibilités d'améliorer la mesure de longueur des secteurs.....	22
2.3.3 Représentation cartographique des données routières à grande échelle.....	24
2.3.4 Levé des données routières sur un fond cartographique.....	24
2.3.5 Exploitation des données altimétriques (3e dimension).....	25
2.3.6 Mise à jour des géométries.....	25
2.4 CLASSIFICATION DES BESOINS DE PRÉCISION POUR LA GÉOMÉTRIE D'AXE	26
3 CONCEPTS DE MODÉLISATION DU SRB ET DES GÉOMÉTRIES	27
3.1 MODÉLISATION EXISTANTE DANS LES BASES DE DONNÉES ROUTIÈRES	27
3.1.1 Système de repérage spatial dans les bases de données routières	27
3.1.2 Modélisation de la géométrie d'axe dans la BDR	28
3.2 DÉFINITION DE GÉOMÉTRIES D'AXE	30
3.3 CRITÈRES DE QUALIFICATION DE LA GÉOMÉTRIE	32
3.4 MODÉLISATION DE LA GÉOMÉTRIE DE RÉFÉRENCE ET INFLUENCE SUR LA PRÉCISION	34
3.4.1 Modélisation de la géométrie de référence	34
3.5 CONCEPT DE TRANSFORMATION X,Y,Z EN U,V,W.....	36
3.5.1 Concept général	36
3.5.2 Influence de la modélisation sur la précision de la transformation.....	38
4 MÉTHODES D'ACQUISITION DE LA GÉOMÉTRIE	41
4.1 SOURCES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	41
4.2 TECHNOLOGIE D'ACQUISITION DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	42
4.3 CRITÈRES D'ÉVALUATION	43

4.4	EVALUATION DES MÉTHODES D'ACQUISITION	43
4.5	COMBINAISON DE MÉTHODES ET DE DONNÉES	44
5	EXPÉRIENCES D'ACQUISITION DE LA GÉOMÉTRIE.....	45
5.1	LEVÉ D'UN AXE ROUTIER PAR GPS DANS LE CANTON DU JURA	45
5.1.1	Description du système de levé.....	45
5.1.2	Principe de restitution de la géométrie de l'axe de maintenance.	45
5.1.3	Résultats	46
5.1.4	Conclusion.....	47
5.2	DIGITALISATION À PARTIR DE PLANS ET CARTES	47
5.3	ANALYSE DE PRÉCISION.....	48
5.4	CONCLUSION	49
6	CONCEPT POUR L'ACQUISITION DE LA GÉOMÉTRIE	51
7	MÉTHODOLOGIE RETENUE.....	53
7.1	CARACTÉRISTIQUES DE LA GÉOMÉTRIE	53
7.2	MÉTHODOLOGIE	53
8	CONCLUSIONS.....	56
8.1	RECOMMANDATION POUR LA NORMALISATION	56
8.2	RECOMMANDATION POUR L'ACQUISITION DE LA GÉOMÉTRIE DE RÉFÉRENCE	57
8.3	RECOMMANDATION POUR LA GESTION DE LA GÉOMÉTRIE	57
8.4	INVESTIGATIONS SUPPLÉMENTAIRES NÉCESSAIRES	58
9	ABRÉVIATIONS	59
10	BIBLIOGRAPHIE	59
11	ANNEXES.....	60
•	ANNEXE A : SOURCES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES	60
•	ANNEXE B : TECHNOLOGIE D'ACQUISITION DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES.....	60
•	ANNEXE C : ESTIMATION DE LA QUALITÉ DE LA TRANSFORMATION $XY \Leftrightarrow UV$ EN FONCTION DE LA PRÉCISION DE LA GÉOMÉTRIE UTILISÉE	60
12	STRUCTURE DU RAPPORT.....	60
13	STRUKTUR DES BERICHTES	60

AVERTISSEMENT

Structure du rapport

Ce document décrit la structure du rapport final du projet. Il présente un résumé du contenu des différents chapitres, ainsi que des annexes. Il peut servir de porte d'entrée au rapport complet, ou être destiné au lecteur qui souhaite obtenir une vue d'ensemble de l'étude sans avoir à se plonger dans le contenu détaillé.

VORBERICHT

Struktur des Berichtes

Dieses Dokument beschreibt die Struktur des Schlussberichts dieses Projekts. Es kann den Leser in die einzelnen Kapitel des Schlussberichts einführen oder dem Leser eine Übersicht darlegen, ohne dass er sich in die Einzelheiten des Berichts vertiefen muss.

Résumé

Le projet AGRAM "Acquisition d'une Géométrie de Référence des Axes de Maintenance" a été initié parce que:

- Le projet SYRROU "Système de repérage spatial des données routières" exprime qu'une géométrie précise de l'axe routier est indispensable pour utiliser les nouvelles technologies basées sur le GPS dans le domaine de la gestion de l'entretien routier (SGE). Cette géométrie de référence n'est pas décrite par ce projet.
- Il manque des directives pour l'utilisation des géométries d'axes. Les gestionnaires routiers utilisent souvent des géométries pour pouvoir représenter les données routières sur des cartes ou des fonds de plans.
- Le couplage entre les bases de données routières (BDR) et les systèmes d'information géographiques (SIG) est aujourd'hui important. Le passage des données routières entre BDR et SIG peut être réalisé si une géométrie d'axe adéquate est disponible. Cette détermination de la géométrie adéquate n'est pas normalisée aujourd'hui.

Les objectifs du projet AGRAM sont:

- Définir les besoins de précision de la géométrie de l'axe et des données routières
- Analyser les différentes sources de données géographiques qui permettront d'extraire la géométrie de l'axe de maintenance correspondant aux précisions exigées par les gestionnaires routiers
- Etudier les techniques modernes d'acquisition de données à référence spatiale adaptées au lever routier en regard des exigences de précision et de fiabilité
- Tester ces nouvelles technologies de lever pour l'acquisition de la géométrie des axes et proposer une méthode adaptée pour la restitution d'axe
- Proposer les bases d'une norme pour la définition et le lever de la géométrie des axes.

Pour les gestionnaires routiers, le projet AGRAM fournit les résultats suivants:

- Recensement des besoins du SGE en rapport avec la géométrie.
- Inventaire des géométries disponibles pour les processus du SGE tels que l'entretien courant, la gestion des chaussées etc.
- Proposition de démarches pour l'acquisition de différentes géométries.
- Identification des contraintes (disponibilité, couverture, fiabilité, précision etc.) pour le choix d'une méthode d'acquisition des différentes géométries.
- Illustration du potentiel des méthodes modernes (GPS cinématique, orthophoto numérique) pour l'acquisition d'une géométrie de référence.
- Identification des niveaux de précision d'une géométrie de référence dans l'optique de l'emploi du GPS pour les besoins de l'entretien routier.
- Règles d'utilisation des géométries pour la représentation cartographique (géométrie de représentation)
- Etude de faisabilité du lever d'une géométrie de référence à l'aide d'un système topométrique mobile basé sur le GPS sur un tronçon test de 25 km dans le canton du Jura.
- Présentation des sources principales de données géographiques.

Pour la normalisation, le projet AGRAM fournit les résultats suivants:

- Une définition claire de la géométrie de référence permettant de transformer les coordonnées cartésiennes (X, Y), déterminées par GPS ou par d'autres méthodes précises, en coordonnées curvilignes (u,v) du système de repérage de base (SRB) géré par la BDR.
- Une définition claire des géométries de représentation utilisées pour transformer les coordonnées curvilignes (u,v) des objets routiers de la BDR en coordonnées cartésiennes (X,Y). Ces géométries permettent de représenter ces objets sur un fond cartographique adéquat.
- Les modélisations retenues pour la géométrie de référence (séquence de droites, cercles, clothoïdes, splines, etc.).
- L'inventaire des méthodes de lever des géométries associées à des critères de qualité (métadonnées).

Zusammenfassung

Das AGRAM-Projekt "Acquisition d'une Géométrie de Référence des Axes de Maintenance" wurde aus folgenden Gründen durchgeführt:

- Im SYRROU-Projekt "Système de repérage spatial des données routières" wird behauptet, dass eine präzise Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse benötigt wird, um die neusten GPS-basierenden Technologien im Management der Strassenerhaltung (MSE) nutzen zu können. Diese Bezugsgeometrie wird nicht genauer beschrieben.
- Es fehlen Empfehlungen für die Nutzung der Geometrien der Strassen-Unterhaltsachsen.. Die Strassenbetreiber nutzen heute diese Geometrien für die Darstellung von Strassendaten auf kartographischem Hintergrund (z.B Landeskarten, Pläne).
- Die Kopplung von Strassendatenbanken (SDB) mit geographischen Informationssystemen (GIS) ist heute wichtig. Die für den Austausch von Strassendaten notwendige Koordinationstransformation kann nur über eine geeignete Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse sicher gestellt werden. Die Bestimmung dieser geeigneten Geometrie ist heute in keiner Norm festgehalten.

Die Ziele des AGRAM-Projekts sind:

- Bestimmung der Präzisionsanforderungen an die Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse und an die Strassendaten
- Analyse der heutigen Quellen von geographischen Daten, die genutzt werden könnten, um die für die Präzisionsanforderungen genügenden Geometrien abzuleiten.
- Analyse der modernen Technologien für die Erhebung der Geometrie auf der Strasse, unter Berücksichtigung der Präzisions- und Zuverlässigkeitsanforderungen.
- Durchführung eines Tests, indem moderne Technologien für die Erhebung der Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse eingesetzt werden, und Festlegung einer geeigneten Methode für die Restitution der Achse.
- Erarbeitung von Empfehlungen für die Normierung, die unter anderem die Begriffe festlegt und die Erhebungsmethoden für die Geometrien der Strassen-Unterhaltsachsen beschreibt.

Für den Strassenbetreiber bringt das Projekt folgende Ergebnisse:

- Mögliche Bedürfnisse des MSE in Bezug auf die Geometrie.
- Inventar verfügbarer Geometrien, die in MSE-Fachprozessen wie etwa betrieblicher Unterhalt, PMS usw. genutzt werden könnten.
- Vorschlag zum Vorgehen in der Beschaffung der verschiedenen Geometrien.
- Rahmenbedingungen (Verfügbarkeit, räumliche Abdeckung, Zuverlässigkeit, Präzision usw.) für die Wahl einer Beschaffungsmethode.
- Beispiele zur Illustration der Einsatzmöglichkeiten von modernen Methoden (Kinematisches GPS, numerische Orthophoto) für die Beschaffung der Bezugsgeometrie.
- Klassifikation der Präzisionsanforderungen für die Bezugsgeometrie
- Nutzungsregeln für die Geometrie zur kartographischen Darstellung (Darstellungsgeometrien)
- Machbarkeitsstudie zur Erhebung der Bezugsgeometrie durch ein mobiles topometrisches System (Fahrzeug, ausgerüstet mit GPS-Empfängern und Kameras). Eine Erhebung wurde auf einer Teststrecke von 25 km im Kanton Jura durchgeführt.
- Präsentation der wichtigsten Quellen von geographischen Daten.

Für die Normierung bringt das AGRAM folgende Ergebnisse:

- Eine klare Definition von Bezugsgeometrie. Sie ist die Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse, die für die Transformation der durch GPS oder anderen präzisen Methoden bestimmten kartesischen Koordinaten (X,Y), in Koordinaten (u,v) des in der SDB verwalteten räumlichen Basisbezugssystems (RBBS) benötigt wird.
- Eine klare Definition der Darstellungsgeometrien. Sie ist die Geometrie der Strassen-Unterhaltsachsen, die für die Transformation der Koordinaten (u,v) des RBBS der in der SDB

abgelegten Strassenobjekte in kartesische Koordination (X,Y). Diese Transformation ermöglicht die Darstellung von Strassenobjekten auf geeignetem kartographischen Hintergrund.

- Die zweckmässigen Modellierungen der Bezugsgeometrie (Folge von Geraden, Kreisbogen, Klothoide, Splines etc.)
- Ein Inventar der Erhebungsmethoden für die Geometrie mit entsprechenden Qualitätskriterien (Metadaten).

Mots-clés

Données routières, système de repérage spatial, système de repérage linéaire, système de repérage planaire, géométrie, coordonnées cartésiennes, coordonnées curvilignes, transformation de coordonnées, GPS, normalisation, banque de données routières, STRADA-DB, gestion de l'entretien routier, télématique routière

1 Introduction

1.1 Contexte du projet

Il y a plus de dix ans, la VSS a publié un ensemble de normes pour le domaine des informations à gérer dans une banque de données routières. Dans cette étude, on s'intéresse plus particulièrement au système de repérage de base (SRB) dont les définitions se trouvent dans les documents suivants :

- VSS SN 640 910 (1989) : Système de repérage de base dans l'espace pour données routières
- VSS SN 640 911 (1991) : Réseaux d'exploitation pour données routières
- VSS SN 640 920 (1989) : Signalisation et marquage des points de repère

Le projet SYRROU (VSS 10/99) s'est penché sur l'évaluation de l'adéquation du SRB par rapport aux objectifs de la gestion et de la maintenance routière en envisageant son adaptation aux nouvelles technologies d'acquisition, de gestion et de représentation des données. Ce projet a permis l'établissement d'une base solide de réflexion en vue de la révision des normes sur le système de repérage des données routières.

Dans les conclusions du rapport du projet SYRROU, on a relevé la nécessité d'acquérir une géométrie de référence des axes de maintenance avec une précision suffisante. Or dans la norme SN 640 910, on définit très sommairement la géométrie de l'axe avec une classification allant de « très grossière » à « très fine ».

L'emploi des méthodes modernes de levé, comme le GPS, doit s'appuyer sur une définition de la géométrie des axes de maintenance. C'est précisément le cadre proposé dans cette étude qui servira de base pour l'établissement d'une norme VSS sur la géométrie.

Le libre choix de la méthode d'acquisition des données routières sur la base d'un système de repérage planaire ou linéaire, exige une transformation de coordonnées ponctuelle et bi-univoque entre ces systèmes. Les exigences de précision nécessaires pour l'entretien des routes doivent être respectées dans les descriptions des données routières quel que soit le système de repérage.

L'étude pour l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance (AGRAM) s'inscrit dans une perspective croissante d'échange de données ayant un lien direct ou indirect avec le domaine routier. Le développement des projets de télématique routière se fera par une mise en commun d'informations provenant de différentes sources. Pour cela, il est indispensable que les références spatiales soient compatibles pour permettre ces échanges. De plus l'emploi des méthodes de positionnement par satellite sera courant pour la localisation d'événement se référant à l'espace de la route.

1.2 Objectifs du projet

Le rapport SYRROU a exprimé que la géométrie de référence devait assurer la transformation de coordonnées entre le système de repérage routier et un système planaire ou cartésien. Le but du projet AGRAM est de définir cette géométrie de référence en caractérisant sa modélisation et ses critères de qualité.

Afin de proposer les bases d'une norme sur la géométrie, il faut évaluer les besoins pour la description de la géométrie d'axes routiers liés aux processus de gestion de l'entretien. Selon les critères de définition de la géométrie des axes de maintenance, on pourra cibler l'inventaire des méthodes d'acquisition et des sources de données existantes.

Sur la base d'expériences, on tentera d'affiner la qualification de la géométrie de référence et on pourra proposer une méthodologie pour son acquisition.

On peut résumer les objectifs principaux de l'étude comme suit :

- Définir les besoins de précision de la géométrie de l'axe et des données routières.
- Analyser les différentes sources de données géographiques qui permettront d'extraire la géométrie de l'axe de maintenance correspondant aux précisions exigées par les gestionnaires routiers.
- Étudier les techniques modernes d'acquisition de données à référence spatiale adaptées au lever routier en regard des exigences de précision et fiabilité.
- Tester ces nouvelles technologies de lever pour l'acquisition de la géométrie des axes et proposer une méthode adaptée pour la restitution de l'axe.
- Proposer les bases d'une norme pour la définition et le lever de la géométrie des axes.

1.3 Références

1.3.1 Site Internet

Un site Internet a été réalisé dans le cadre du projet AGRAM. Il peut être consulté à l'adresse <http://topo.epfl.ch/agram/> et contient notamment les documents et les références élaborés dans le cadre de cette étude.

1.3.2 Liste des experts ayant participé au projet

Afin de bénéficier pour la réalisation de cette étude des meilleures compétences en matière de gestion de l'entretien routier, tout comme en matière d'acquisition et de gestion des données spatiales, un groupe d'experts a été constitué, réunissant :

- M. Ch. Rosenthaler, du bureau d'ingénieurs Rosenthaler + Partner AG à Bâle,
- M. J.-P. Miserez, ing.-géomètre à Delémont et ancien géomètre cantonal,
- M. G. Appius, Ecole d'ingénieur Horw / Lucerne

1.4 Terminologie

Système de référence (Referenzfläche)

Un espace dans lequel on souhaite décrire des positions.

Système de coordonnées (Koordinatensystem)

Un système de coordonnées permet d'attacher un ensemble de valeurs à une position dans le système de référence. Il définit des axes orientés dans le système de référence, les grandeurs et les unités.

Système de repérage spatial (Raum-Bezugssystem)

Un système de repérage spatial est composé d'un système de référence et d'un système de coordonnées permettant de décrire une position sur le système de référence de manière univoque. Plus précisément, un système de repérage spatial peut être défini comme un ensemble cohérent d'échelles de mesure permettant la localisation et le positionnement univoque d'entités spatiales, conformément à des exigences données.

Système de repérage linéaire (lineares Bezugssystem)

Système de repérage dont le système de référence est un ensemble d'objets de nature linéaire.

Système de repérage planaire (flächiges Bezugssystem)

Système de repérage dont le système de référence est une surface.

Système de repérage de base (Basis-Bezugssystem)

Système de repérage utilisé dans le domaine de l'entretien routier en Suisse, abrégé SRB et décrit dans les normes VSS SN 640 910 ss.

Localiser (Lokalisieren)

Déterminer la position d'un lieu ou d'un objet existant par rapport à un système de coordonnées.

Positionner (Positionieren)

Implanter un objet à une position définie dans le système de coordonnées

Processus métier

Ce sont l'ensemble des tâches liées aux aspects constructifs de la route et à l'exploitation du domaine routier. Les principaux processus sont l'entretien, la gestion du trafic, la sécurité, le « Pavement management system » (PMS), le « Bridge management system » (BMS), l'Electromechanical Management System (EMS) et la coordination des projets d'entretien (SGE). L'annexe 2 du rapport SYRROU décrit en détail ces processus.

2 Besoins du système de gestion de l'entretien (SGE) en rapport avec la géométrie

Le but de ce chapitre est d'identifier les besoins en rapport avec la description de la géométrie de l'axe de maintenance pour soutenir le déroulement optimal des processus métier de la gestion de l'entretien.

La démarche pour analyser les besoins exprimés par les responsables des différents processus métier se compose des étapes suivantes :

1. Identifier les processus techniques et leurs liens avec la géométrie de référence.
2. Déterminer la précision souhaitée pour le repérage spatial des objets routiers pour chaque processus technique d'un processus métier.
3. Déterminer la précision de la géométrie de référence.

2.1 Identification des processus techniques liés au système d'information

a) Lever et implanter

Le levé et l'implantation d'objets routiers peuvent être réalisés par des techniques traditionnelles de l'entretien routier à l'aide d'une roulette par exemple. Ces techniques fournissent des mesures dans le système de repérage linéaire. Les techniques modernes comme le GPS, fournissent des mesures qui peuvent être converties en coordonnées planaires X,Y et éventuellement Z (altimétrie). Afin de combiner ces mesures et de les gérer de manière uniforme, la transformation entre différents systèmes de repérage doit être assurée sans ambiguïté. Pour cela, il faut disposer d'une géométrie de référence dont la qualité est connue.

L'amélioration des techniques de mesures GPS (services et performances des équipements) et l'extraction de données cartographiques augmenteront l'utilisation de ces nouvelles technologies basées sur un système de repérage planaire. Les méthodes de topométrie traditionnelles (théodolite, tachéomètre) ont quant à elles une utilisation limitée dans l'entretien routier.

Dans certains processus métier, la troisième dimension (altimétrie) joue un rôle primordial. Il faudra en tenir compte dans l'analyse du levé d'une géométrie de référence.

b) Stocker

Les objets routiers décrits dans les normes VSS et qui sont stockés dans la base de données routières sont référencés dans le système de repérage linéaire. La localisation des objets ne respectant pas cette abstraction doit être gérée dans un système de repérage planaire.

L'alimentation de la base de données exige une géométrie de référence si les données levées ne se réfèrent pas au système de repérage spatial exigé par la base de données.

c) Visualiser

Les données routières peuvent être visualisées soit sur un axe tendu permettant de représenter plusieurs caractéristiques d'un axe routier, soit sur un fond de plan ou de carte permettant de représenter une caractéristique de plusieurs axes dans un contexte géographique. Ainsi, les deux systèmes de repérage sont utilisés et le passage d'un système à l'autre est indispensable.

Pour représenter les objets routiers sur une carte à petite échelle, il faut disposer d'une géométrie de transformation qui correspond au degré de généralisation de la carte. On assure ainsi la transformation des coordonnées linéaires en coordonnées planaires.

Pour des représentations à grande échelle, la transformation doit être réalisée à l'aide d'une géométrie dont la précision est compatible avec le fond de plan. La géométrie utilisée peut être la géométrie de référence.

d) Traiter

L'utilisation des coordonnées curvilignes des objets routiers est fréquente dans les opérations de traitement des données routières (par ex. calcul des surfaces des revêtements).

Néanmoins pour combiner des objets routiers et d'autres objets décrivant le contexte géographique de la route, les coordonnées curvilignes doivent être transformées en coordonnées planaires avant le traitement. A l'inverse, la transformation d'objets repérés dans le système planaire en objets du système linéaire n'est possible qu'avec un changement d'abstraction.

La géométrie de référence permet de combiner les traitements des objets routiers (linéaire) et des objets du contexte géographiques (planaire). L'estimation de la précision recherchée dans ces traitements est indispensable. Dans cette évaluation, il faut tenir compte du degré d'abstraction des objets routiers.

2.2 Besoins liés aux processus métier de l'entretien routier

	Levé et implantation		Stockage		Visualisation		Traitement		Altimétrie + visualisation 3D	Précision du repérage spatial			Conversion X, Y->u, v	Conversion u, v -> X, Y	Combinaison de données	Besoin d'une géométrie de référence
	u, v	X, Y	u, v	X, Y	u, v	X, Y	u, v	X, Y		X, Y, Z	u	v				
Processus métier	u, v	X, Y	u, v	X, Y	u, v	X, Y	u, v	X, Y	X, Y, Z	u	v	X, Y				
Entretien courant	●	●	●	●	●	●	●	●	●	< 1-10m	< 0.2m	-	●	●	●	●
Télématique, trafic	●	●	●	●	●	●	●	○	●	10m	< 0.2m	10m	●	●	●	○
Sécurité accident	●	●	●	●	●	●	○	●	●	< 1m	< 0.2m	-	●	●	●	●
Environnement, cadastre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	< 0.2m	○	○	●	●
Coord. SGE	●	○	●	○	●	●	●	●	○	< 1m	< 0.2m	-	○	○	●	●
PMS	●	●	●	○	●	●	●	●	○	< 1m	< 0.2m	-	●	●	●	●
BMS	●	○	●	○	●	●	●	●	●	< 1m	-	-	○	●	○	○
EMS	●	○	●	●	●	●	●	●	○	< 1m	< 0.2m	-	○	○	○	○
Réseaux souterrains dans les routes	○	●	●	●	○	●	○	●	●	-	-	< 0.2m	●	●	●	●
Autres équipements	●	●	●	●	●	●	●	●	●	< 1m	< 0.2m		●	●	●	●
Installations annexes	○	●	○	●	●	●	●	●	●	< 1m	< 1m		●	●	●	●
Management multi-projets (p. ex UPlANS)	●	●	●	○	●	●	●	○	○	< 1m	< 0.2m		○	●	●	○
Grande utilité	●	Remarque: hypothèses pour l'établissement de l'analyse des besoins														
Utile	●	> augmentation de l'échange d'informations de type géographique avec le développement de la télématique														
Pas utile	○	> utilisation des nouvelles techniques de localisation (GPS) en coordonnées XY, notamment pour l'aide à la navigation														

2.2.1 Entretien courant

- Relevé des indices d'état :

Le relevé des paramètres de description de l'état de la chaussée y compris les indices d'état peut être réalisé à l'aide de véhicules équipés d'appareils de mesure. Ces véhicules permettent de lever les caractéristiques de l'état de manière performante. Ce type de véhicule est équipé d'un système de navigation qui permet de localiser chaque mesure d'état dans un système planaire (GPS) ou dans un système linéaire (odomètre). En général, l'état de la chaussée est relevé tous les 100 mètres le long des axes routiers et pour chaque voie.

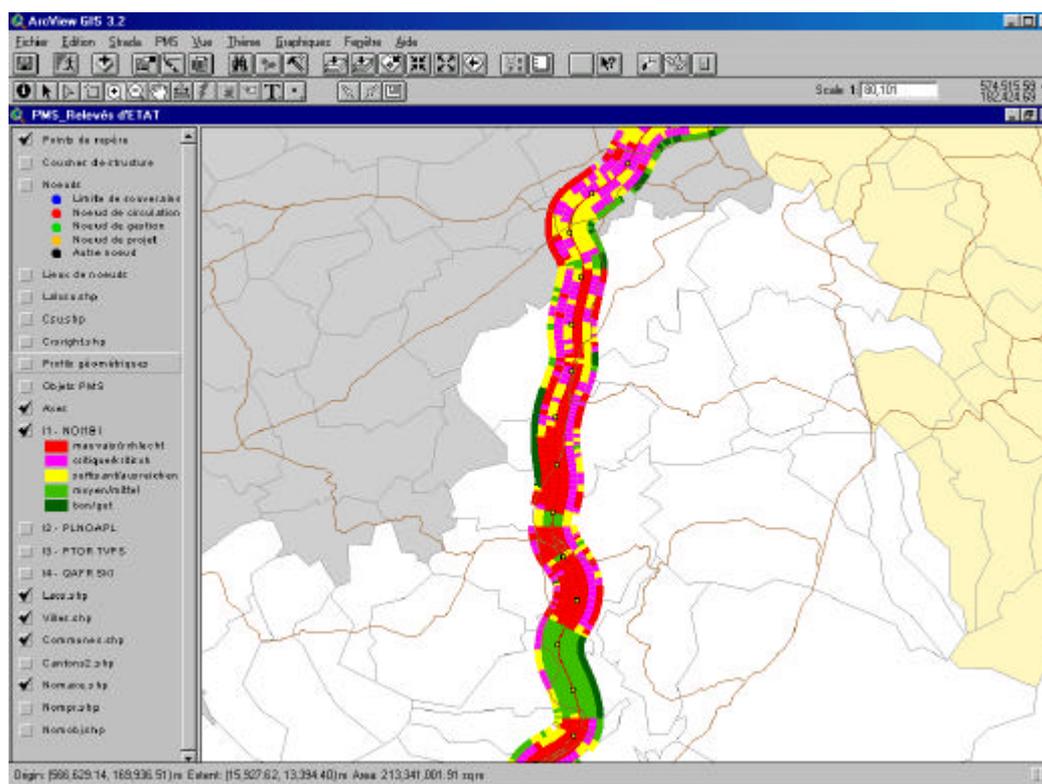


Figure 2-1 : Visualisation des indices d'état sur une carte

Le relevé d'état de la chaussée n'est pas toujours fait de manière systématique sur l'ensemble du réseau. Les voyers effectuent un contrôle périodique de l'état. Ils observent l'évolution de la dégradation de l'état aux endroits critiques et ils inventorient les nouvelles dégradations. Pour localiser les nouvelles dégradations, un levé à l'aide de GPS pourrait être avantageux. Le levé par roulette exige de trouver d'abord le point de repère précédant le lieu de dégradation.

- Canalisation

Dans le cadre du projet "Benchmarking pour l'entretien courant des routes nationales", l'Office fédéral des routes (OFROU) souhaite comparer les coûts d'entretien courant effectués par les différents centres d'entretien des cantons. Ceci s'inscrit dans une politique d'amélioration des prestations d'entretien. Ainsi les cantons ont du procéder à un inventaire des objets d'entretien (par exemple les

canalisations, les chambres, les surfaces vertes) sur les routes nationales. Ceci permet de mieux planifier les travaux d'entretien courant (par exemple le nettoyage de la canalisation).

Selon les directives du projet de Benchmarking¹, "l'introduction du Benchmarking a pour but d'organiser le versement des contributions fédérales de manière plus efficace et plus performante et d'inciter les cantons à travailler de façon plus concurrentielle, pour aboutir en fin de compte à ce que la Confédération et les cantons réalisent des économies". Ce but peut être subdivisé en 4 sous-objectifs :

- Augmentation de l'efficacité (fournir les prestations adéquates)
- Amélioration de l'efficacité du service (fournir les prestations de manière efficace)
- Procédure rationnelle du versement des contributions
- Conservation de la substance de l'équipement routier

Les cantons doivent rendre des indices de benchmarking par section d'entretien et par centre d'entretien. Les cantons les plus prospectifs ont mis en place un système d'information géographique (SIG) permettant d'inventorier les objets d'entretien afin de faciliter la mise à jour et le calcul des paramètres exigés par l'OFROU (catalogue des activités benchmarking). Ces SIG sont souvent couplés avec les bases de données routières.

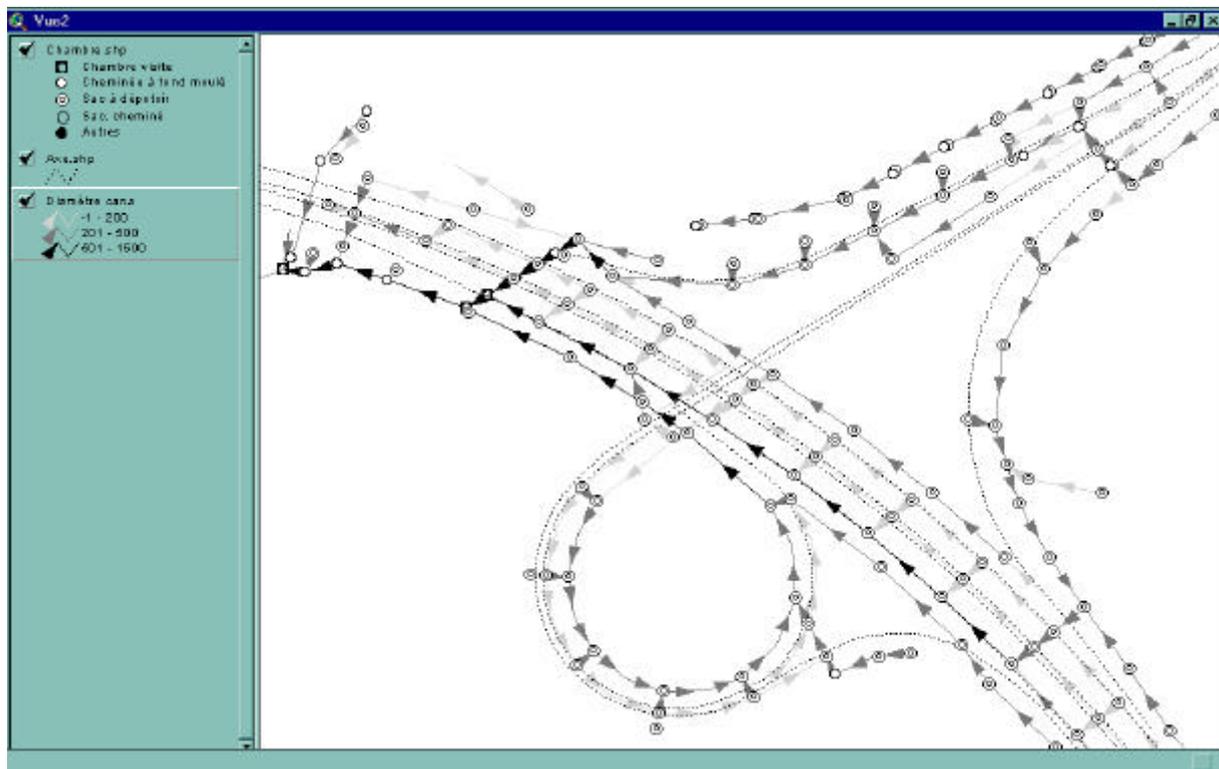


Figure 2-2 : Visualisation d'un réseau de canalisation

La gestion du réseau d'assainissement nécessite des visites régulières des chambres et des canalisations. La localisation des chambres de visite doit être relativement précise, puisque des chambres peuvent être très proches l'une de l'autre.

Prenons le cas d'un couvercle d'un diamètre de 60 cm et d'un écartement minimal entre deux chambres de 30 cm.

¹ OFROU (1998) : Entretien courant des routes nationales, Benchmarking, bases pour l'introduction, directives.

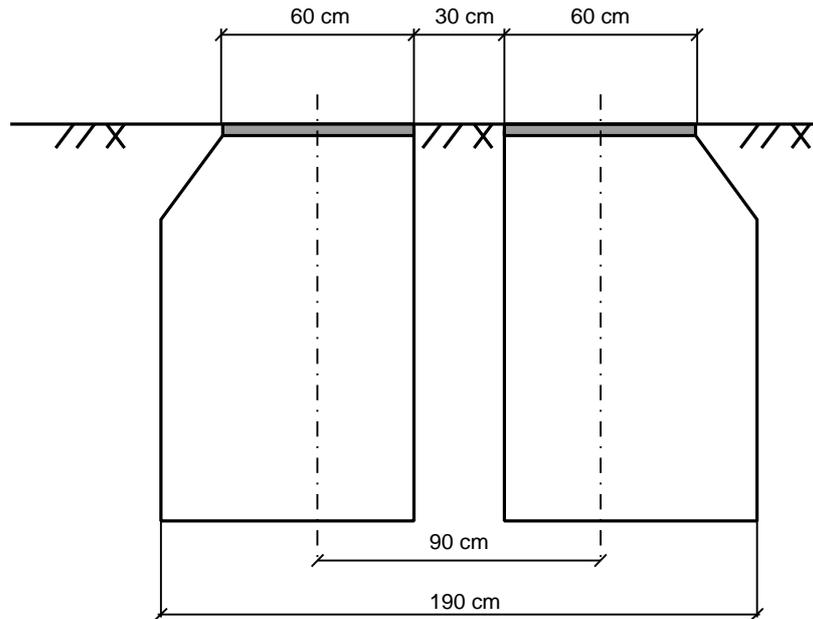


Figure 2-3 : Coupe verticale de chambres de visite

La localisation des chambres de visite doit permettre une identification sans ambiguïté de la bonne chambre. Si on utilise un GPS pour ce repérage, il faut que le domaine d'erreur de localisation ne dépasse pas 25 cm.

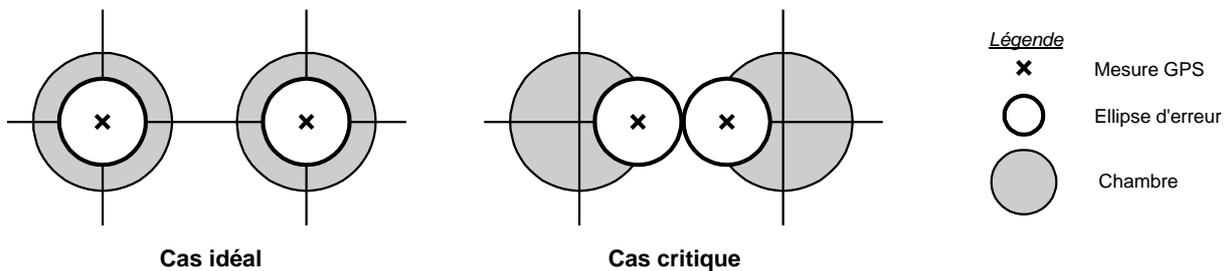


Figure 2-4 : Localisation de chambres par GPS

La séquence des chambres est importante surtout si le gestionnaire souhaite dresser un plan schématique des chambres.

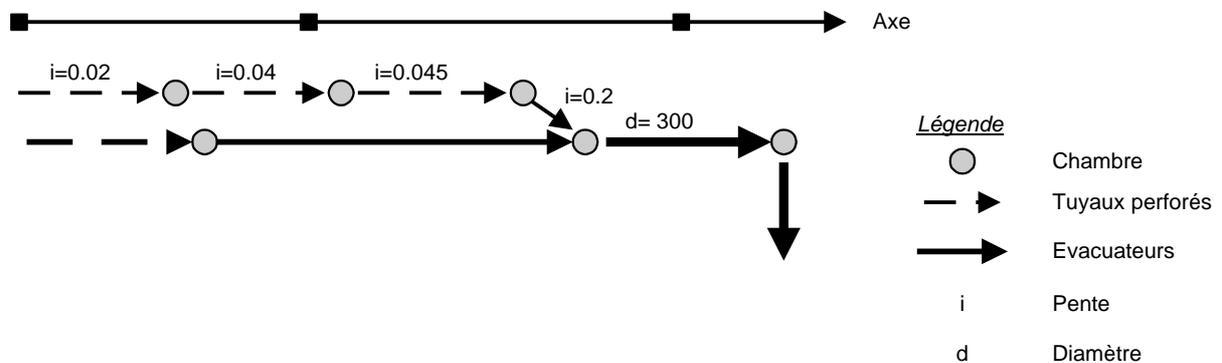


Figure 2-5 : Plan schématique des chambres

L'utilisateur souhaite représenter les chambres et les canalisations sur un plan schématique. L'axe est représenté par une droite et les chambres sont reportées en fonction de leurs distances curvilignes et leurs écarts latéraux. Pour les plans schématiques, il est important que la séquence des objets le long de l'axe et perpendiculairement à l'axe soit correcte.

La localisation des canalisations peut être relativement difficile, puisqu'elles sont souvent posées dans la structure de la chaussée en dessous du revêtement et ne sont pas visibles depuis l'extérieur.

- Entretien des surfaces vertes

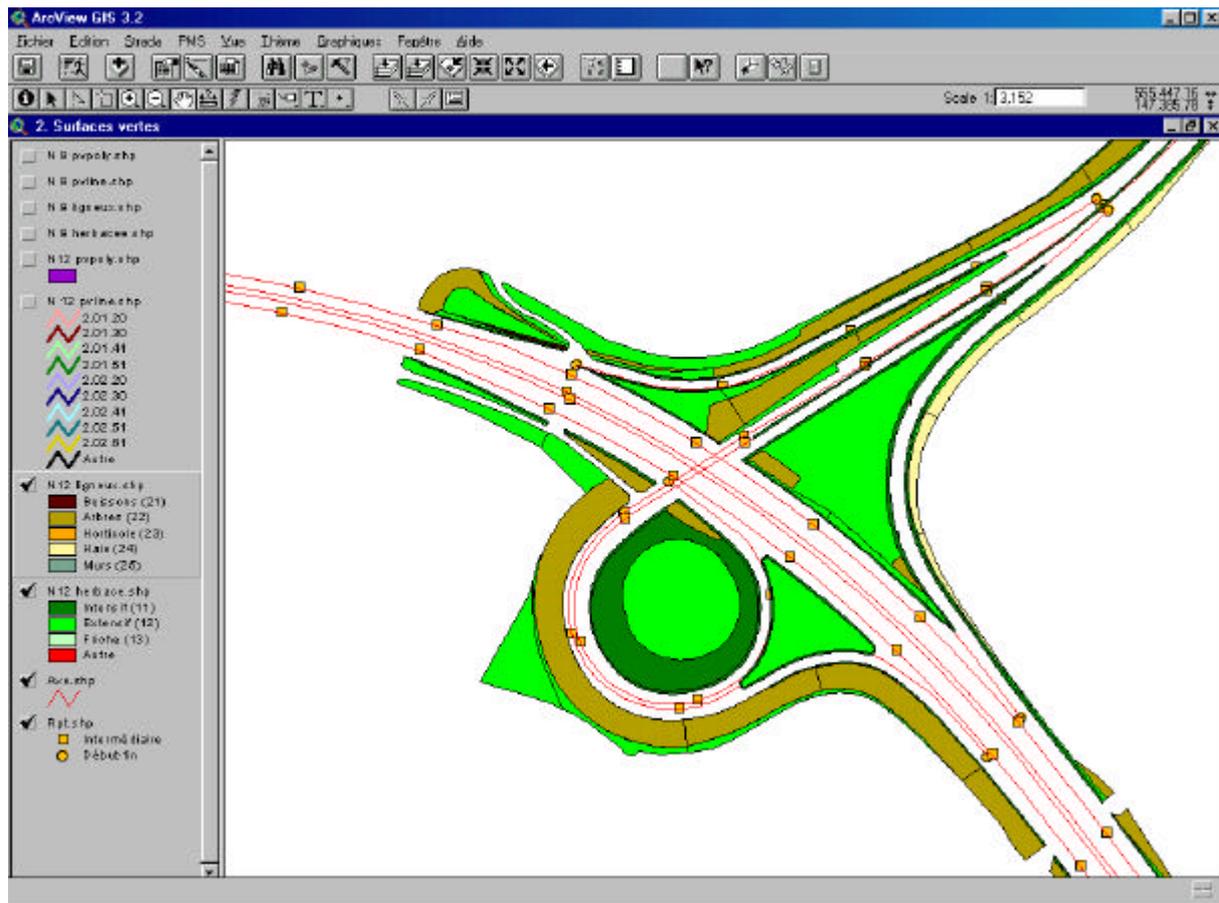


Figure 2-6 : Représentation des surfaces vertes

L'entretien courant des surfaces vertes a pour but de maintenir les surfaces vertes dans un état qui ne met pas en danger la sécurité des usagers de la route (par ex. la tombée de feuilles en automne sur l'autoroute, la visibilité) et qui permet à ces surfaces de remplir leur fonction de protection contre le vent et le bruit, et qui satisfait les exigences esthétiques.

La planification de l'entretien courant des surfaces vertes dépend :

- De la saison.
- Du type de végétation (ligneux ou herbacés).
- De la fonction de la végétation.
- De l'emplacement de la végétation (bermes centrales, au bord de la route, surface verte hors du domaine routier comme par exemple les zones inondables). L'emplacement joue un rôle pour le

choix de l'équipement : la végétation au bord de la route peut être traitée à partir de la route, alors que les surfaces vertes à l'extérieur du domaine routier doivent être traitées par d'autres techniques relativement chères).

La gestion des surfaces vertes exige le traitement combiné des données repérées dans le système de repérage de base (u,v) et des données liées au système planaire (X,Y) , comme le montre la figure ci-dessus.

A titre d'exemple, le canton de Vaud se base sur un fond de plan au 1:10'000. Les données liées aux surfaces vertes sont levées sur le terrain (en u,v ou en X,Y) ou directement sur le fond de plan.

Pour la transformation des données du système u,v dans le système X,Y, on utilise la géométrie d'axe digitalisé à partir du plan 1:10'000. Elle se compose d'une suite de segments de droites.

Les exigences de précision du positionnement pour l'entretien des surfaces vertes doivent être au moins identiques à la précision du plan 1:10'000.

- Signalisation

L'entretien courant de la signalisation comprend la signalisation verticale, les pré-marquages, les balises et le SRB.

Le levé de la signalisation verticale peut être fait directement depuis un véhicule qui est équipé de GPS et d'appareil photo ou vidéo. Ainsi, la signalisation peut être identifiée et repérée sur une représentation cartographique. Pour stocker ces informations dans la base de données routières, les données doivent être transformées en u,v.

La séquence de la signalisation et des nœuds de circulation le long de l'axe est très importante, puisque la signalisation peut influencer la circulation dans ce nœud.

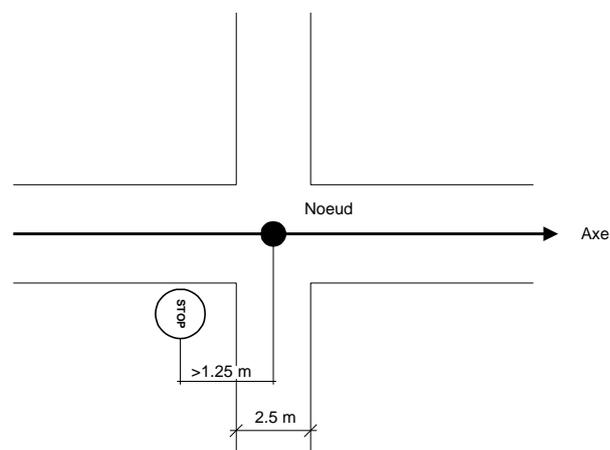


Figure 2-7 : Localisation d'un élément de signalisation

Les exigences de précision du levé de la signalisation sont fixées à +/- 70 cm. Ainsi, la séquence de la signalisation et des nœuds le long de l'axe est conservée. De manière analogue, la précision du levé perpendiculaire à l'axe doit être inférieure à +/- 30 afin de conserver la séquence de la signalisation et des voies.

- Contrôle de l'abornement

Les voyers effectuent périodiquement un contrôle de l'abornement sur les routes cantonales. Actuellement, ils prennent les plans de la mensuration officielle et ils vérifient la conformité des bornes sur le terrain avec le plan. L'inconvénient de cette méthode est que le voyer doit prendre relativement beaucoup de plans avec lui pour faire ce contrôle, puisqu'il vérifie l'abornement des propriétés qui bordent la route.

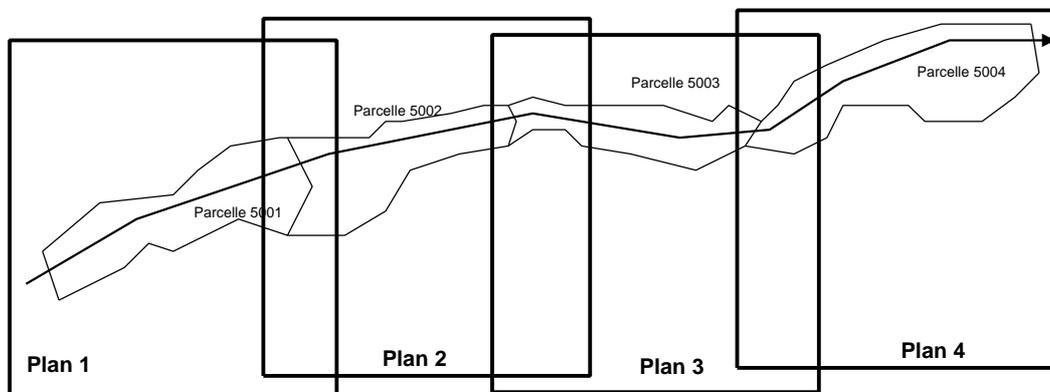


Figure 2-8 : Répartition des plans de mensuration sur un tronçon routier

Il faut rappeler que l'abornement est disponible en coordonnées X,Y et que le recours au GPS permettra de mieux les retrouver lorsque les bornes sont cachées. Pour localiser les bornes, la précision du GPS doit être de l'ordre du mètre.

- Autorisation

L'autorisation d'utilisation du domaine public (par ex. raccordement d'un privé au réseau d'assainissement de la commune) par un privé exige des plans relativement précis. Ces travaux de lever sont en général exécutés à l'aide des méthodes classiques de la topométrie.

2.2.2 Télématique, trafic

La gestion du trafic n'exige en principe pas de précision très élevée. Les analyses de trafic se basent souvent sur des représentations cartographiques des valeurs de trafic qui sont agrégées par tronçon. Un repérage plus précis est exigé uniquement pour repérer les équipements de comptage ou pour localiser la signalisation.

Les spécialistes de la modélisation du trafic ont maintenant recours à des voitures équipées pour fournir des mesures sur la circulation (Floating Car). La démarche « Floating Car Data » (FCD) prévoit d'utiliser des véhicules équipés de capteurs de mesure pour acquérir des informations sur la situation actuelle du flux du trafic². Le repérage spatial de ces véhicules en temps réel est réalisé par GPS. Les données générées par ces véhicules permettent de calibrer les modèles de simulation du trafic et des modèles de calcul du temps de parcours par exemple. Néanmoins, l'unité d'analyse dans la modélisation du trafic reste le tronçon et toutes les données du trafic sont agrégées sur ce dernier.

Le levé en coordonnées planaires est utile pour tous les services de télématique qui dépendent de la position de l'utilisateur (par ex. service de dépannage). Ces services seront fournis par des entreprises privées et ne concernent pas la gestion du trafic par des autorités publiques.

² Voir Rosenthaler und Partner AG, Rudolf Keller & Partner (1999): Floating Car Data in der Verkehrsplanung. Im Auftrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure. Version 0.3.

Une géométrie très précise est d'ailleurs nécessaire pour les systèmes d'assistance aux conducteurs de véhicule. Il existe par exemple des projets pour le guidage des phares d'un véhicule en fonction du tracé routier. Pour cela, il est indispensable de disposer d'une géométrie de la route de grande précision. Des propositions pour l'extension des bases de données routières sont discutées dans le projet européen NextMAP³.

2.2.3 Sécurité, accidents

Les polices cantonales utilisent le système de repérage linéaire à des fins statistiques et un système de repérage planaire pour établir des esquisses des accidents pour des besoins juridiques. Elles lèvent les scènes d'accidents majeurs à l'aide de théodolites et des méthodes photogrammétriques. Une géométrie de référence permettrait de générer les coordonnées curvilignes exigées pour la statistique des accidents.

2.2.4 Environnement, cadastre

Le système de repérage planaire est bien adapté pour gérer les activités liées à l'environnement (bruit, pollution) et au cadastre (limite du domaine public). A titre d'exemple, on peut citer l'analyse de l'impact du trafic dans les environs du réseau routier. On peut aussi s'intéresser à l'effet de l'environnement et des conditions météo sur le trafic. Dans ces exemples, on doit pouvoir aisément combiner des données routières (u,v) et des données géographiques (X,Y), d'où la nécessité de disposer d'une géométrie de référence.

Illustration du principe

L'Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM) exige d'inventorier tous les tronçons qui comportent des risques importants (accidents fréquents). Le gestionnaire routier doit d'abord identifier des zones à risques proches des routes (par ex. des zones construites) en représentant la route sur un fond de plan (plan d'affection). A l'aide d'un outil d'analyse spatiale (intersection), il détermine les tronçons sur lesquels un accident majeur peut générer des dangers importants. Ces tronçons sont repérés dans un système de repérage linéaire. Une telle analyse peut être utile lors de la planification des transports exceptionnels ou dangereux pour l'environnement.

2.2.5 Coordination SGE

La coordination des activités du SGE est particulièrement importante sur le réseau des routes nationales. Afin de réduire le nombre de chantiers sur ce dernier, il faut coordonner les travaux de construction, ceux d'aménagement, l'entretien des canalisations, des surfaces vertes et des chaussées. La description des objets routiers dans le système de repérage linéaire correspond au degré de détail souhaité pour cette coordination. La transformation des objets repérés en coordonnées curvilignes dans un système planaire sert à la communication des travaux planifiés à l'aide d'une représentation cartographique. Dans ce cas, une géométrie de représentation est suffisante.

2.2.6 PMS : Pavement Management System

Le repérage spatial des informations spécifiques pour le PMS est en général réalisé dans le système de repérage linéaire. On peut envisager de mesurer la qualité de la chaussée (par ex. la portance) à l'aide d'un véhicule spécialement équipé dont la localisation est obtenue par GPS. Il fournit des coordonnées planimétriques qui doivent être transformées en coordonnées linéaires pour être utilisé par le processus PMS. La géométrie de référence doit permettre d'assurer cette transformation de manière à ce que les exigences de précision du repérage spatial soit respectées.

³ Projet NextMAP : <http://www.ertico.com/activiti/projects/nextmap/home.htm>

2.2.7 BMS : Bridge Management System

Le système de gestion des ouvrages d'art (BMS : Bridge Management System) a pour but la planification pluriannuelle des interventions de maintenance des ouvrages d'art. Pour cela, il est obligé de s'occuper de l'établissement et de la mise à jour de l'inventaire des ouvrages d'art, de la planification et de l'exécution des inspections ainsi que de l'intervention d'entretien des ouvrages d'art.

Afin d'exploiter un système BMS de manière performante, le gestionnaire peut repérer les ouvrages dans le système planaire et dans un système de repérage linéaire pour les localiser sur le réseau routier. La description détaillée de la forme des ouvrages d'art dans un système planaire n'est pas nécessaire pour cette tâche de gestion.

La précision exigée pour la localisation des ouvrages d'art est de l'ordre du mètre. Les éléments constructifs des ouvrages d'art sont identifiés par un numéro unique pour un ouvrage d'art donné. La description des ouvrages d'art est souvent complétée par un plan de situation et des profils produits par des outils DAO (plans d'exécution ou plans conformes). Ces plans sont repérés par rapport à un système de coordonnées local (tridimensionnel). La précision de tels plans est très élevée puisque l'entreprise de construction s'est basée sur ces plans lors de la construction. Par contre, une telle précision n'est plus nécessaire pour satisfaire aux tâches du BMS.

2.2.8 EMS : Electromechanical Management System

La durée de vie relativement courte des équipements électromécaniques, due à des immiscions de gaz de combustion et à la pénétration du sel, nécessite une gestion efficace de l'entretien de ces derniers. Contrairement au BMS et au PMS qui visent une planification pluriannuelle, la gestion des équipements électromécaniques (EMS) vise à gérer les mesures à prendre pour la remise en état d'une installation électromécanique en cas de panne. Les interventions sur les équipements sont souvent des interventions d'urgence puisque le dysfonctionnement d'une installation même partiel, peut mettre en danger la sécurité des usagers de la route.

Dans le domaine de l'EMS, il convient de distinguer les installations réparties le long de la chaussée (par ex. un éclairage), les installations liées à la chaussée et encastrées dans un ouvrage (par ex. borne SOS dans un tunnel) et les installations non liées à la chaussée (par ex. un transformateur)⁴. Le repérage des composants physiques des installations dépend de leur nature. Une installation électromécanique doit être repérée par rapport à un système linéaire afin de connaître les segments de route concernés, plus particulièrement en cas de dysfonctionnement. La précision exigée est de l'ordre du mètre.

2.2.9 Gestion des réseaux souterrains

Les gestionnaires repèrent des réseaux souterrains (eaux claires, eaux usées, gaz, électricité, téléphone) dans un système de repérage planaire. Les exigences de précision dépendent du type de réseau souterrain.

Par exemple, le réseau de gaz à haute pression et les oléoducs fait partie du catalogue de données de la mensuration officielle 93. Il doit être relevé avec une précision de quelques centimètres, alors que les exigences de précision pour le levé d'un réseau des eaux claires, souvent définies par le canton, sont nettement moins élevées (par ex. environ 50 cm).

Pour la gestion de l'entretien routier, il est nécessaire de connaître les canalisations qui évacuent les eaux de pluie des routes. En cas de dysfonctionnement d'une canalisation, le gestionnaire doit connaître le segment de route d'où l'eau de pluie n'est plus évacuée. Ceci peut générer des dangers pour les usagers de la route.

⁴ VSS (Februar 2001): Erhaltungsmanagement, Erhaltungsmanagement der technischen Ausrüstungen (EMT), EMT Inventar. Normentwurf.

Lors de la planification des travaux d'entretien, la connaissance de la position de la canalisation relative à la route à l'aide de distances est suffisant alors que pour la réalisation de chantiers sur la route, il est indispensable de connaître la position des traversées de canalisation afin d'éviter de causer des dommages à un réseau souterrain.

La réparation de canalisations dégradées par un vieillissement naturel peut avoir un rôle dans la planification pluriannuelle des chantiers. Afin de minimiser le nombre de chantiers sur le réseau des routes nationales, l'Office fédéral des routes a lancé un projet pour permettre de prendre en compte l'entretien des canalisations dans la planification de chantier. Cette dernière exige des précisions d'ordre du mètre.

2.2.10 Autres équipements

Le repérage spatial d'autres équipements (par exemple: les murs anti-bruit, les glissières, la signalisation) dépend de leur nature. Les exigences de précision de l'ordre du mètre suffisent pour la gestion de leur entretien.

2.2.11 Installations annexes

Les installations annexes (par ex. places de repos, parking) sont repérées dans un système planaire avec une précision de l'ordre du mètre. Les accès à ces installations annexes à partir du réseau routier sont souvent repérés par rapport au système de repérage linéaire.

2.2.12 Management multi-projet

Le management multi-projet n'exprime pas d'exigences de précision élevées.

2.3 Besoins liés à la coexistence du SRB et des géométries

Le projet SYRROU a montré la complémentarité du système de repérage planaire et du système de repérage linéaire. Par conséquent, le passage d'un système à l'autre est primordial pour pouvoir profiter des atouts des deux systèmes.

Le système de repérage linéaire est mieux adapté pour la gestion des données routières, alors que le système de repérage planaire permet de représenter les données routières (objets routiers) dans le contexte géographique (forêts, villes, etc.) et de représenter le détail des objets routiers qui correspondent à une abstraction différente de celle utilisée dans la plupart des activités d'entretien routier.

2.3.1 Intégration de nouvelles technologies dans les processus de relevé des données routières

L'avènement des nouvelles technologies (voir annexe B) pour le levé d'objets sur le terrain, comme le GPS et le Mobile Mapping, suscite un intérêt dans les milieux professionnels de la route. Dès lors, on peut souhaiter promouvoir l'utilisation de ces nouvelles technologies pour l'entretien routier. Ces nouvelles technologies restituent la position dans un système de coordonnées cartésiennes (X,Y,Z) ou planaire.

Afin d'intégrer ces informations de localisation dans la base de données routières, il faut disposer d'une géométrie de référence permettant de transformer les coordonnées planaires en coordonnées curvilignes sans perdre la qualité originale de la détermination sur le terrain par GPS.

La qualité de cette géométrie de référence doit correspondre aux exigences du levé effectué par GPS, en sachant que les attentes sont variables selon les processus métier.

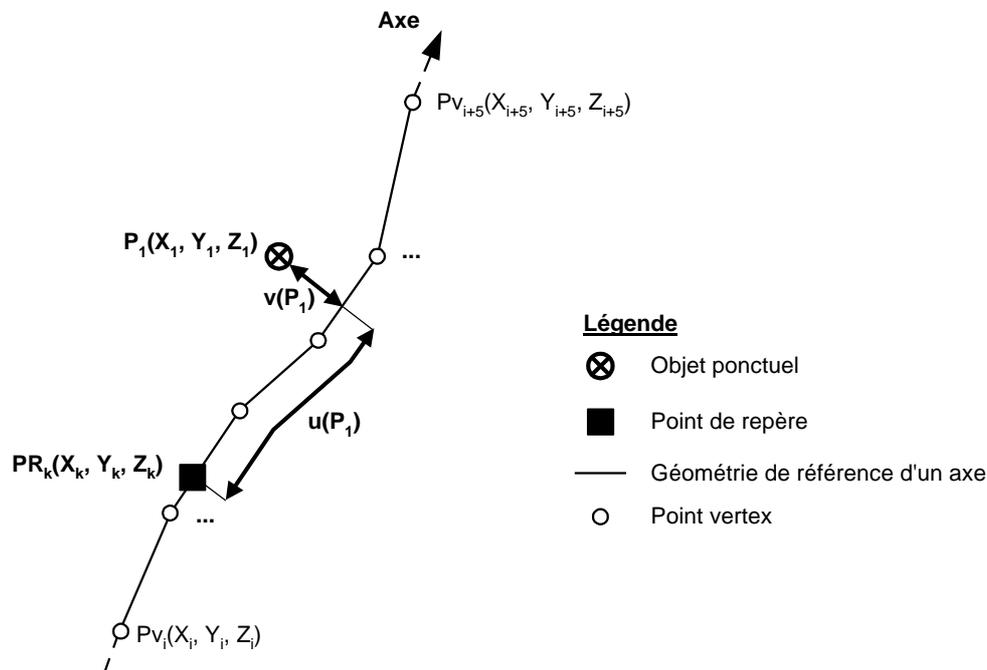


Figure 2-9 : Relation entre les systèmes linéaire et planaire

La méthode GPS

La méthode de positionnement GPS offre plusieurs gammes de précision selon le mode d'exploitation. On distingue principalement les modes suivants :

Mode de mesures GPS	Précision
Code absolu ou navigation autonome	5 à 15 m
DGPS ou code différentiel	1 à 2 m
RTK ou phase différentielle	0.02 à 0.1 m

Ces précisions sont des valeurs indicatives qui dépendent fortement du type de matériel GPS utilisé et des conditions de mesures (constellation de satellites, obstruction, environnement).

Il faut mentionner que le GPS est un système global de navigation dont la définition repose sur un système géodésique mondial (WGS84). En général, les appareils disposent des interfaces nécessaires pour transformer ces coordonnées WGS84 dans un système de coordonnées nationales. Il faut cependant être très attentif à la définition de ces transformations et s'assurer qu'elles sont effectivement compatibles avec les coordonnées locales (voir annexe B).

Exigences de précision

Les exigences de précision dans l'entretien routier sont en général de l'ordre du décimètre dans la direction transversale de l'axe de la route et de l'ordre du mètre dans la direction longitudinale de l'axe de la route. La mise en œuvre des mesures par GPS doit être adaptée aux exigences de précision formulée par les professionnels de la route tout en respectant les critères de rentabilité (coût de la mise en œuvre de la méthode).

Afin d'exploiter et représenter les données en coordonnées planaires issues du GPS avec les données de la base de données routières, elles doivent être transformées en coordonnées curvilignes u, v^5 à l'aide de la géométrie de référence de l'axe.

2.3.2 Possibilités d'améliorer la mesure de longueur des secteurs

La comparaison de méthodes de mesure de longueur de secteur a déjà fait l'objet de nombreux tests et études⁶. Ils montrent notamment que:

- L'erreur sur la mesure de distance à l'aide d'une roulette étalonnée est inférieure au mètre sur une longueur d'environ 200 m (5‰) dans 90% des cas. Ces erreurs sont dues à la sinuosité du parcours de l'opérateur.
- La distance curviligne mesurée sur le terrain est en principe plus grande que la distance curviligne calculée à partir d'un fond de plan. La distance mesurée sur le terrain suit le tracé tridimensionnel de la route alors qu'une distance calculée à partir d'un fond de plan s'appuie sur une géométrie de l'axe projetée sur le plan X,Y.
- La généralisation de la géométrie des axes routiers sur les cartes nationales ajoute des erreurs sur le calcul des distances curvilignes à partir de ces dernières. Cette généralisation ajoute des erreurs importantes à partir des cartes d'échelle plus petite que 1:25'000.

L'acquisition d'une nouvelle géométrie doit être suffisamment précise afin de l'utiliser pour le calcul des distances des secteurs. Pour prendre en compte le profil en long (l'altitude), cette géométrie doit être décrite dans les trois dimensions X,Y et Z.

La précision attendue par le gestionnaire routier pour les longueurs curvilignes a été fixée à deux mètres, indépendamment de la méthode de lever. Si un objet est repéré à l'aide de la roulette, les erreurs de mesure de la distance curviligne doivent être inférieures à deux mètres. Si l'objet est levé en coordonnées X,Y, la distance résultant d'une transformation de coordonnées ne doit pas dépasser les exigences de précision.

⁵ Voir SYRROU

⁶ notamment: INSER SA (1993): Projet STRADA-DB / ARGIS, rapport sur les tests de mesure du SRB; mandaté par: Canton de Genève, Département des Travaux Publics, Direction du Génie Civil.

Afin de permettre la combinaison de données issues de différentes méthodes de levé se basant sur différents systèmes de repérage spatiaux, les exigences de précision sur les distances des secteurs doivent être plus élevées.

Objectif de précision linéaire : 1m / 1km de secteur (1‰)

La géométrie utilisée pour la mise à jour des distances des secteurs doit permettre de calculer des distances avec une précision plus élevée qu'un mètre par kilomètre.

Repérage spatial des marques dans le système de coordonnées nationales

Lors de l'acquisition de la géométrie de référence, les coordonnées planaires des marques peuvent également être levées. Si la position de ces marques est déterminée avec une précision suffisante, les coordonnées planaires, rattachées au système de coordonnées suisse, peuvent être utilisées pour repérer le point de repère et en assurer son rétablissement si nécessaire. Le rattachement au système de coordonnées nationales est indispensable afin d'assurer la pérennité du SRB. Ceci serait une alternative à l'assurage du point de repère à l'aide du point de repère physique.

Calage

Le processus de calage permet de représenter des objets routiers repérés dans un système de repérage linéaire sur une représentation cartographique d'échelle quelconque. Pour cela on a recourt à une géométrie dite de représentation de l'axe routier dont le degré de détail et le niveau de généralisation sont adaptés au support cartographique. Le calage permet de transformer les distances curvilignes des objets routiers en coordonnées X,Y en s'appuyant sur une géométrie de représentation adéquate et sur un ensemble de points dont la position est connue sur le SRB et connue par rapport au fond de plan. Ces points spécifiques sont appelés points de calage. Le calage est illustré par la figure suivante.

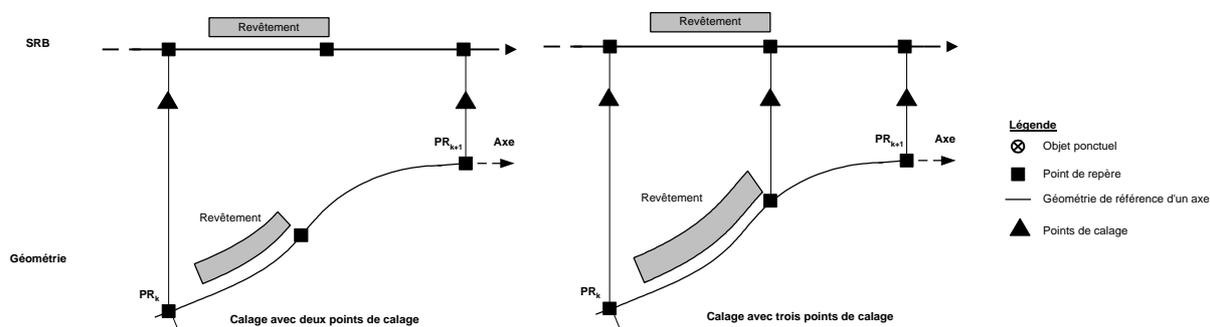


Figure 2-10 : Calage de données routières

Les carrefours par exemple représentent des points de calage possibles, parce qu'ils sont facilement localisables sur des fonds de plan.

Le nombre de points de calage et leur précision déterminent la précision avec laquelle les objets routiers sont situés par rapport aux autres objets représentés sur le plan à grande échelle.

La détermination des coordonnées X,Y des marques avec une précision suffisante permettrait d'utiliser les marques comme points de calage supplémentaires pour les représentations à grande échelle (sans généralisation). Ainsi, l'utilisateur disposerait des points de calage au moins tous les kilomètres.

2.3.3 Représentation cartographique des données routières à grande échelle

Une géométrie suffisamment précise permettrait de représenter les données routières sur des fonds cartographiques de grande échelle comme les plans de la mensuration officielle et les plans d'ensemble.

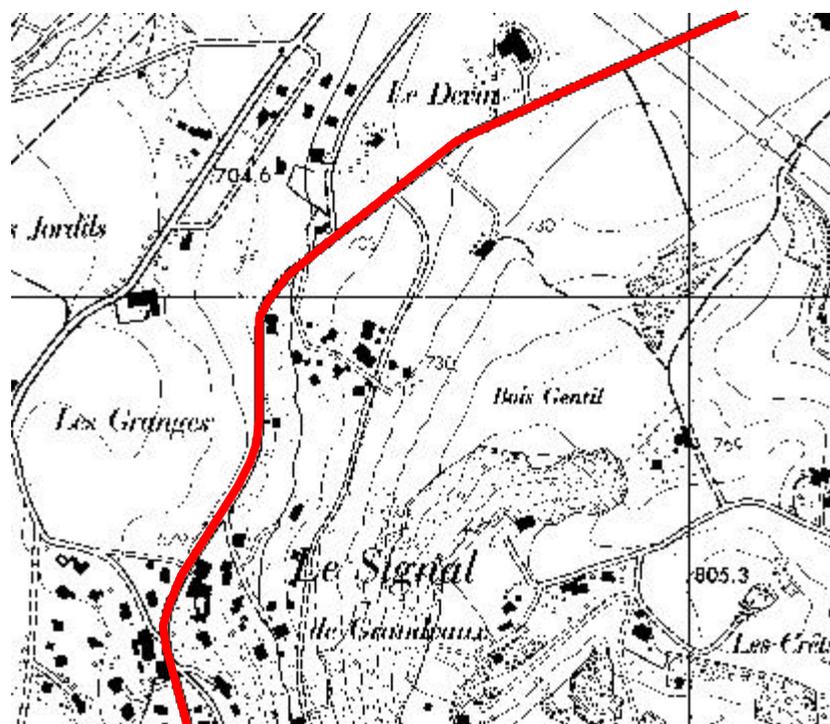


Figure 2-11 : Exemple de superposition de l'axe routier à un fond de plan de grande échelle

Presque tous les cantons ont acquis la géométrie des axes routiers sur la base du plan d'ensemble au 1:10'000. Cette option permet de représenter des données sur ces derniers. Pour pouvoir discuter avec les représentants communaux, les gestionnaires routiers des cantons disposent ainsi d'un moyen de communication efficace.

Les gestionnaires des données routières doivent de plus en plus suivre les démarches d'uniformisation d'accès aux données spatiales des administrations (projets SIRS des cantons). Plusieurs cantons utilisent des logiciels SIG ou des serveurs spatiaux de données permettant aux différents services d'accéder aux données géographiques. Pour cela, ils ont harmonisé la sémantique et la structure des données spatiales⁷. La mise à disposition des données routières à d'autres fins que celles du management de l'entretien routier – par ex. l'aménagement du territoire, la télématique des transports routiers – représenterait une valeur ajoutée significative pour les données routières. Il serait préférable de pouvoir fournir des données routières compatibles avec le plan d'ensemble puisque beaucoup de données spatiales des cantons se basent encore sur ces derniers.

2.3.4 Levé des données routières sur un fond cartographique

De plus, les utilisateurs digitalisent des objets routiers sur un fond cartographique dont les coordonnées planaire sont transformées en coordonnées linéaires à l'aide d'un calage basé sur une géométrie adaptée.

⁷ Voir en particulier les dictionnaires de données du SITG (Système d'information du territoire genevois) et de l'ASIT-VD (Association pour le système d'information du territoire vaudois)
<http://www.sitg.ch/> et <http://www.asit.vd.ch/>

2.3.5 Exploitation des données altimétriques (3e dimension)

Une mesure GPS fournit des coordonnées dans un système planaire ainsi que l'altitude. On peut ainsi localiser un point dans un espace tridimensionnel. Si on détermine la position d'un point par GPS, le calcul de l'écart par rapport à l'axe de maintenance est un vecteur tridimensionnel. Cet écart peut être décomposé en un écart latéral planimétrique et un écart vertical. Ainsi, il est nécessaire de disposer d'une géométrie tridimensionnelle de l'axe de maintenance.

La connaissance de la troisième dimension permet de :

- calculer la vraie longueur curviligne de l'axe ;
- calculer la pente de la route utile notamment pour la planification des transports exceptionnels, pour l'exploitation du réseau d'évacuation des eaux, pour la modélisation du trafic et pour la gestion du trafic hivernal;
- analyser la visibilité des usagers de la route afin de pouvoir augmenter leur sécurité ;
- établir des scènes de réalité virtuelle pour les besoins des études d'impact et des études de bruit.

2.3.6 Mise à jour des géométries

Afin de conserver l'intégrité de la BDR, il est souhaitable de mettre à jour régulièrement la géométrie de référence et les géométries de représentation dans le même intervalle que le SRB.

2.4 Classification des besoins de précision pour la géométrie d'axe

Les exigences de précision planimétrique peuvent être subdivisées en quatre catégories :

Type	Précision	Objets
I	< 10 cm	conduites de gaz, limite du domaine public (bornes)
II	10 à 50 cm	canalisation, chambre de visite, signalisation, état de la chaussée, points de repère, accidents
III	1 mètre	gestion des compteurs de trafic, PMS, EMS, surfaces vertes, réparations, BMS, usage de la chaussée
IV	qq mètres	analyse du trafic, des classifications de réseaux

Tableau 2.1 : exigences de précision planimétrique

Les exigences de précision altimétrique peuvent être subdivisées en deux catégories :

Type	Précision	Objets
0	Sans alti	La plupart des objets
I	10 à 50 cm	calcul de pentes
II	1 mètre	Visualisation tridimensionnelle du réseau routier

Tableau 2.2 : exigences de précision altimétrique

Ces indications de précision se réfèrent uniquement au repérage spatial des données routières. La description de la forme et de la position géométrique des objets routiers n'est pas concernée par ces précisions.

Afin de garantir les exigences de précision dans les deux systèmes de repérage, la transformation de coordonnées entre ces systèmes ne doit pas être une source supplémentaire d'incertitude. Les tests de transformation réalisés dans le cadre du projet AGRAM illustrent le principe de la propagation des erreurs dans les processus de transformation.

La transformation des coordonnées entre les systèmes de repérage s'appuie sur une description de la géométrie adaptée de l'axe routier concerné. C'est la géométrie de référence.

3 Concepts de modélisation du SRB et des géométries

3.1 Modélisation existante dans les bases de données routières

3.1.1 Système de repérage spatial dans les bases de données routières

Le repérage dans l'espace est constitué par un ensemble de systèmes destinés à permettre un rattachement spatial stable et fiable ainsi qu'une exploitation des données routières adaptée aux activités du système de gestion de l'entretien (SGE).

Le système principal, appelé **système de repérage de base dans l'espace pour données routières (SRB)** est défini dans la norme VSS 640'910. Il assure la localisation spatiale sur le terrain de tout lieu du domaine routier. L'objectif est de garantir un rattachement univoque des informations, indépendamment des différentes vues que chaque catégorie d'intervenant peut avoir sur le domaine routier. Il est, de plus, rattaché à la mensuration officielle (coordonnées nationales) pris comme système de repérage de base cartographique.

Les systèmes secondaires, appelés **réseaux d'exploitation pour données routières** dans la norme VSS 640'911 permettent la constitution de différentes vues du réseau routier nécessaires à la gestion et à la représentation de certaines données. Les réseaux sont reliés au système de repérage de base par le repérage dans cet espace de nœuds qui limitent leurs tronçons.

La relation du SRB avec le système cartésien des coordonnées nationales s'effectue à travers des éléments du système de repérage de base, en s'appuyant sur **les géométries** des axes et sur des points de calage dont la position est connue dans les deux systèmes.

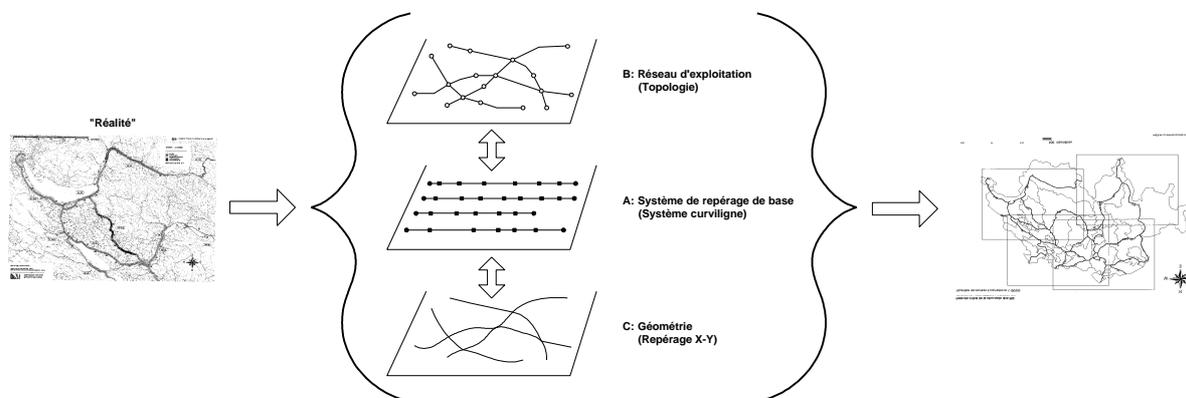


Figure 3-1 : Les formes de repérage spatial dans STRADA-DB

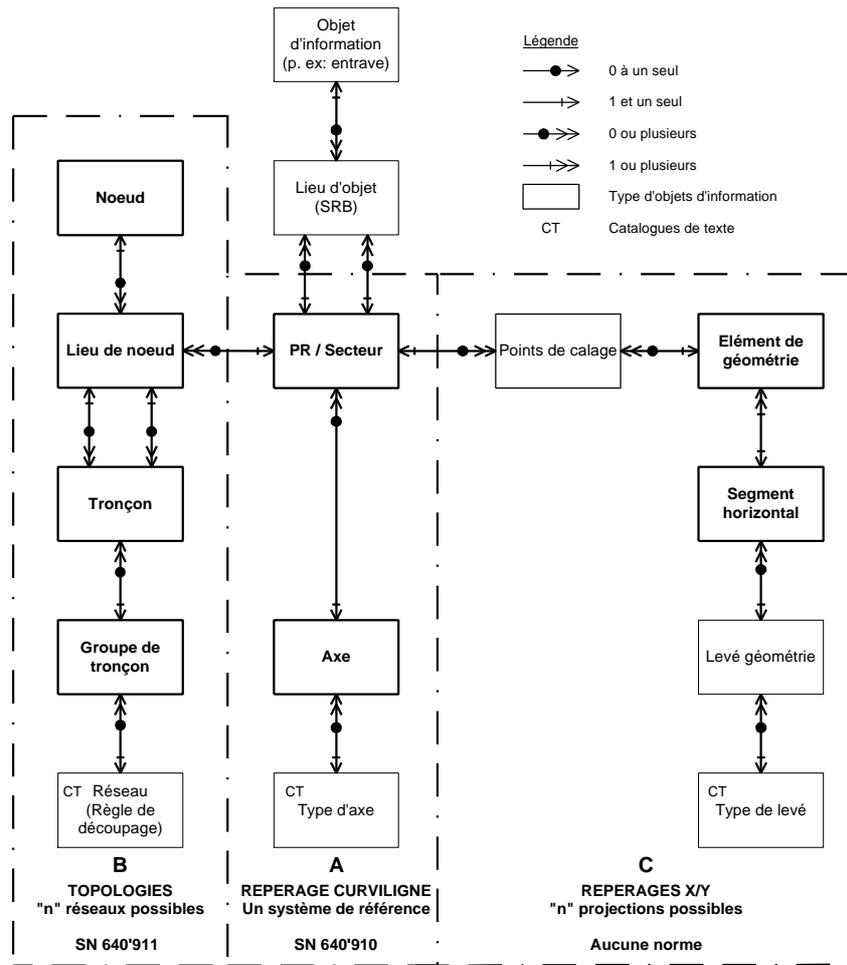


Figure 3-2 : Schéma conceptuel du repérage spatial dans la BDR

3.1.2 Modélisation de la géométrie d'axe dans la BDR

La description de la géométrie des axes routiers dans les BDR est réalisée en se basant sur les données issues de projets routiers. La géométrie tridimensionnelle d'axe est composée d'une géométrie horizontale (plan de situation) et d'une géométrie verticale (profil en long).

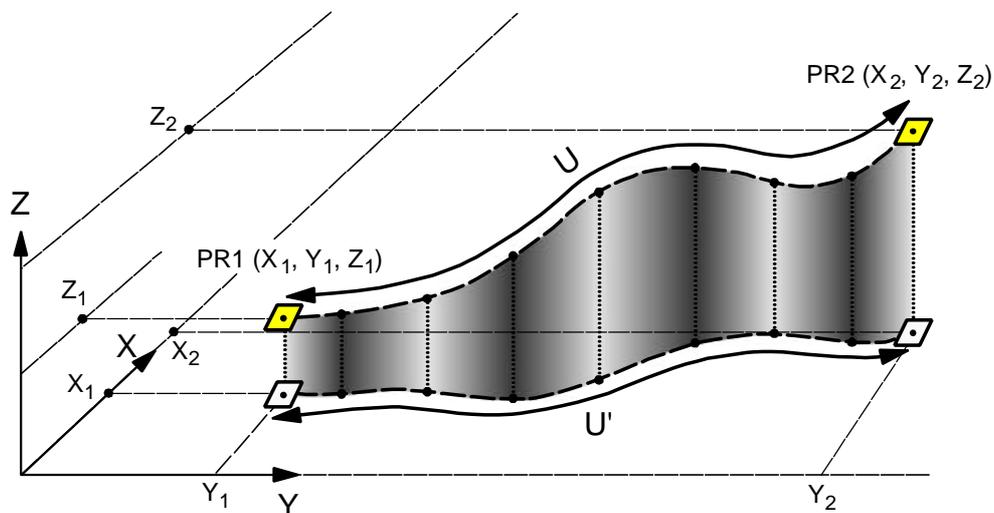


Figure 3-3 : Géométrie tridimensionnelle d'un secteur

Une géométrie d'axe tridimensionnelle peut être subdivisée en :

- **Géométrie horizontale** : projection de la géométrie tri-dimensionnelle sur le plan horizontal X,Y
- **Géométrie verticale** : description des variations d'altitude Z en fonction de l'abscisse curviligne absolue u' de l'axe routier. L'abscisse curviligne u' est une distance curviligne sur la géométrie horizontale.

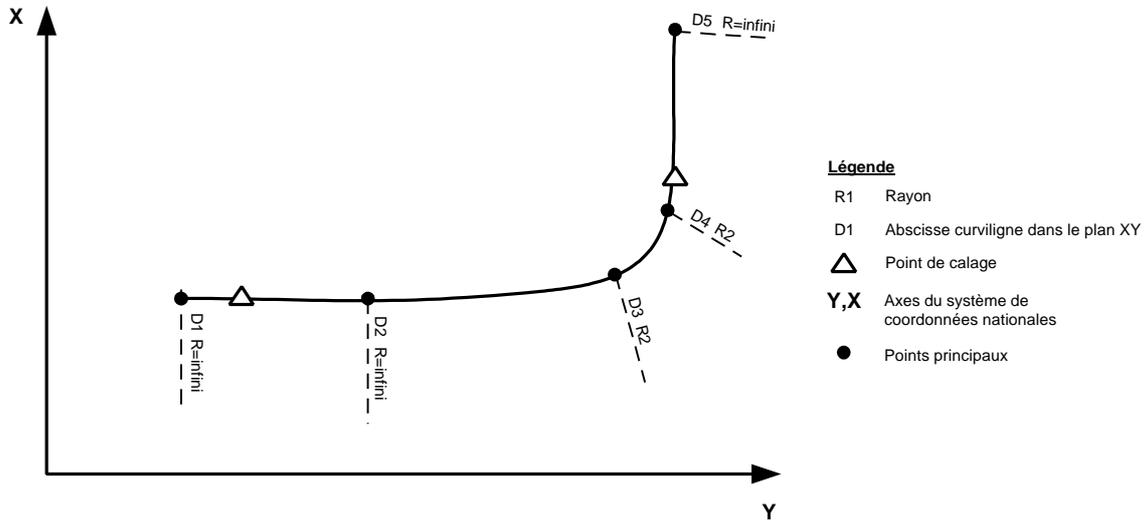


Figure 3-4 : Géométrie horizontale d'un axe routier

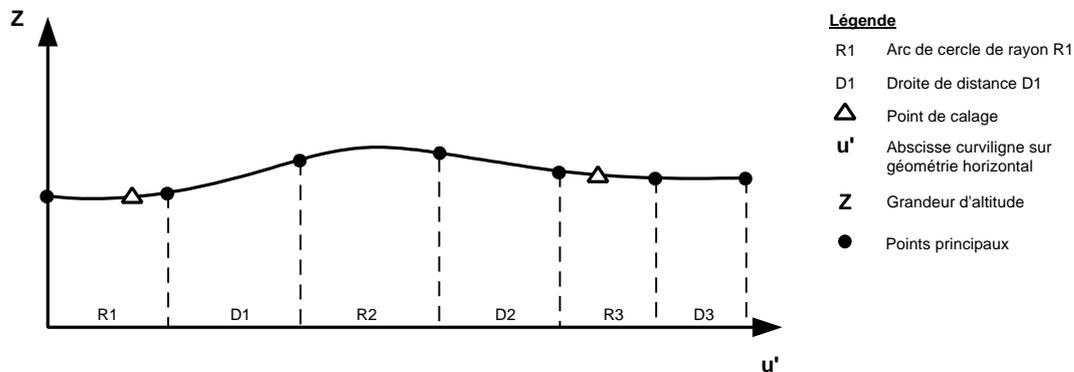


Figure 3-5 : Géométrie verticale d'un axe routier

La BDR s'appuie sur un repérage linéaire, notamment la coordonnée u , sans prendre en considération la dimension verticale. La géométrie verticale gagnera certainement de l'importance pour des analyses du tracé routier d'une part et d'autre part quand la hauteur sur la chaussée w est levée pour des objets tels que par exemple l'éclairage, la hauteur de tunnels, etc.

La géométrie horizontale est composée de segments de droites, de clothoïdes et d'arcs de cercle alors que la géométrie verticale est composée uniquement de segments de droite et d'arcs de cercle.

Les géométries horizontales des axes routiers sont décrites par trois entités :

- Entité "**Géométrie**" contient tous les éléments de base pour la projection de la géométrie des axes, il décrit la procédure du levé de la géométrie (la méthode de numérisation). En plus, il contient

une échelle. Par conséquent, on peut avoir pour un seul axe plusieurs géométries qui dépendent de la méthode de numérisation et de l'échelle du plan de base.

- Entité "**Segment de géométrie**" : une partie continue d'une géométrie.
- Entité "**Élément de géométrie**" : positionne une unité géométrique (segment de droite, arc de cercle, etc.) dans l'espace cartésien et décrit sa forme géométrique. Elle contient les coordonnées X, Y du point de départ de l'élément, sa longueur, son type et d'autres attributs dont la signification dépend du type :

Type d'élément	Paramètre 1	Paramètre 2	Paramètre 3	Paramètre 4
Droite	Distance	Azimut	0	0
Cercle	Distance	Azimut	Rayon	0
Clothoïde	Distance	Azimut	Rayon	Paramètre A
Equation cubique	Distance	Pas encore défini	Pas encore défini	Pas encore défini

Tableau 3-1 : Différentes entités géométriques

Par azimuth on entend l'angle entre la direction de l'élément et la direction du nord géographique. Il est indiqué en grade et varie entre 0 et 400 grades. Il est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre. De plus, un rayon est positif si le centre du cercle (ou clothoïde) est à droite de la direction de l'élément, négatif si le centre du cercle (ou clothoïde) est à gauche de la direction de l'élément. Pour le paramètre de la clothoïde, le signe est aussi important. Il est positif pour une courbure croissante, négatif pour une courbure décroissante.

Chaque élément horizontal doit être accompagné par un numéro de séquence. Cette séquence représente la direction pour un ensemble d'éléments horizontaux.

3.2 Définition de géométries d'axe

La description de la géométrie des axes routiers est indispensable pour la transformation de coordonnées entre le système de repérage linéaire (u,v) et le système de repérage planaire (X,Y(Z)). D'une part, la géométrie permet de transformer des coordonnées X,Y levées par la méthode GPS en coordonnées u,v, d'autre part elle permet également de transformer les coordonnées u,v levées à l'aide d'une roulette en X,Y.

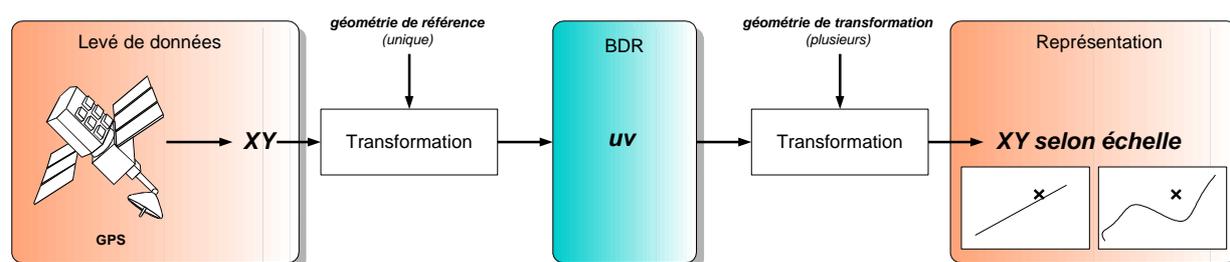


Figure 3-6 : Etapes de transformation "u,v" et "X,Y"

Admettons que les objets routiers sont levés par GPS. L'utilisateur obtient, en temps réel ou en post-traitement, la position de l'objet en coordonnées X, Y, Z. Afin de pouvoir stocker la position de l'objet dans la base de données routières, il faut transformer les coordonnées X,Y,Z en coordonnées u,v. Lors de cette opération, il faut respecter les exigences de précision pour u et v telles qu'elles sont prescrites dans la base de données.

Ces exigences de précision peuvent uniquement être assurées si le changement de coordonnées s'appuie sur une géométrie de l'axe suffisamment précise. Cette géométrie est appelée **géométrie de**

référence. Pour un axe de maintenance donné, l'utilisateur doit disposer d'une seule géométrie de référence afin d'assurer l'univocité de la transformation.

Une fois les données routières stockées dans la base de données, l'utilisateur a la possibilité de représenter ces données sur des fonds de plan à des échelles différentes. Les fonds de plan sont établis dans un système de coordonnées planaires X,Y. Afin de représenter les données routières sur un tel plan, il faut les traduire dans le même système de coordonnées X,Y.

Par conséquent, la transformation des coordonnées u,v dans l'espace X,Y du plan doit correspondre au degré de généralisation du fond de plan. La géométrie utilisée est appelée une **géométrie de représentation**. On peut envisager plusieurs géométrie de représentation selon les différents fonds de plan utilisés qui ont leur propre échelle et leur degré de généralisation.

Définition

Par géométrie d'axe, on entend la description vectorielle de la position et de la forme géométrique de l'axe routier. La localisation de l'axe est effectuée dans un système de coordonnées planaires (X,Y), en l'occurrence le système Suisse (X,Y).

De plus, il convient de distinguer deux types de géométries différents :

- La **géométrie de référence** permet de transformer les coordonnées X,Y,(Z) du terrain en u,v et vice versa. C'est une géométrie tridimensionnelle.
- La **géométrie de représentation** permet de transformer les coordonnées X,Y d'une représentation cartographique en u,v et vice versa.

Le libre choix de la méthode de levé d'objets routiers souhaité par le gestionnaire routier exige que plusieurs systèmes de repérage soit gérés. Les méthodes de levé par roulette fournissent des coordonnées curvilignes alors que la digitalisation ou le levé par satellite ou par théodolite fournissent des coordonnées X,Y. Néanmoins, le système de repérage primaire pour repérer les objets routiers reste le système de repérage linéaire.

Afin de soutenir les processus du SGE de manière optimale, le gestionnaire routier doit pouvoir générer des représentations cartographiques des données routières à plusieurs échelles. Pour des analyses détaillées, il souhaite superposer les données routières sur un plan cadastral d'une échelle de 1:500. Pour une vue plus globale du réseau, il souhaite superposer ces données sur une carte nationale d'une échelle du 1:25'000 jusqu'au 1:500'000.

Les données routières doivent être représentées de manière à ce qu'elles correspondent bien au degré de généralisation du fond cartographique, qui peut différer selon l'échelle de la carte. Par conséquent, seule une transformation à l'aide d'une géométrie d'axes routiers avec le même degré de généralisation que la carte en question permet d'assurer cette correspondance.

Ainsi, le gestionnaire routier doit gérer plusieurs géométries de transformation pour pouvoir générer des représentations cartographiques à toutes les échelles. Il doit veiller à n'utiliser qu'une seule géométrie de transformation par fond cartographique.

Quant à la géométrie de référence, elle doit rester unique puisqu'elle seule représente la géométrie de l'axe routier réel sur le terrain. Elle est utilisée pour transformer des coordonnées "X,Y(Z)" levées sur le terrain en coordonnées "u,v". La coexistence de plusieurs géométrie de référence rendrait la transformation ambiguë. Il faut éviter qu'un couple de coordonnées "X,Y" du terrain puisse être transformé en plusieurs couples de coordonnées "u,v" en s'appuyant sur différentes géométries de référence.

3.3 Critères de qualification de la géométrie

La précision n'est pas le seul critère pour qualifier une géométrie d'axe de référence. Elle peut être classifiée par les caractéristiques suivantes⁸ :

- **Exactitude** : C'est la conformité d'un résultat d'observations à une valeur considérée comme « vraie » dont la conformité doit être définie par une limite de tolérance.
- **Précision** : C'est l'écart entre plusieurs mesures d'un phénomène, effectuées dans les mêmes conditions et à l'aide de la même technique de mesure. Un phénomène qui est mesuré plusieurs fois est souvent décrit par une moyenne et un écart-type.
- **Fiabilité** : la théorie de la fiabilité est basée sur l'hypothèse qu'une seule mesure peut être entachée d'une faute grossière. Une mesure est fiable si elle est contrôlée une ou plusieurs fois.
- **Mise à jour** : une mesure est mise à jour si elle a été réactualisée lors d'un changement de la réalité.
- **Degré de généralisation** : une géométrie d'axe ne doit pas toujours décrire la forme exacte de la réalité. Elle peut être simplifiée afin de correspondre au degré de détail nécessaire pour son exploitation.

- **Exactitude**

Toutes les données utilisées pour la gestion de l'entretien routier sont admises exactes. Les données inexactes ne sont pas gérées.

- **Précision**

Selon la norme SN 640'910, la géométrie est classifiée de la manière suivante :

- **très grossière** : ligne polygonale entre les projections des points de repère
- **grossière** : ligne polygonale entre les points digitalisés de l'axe
- **fine** : géométrie de l'axe au plus juste constituée de droites et d'arcs de cercles
- **très fine** : géométrie de l'axe constituée de droites, d'arcs de cercles et de clothoïdes, pouvant correspondre dans le meilleures des cas à la géométrie réelle.

Le projet AGRAM doit répondre à la question d'adéquation de cette classification de la géométrie d'axe en précisant les critères.

- **Fiabilité**

La fiabilité peut être assurée en effectuant des mesures indépendantes et surabondantes de la même grandeur sans fautes.

Dans le domaine de l'entretien routier, des mesures indépendantes et surabondantes sont rarement réalisées parce qu'une faute isolée ne peut pas mettre en question toute la gestion de l'entretien routier. Une donnée routière n'a pas une importance économique ou juridique comme c'est le cas pour la mensuration officielle. Dans certains processus métier, il faut cependant prendre des précautions pour détecter une faute car elle peut avoir une incidence importante sur une décision.

La fiabilité peut être augmentée en ajoutant par exemple des informations sur la source de la donnée, la date et le responsable du levé.

⁸ Golay, Oggier, Gilgen (2000): SYRROU, systèmes de repérage spatial des données routières, annexe 10, définition des critères d'évaluation de la qualité des données.

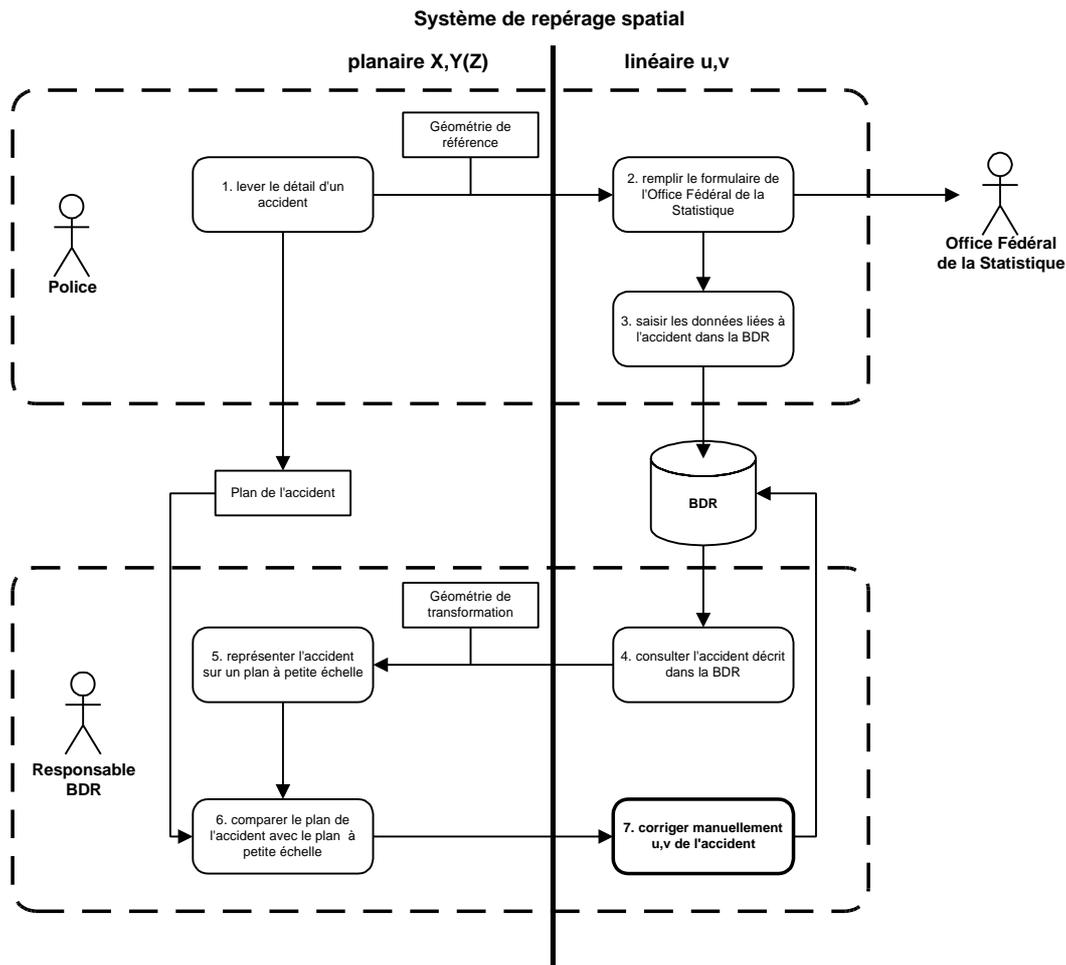


Figure 3-7 : cohabitation de deux systèmes de repérage

La figure ci-dessus illustre la notion d'exactitude liée à un événement qui peut être localisé dans deux systèmes de repérage différents.

Après un accident important, la police procède à un levé détaillé de la zone de l'accident. Pour cela, elle localise les véhicules, les traces de freinage et le contexte géographique. Le report de ces données sur un plan permet de disposer d'une « image » de la scène de l'accident pour les besoins juridiques. De plus, la police est obligée de transmettre les données liées à l'accident, repéré dans le système linéaire, à l'Office fédéral de la statistique. Ces données peuvent également être introduites dans la BDR afin d'inventorier le levé effectué par la police. Pour cela, il est préférable que le passage du système de repérage planaire (plan de l'accident) au linéaire (kilométrage) soit réalisé à l'aide de la géométrie de référence.

Admettons que le responsable de la BDR produise son propre plan de l'accident à petite échelle. Sur ce dernier, il constate un décalage du lieu de l'accident par rapport au plan établi par la police. Sur cette base, il pourrait corriger les coordonnées curvilignes (ou kilométrage) de l'accident dans la BDR. Une telle opération serait dangereuse car elle se base sur des données cartographiques moins précises que celles utilisées par la police. Afin de l'éviter, la provenance des données issues de la BDR doit être décrite à l'aide de métadonnées associées à la base de donnée routière.

La notion de fiabilité des données doit être gérée dans la BDR, notamment pour la géométrie de référence dont l'inexactitude peut générer des erreurs sur les coordonnées u,v.

- **Mise à jour**

La mise à jour du repérage spatial des données routières est souvent faite de manière systématique, notamment lors d'une modification importante de la réalité. La fin d'un chantier peut provoquer une procédure de mise à jour.

La mise à jour de la géométrie de transformation doit être faite au moment du changement du fond cartographique utilisé pour la représentation. La mise à jour de la géométrie de référence s'avère plus difficile. Elle peut être déclenchée par la modification du tracé routier (correction). Si la géométrie de référence a été levée sur la base de sources de données existantes, sa mise à jour dépend de la mise à jour des diverses sources.

- **Degré de généralisation**

Une carte à petite échelle (par exemple 1:200'000) ne représente pas les objets spatiaux avec un même degré de détail qu'un plan à grande échelle (par exemple 1:500). La forme géométrique des objets spatiaux a été simplifiée pour des raisons de lisibilité, la position a été modifiée pour mettre en avant des objets d'une importance plus élevée, les objets ont été alignés pour des raisons d'esthétique et quelques objets ont été supprimés en raison de leur faible importance. La représentation des données routières sur des cartes à petite échelle devrait suivre les mêmes règles qui ont été consultées pour l'établissement de la carte. Ce sont les règles de généralisation. C'est pour cela qu'une géométrie ne doit pas forcément représenter la forme de l'axe routier en réalité.

3.4 Modélisation de la géométrie de référence et influence sur la précision

3.4.1 Modélisation de la géométrie de référence

La géométrie de référence est composée des éléments suivants :

- Semis de points levés sur l'axe, exprimé par rapport au système de repérage planaire. Les points peuvent décrire la géométrie de référence à l'aide de coordonnées X,Y et Z ou de manière indépendante en séparant la composante horizontale et la composante verticale de la géométrie de référence.
- Les fonctions d'interpolation entre ces points sont décrites à l'aide de divers paramètres (orientation, distance, courbure)

La géométrie de référence doit représenter la géométrie de l'axe sur le terrain. Lors de la conception d'une route, l'axe routier est composé de clothoïdes, de droites et d'arcs de cercle en situation horizontale et de droites et d'arcs de cercle pour le profil vertical. Cet axe appelé axe de construction ne correspond pas à l'axe de maintenance – axe relevant pour le SGE. Les différences principales se situent dans les virages de la route où le concepteur a ajouté des surlargeurs après le calcul du projet routier.

L'axe de construction ne peut plus être localisé sur la route après les travaux de construction. Néanmoins, le déplacement des usagers de la route suit toujours une courbe composée de droites, clothoïdes et d'arcs de cercle. Ainsi, on peut admettre que l'axe de maintenance étant défini comme la ligne séparatrice des sens de circulation correspond également à une courbe de ce type.

La géométrie de référence idéale doit répondre aux critères suivants:

- **Exactitude** : la géométrie de référence doit correspondre au tracé routier sur le terrain. Elle doit être conforme à la réalité. Elle est exacte.
- **Précision** : la précision de la géométrie de référence doit être tel que la transformation X,Y de terrain en u,v ne produisent pas d'erreurs dépassant les exigences de l'utilisateur.
- **Fiabilité** : la géométrie de référence doit respecter des critères de fiabilité sur le plan de la topologie et de la localisation.
- **Mise à jour** : la géométrie de référence doit être régulièrement mise à jour. Cette opération doit être simple à exécuter.

- **Degré de généralisation** : la géométrie de référence ne contient pas d'effets de généralisation

A ces critères de qualité de la géométrie s'ajoutent des critères de gestion et d'exploitation:

- **Génération aisée de géométries de représentation** : en plus de la transformation, elle devrait servir également à produire des géométries de représentation utile pour projeter les objets routiers sur des plans à grande échelle.
- **Calcul des caractéristiques géométriques du tracé** : pente, courbure, etc.
- **Univocité de la transformation** : la transformation doit être biunivoque. La géométrie de référence ne doit pas disposer de zones où la projection d'une coordonnées X,Y sur cette dernière est ambiguë (la deuxième dérivée doit être zéro.)
- **Calcul des longueurs de secteurs**

La géométrie de référence est en principe tridimensionnelle, soit sur la base de points de l'espace (X,Y,Z), soit sur la base d'éléments planimétriques associés à un facteur de calage. Afin de mieux structurer l'analyse de la modélisation de la géométrie, il convient d'examiner la géométrie horizontale et la géométrie verticale séparément.

Modélisation de la géométrie horizontale

- **Variante H1** : séquence de points reliés par des droites. Chaque point est décrit par un couple de coordonnées X,Y.
- **Variante H2** : séquence de points reliés par des droites et des arcs (cas de la mensuration officielle pour les limites de propriété)
- **Variante H3** : séquence de points reliés par des droites, arcs et des clothoïdes. Cette modélisation correspond à celle utilisée dans la conception des tracés routiers.
- **Variante H4** : séquence de points reliés par des fonctions mathématiques (par exemple des splines)

Modélisation de la géométrie verticale

- **Variante V1** : séquence de points reliés par des droites. Chaque point est décrit par un triplet de coordonnées u' et Z.
- **Variante V2** : séquence de points reliés par des droites et des arcs
- **Variante V3** : séquence de points reliés par des fonctions mathématiques (par exemple des splines)

Modélisation tridimensionnelle

La dernière variante 3D consiste à décrire la géométrie de référence par une séquence de points localisés dans l'espace tridimensionnel à l'aide de coordonnées X,Y et Z, reliés par des segments de droite ou par des splines.

Pour l'acquisition de la géométrie de référence, la modélisation par des droites (variante H1 et V1) est la mieux adaptée. Les données selon cette modélisation peuvent être fournies par des méthodes d'acquisition précises ou par la récupération de données numériques de qualité. Leur mise à jour peut être assurée de manière simple.

La modélisation pour l'exploitation de la géométrie de référence n'est pas forcément identique à celle utilisée pour l'acquisition. Une analyse détaillée sera nécessaire pour déterminer les modèles de géométrie adéquats pour l'exploitation de la géométrie de référence. Cette proposition sera reprise dans les conclusions du rapport (chap. 8).

3.5 Concept de transformation X,Y,Z en u,v,w

3.5.1 Concept général

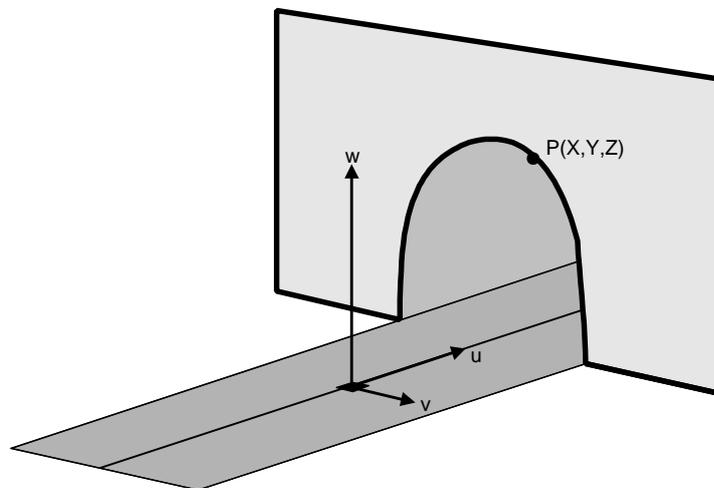


Figure 3-8 : Situation généralisée

La figure ci-dessus montre une situation réelle lors d'un levé d'un objet routier symbolisé par le point P. Cet objet ne doit pas forcément se situer sur la chaussée, par exemple un éclairage dans un tunnel. Pour cela, on introduit l'axe w au système de coordonnées du SRB pour prendre en compte la dimension de la hauteur. Ce nouveau système de coordonnées n'est pas orthogonal, c'est à dire que l'axe w n'est pas perpendiculaire à l'axe u et à l'axe v du système de coordonnées curvilignes. La position de l'objet P peut être levée par rapport à un système de repérage planaire X,Y complété par une coordonnée Z permettant de représenter la dimension de hauteur. Pour des raisons de gestion et d'exploitation, les gestionnaires routiers doivent disposer des données de repérage spatial exprimées en u,v et w.

Pour la transformation des coordonnées X,Y,Z en u,v,w, deux variantes peuvent être prises en considération:

- **Variante 1:** Utilisation de la géométrie de référence horizontale et des points de calage pour le calcul de la coordonnée u. (voir Figure 3-9)
- **Variante 2:** Calcul de u directement à partir de la géométrie de référence tridimensionnelle (voir Figure 3-10)

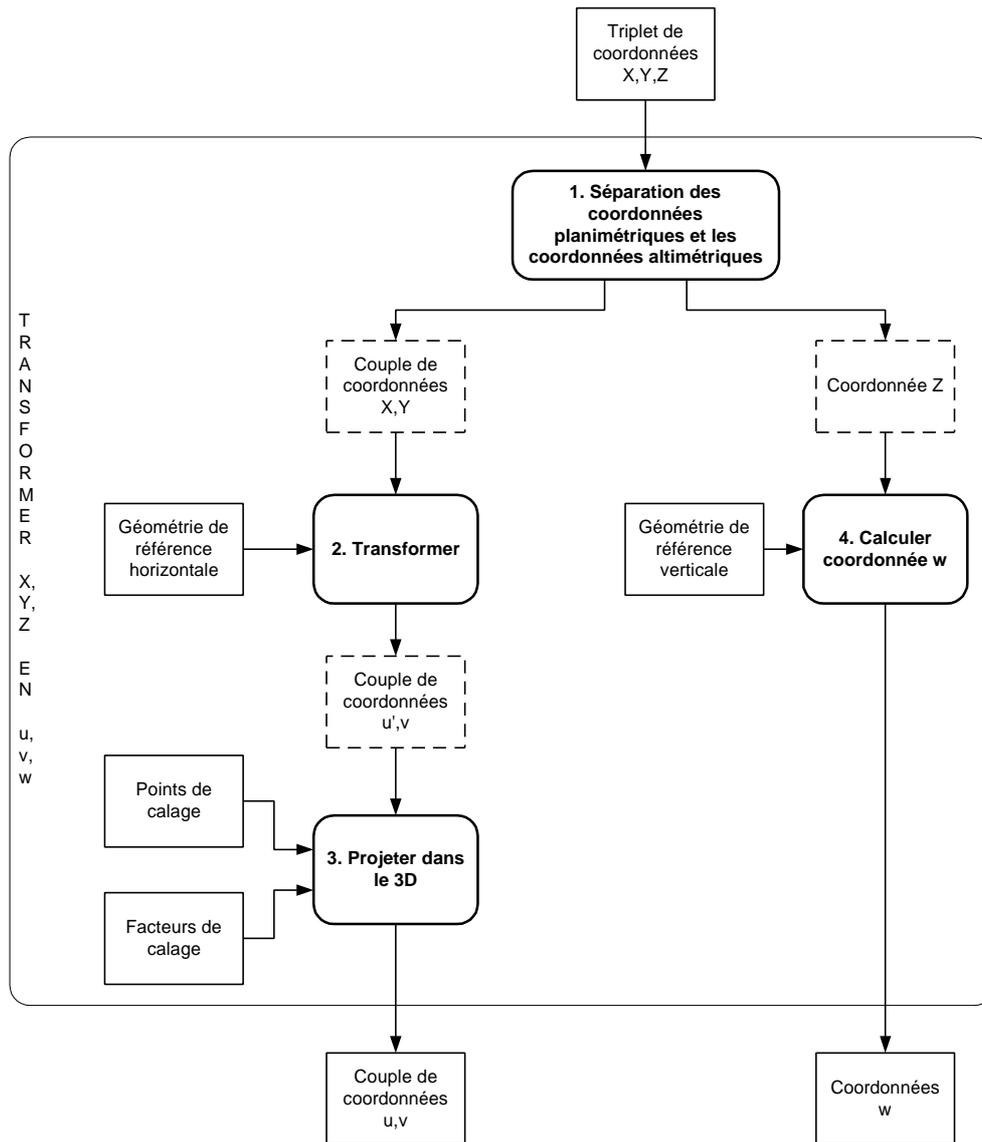


Figure 3-9 : Variante 1 pour la transformation X,Y,Z en u,v,w

La variante 1 suppose que les composantes horizontale et verticale de la géométrie de référence soient gérées et par conséquent que les points de calage nécessaires soient gérés et les facteurs de calage soient calculés auparavant.

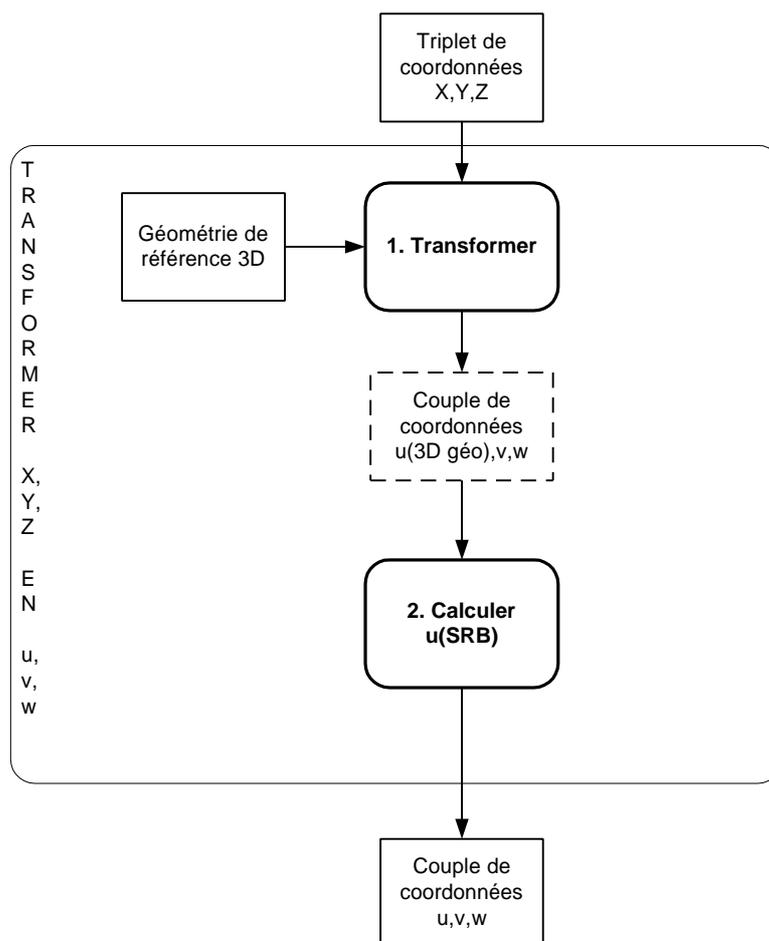


Figure 3-10 : Variante 2 pour la transformation X,Y,Z en u,v,w

La variante 2 consiste à calculer la distance curviligne 3D sur la géométrie de référence tridimensionnelle en accumulant les distances obliques de chaque élément de géométrie précédant la projection du triplet de coordonnées X,Y,Z sur la géométrie de référence. Pour cela, la géométrie de référence doit être modélisée par une séquence de points reliés par des droites.

La distance u tridimensionnelle calculée sur la géométrie de référence devra théoriquement être identique à la distance $u(\text{SRB})$. Ainsi, l'étape de calcul du $u(\text{SRB})$ ne devra pas avoir lieu. Pour des raisons pratiques ou de mise à jour, un ajustement de distances pourrait être nécessaire.

La variante 1 s'intègre plus facilement dans la conception des systèmes de gestion de la BDR actuelle. De plus, elle n'exclut pas de modèles de géométrie de référence. Pour ces raisons, il convient d'adopter la variante 2 pour la transformation X,Y,Z en u,v,w.

3.5.2 Influence de la modélisation sur la précision de la transformation

La géométrie de référence, permet de transformer les coordonnées « X,Y(Z) » levées sur le terrain en coordonnées linéaires « u,v ». Les coordonnées « X,Y(Z) » levées sur le terrain sont entachées d'une certaine erreur qui est la résultante de la méthode utilisée et des conditions de mesures. Cette incertitude due à la détermination en coordonnées « X,Y,(Z) » est également reportée lors de la transformation de l'espace planaire vers l'espace linéaire. Dans cette transformation, il faut également tenir compte de l'incertitude de la géométrie de l'axe de maintenance. Il convient de distinguer les sources d'erreurs suivantes :

- La mesure des coordonnées X,Y(Z) réalisée à l'aide d'une méthode topométrique

- La géométrie de référence des axes de maintenance
- La mesure des coordonnées u,v enregistrées dans la BDR.

La propagation d'erreurs lors de la transformation « X,Y » en « u,v » peut être influencée par la modélisation de la géométrie et par l'algorithme de transformation. Sans transformation, la précision obtenue sur les objets dépend directement de la méthode de levé.

Dans un tel processus, il faut s'assurer que l'estimation des incertitudes liées aux méthodes de levé est du même ordre de grandeur et compatible avec la précision de la géométrie de référence.

La propagation des erreurs lors de la transformation dépend de l'algorithme de transformation. Il faudra s'assurer que les fonctions utilisées dans l'algorithme sont continues et ne biaisent pas la propagation d'erreurs.

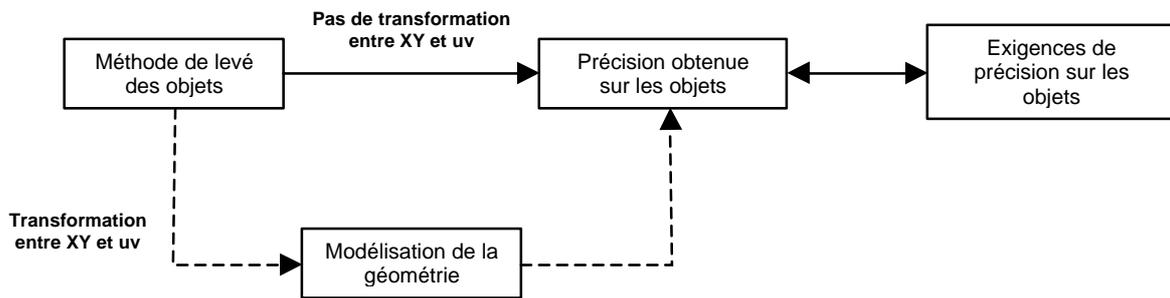


Figure 3-11 : Cheminement des étapes d'acquisition des données routières

Les coordonnées u,v peuvent également être mesurées directement sur le terrain à l'aide de la roulette ou du ruban métrique. Dans ce cas, les coordonnées u,v seront entachées des erreurs instrumentales et des conditions du levé. Le résultat de la transformation des coordonnées « u,v » en coordonnées « X,Y » est influencée par l'incertitude liée au levé original et la précision de la géométrie de référence.

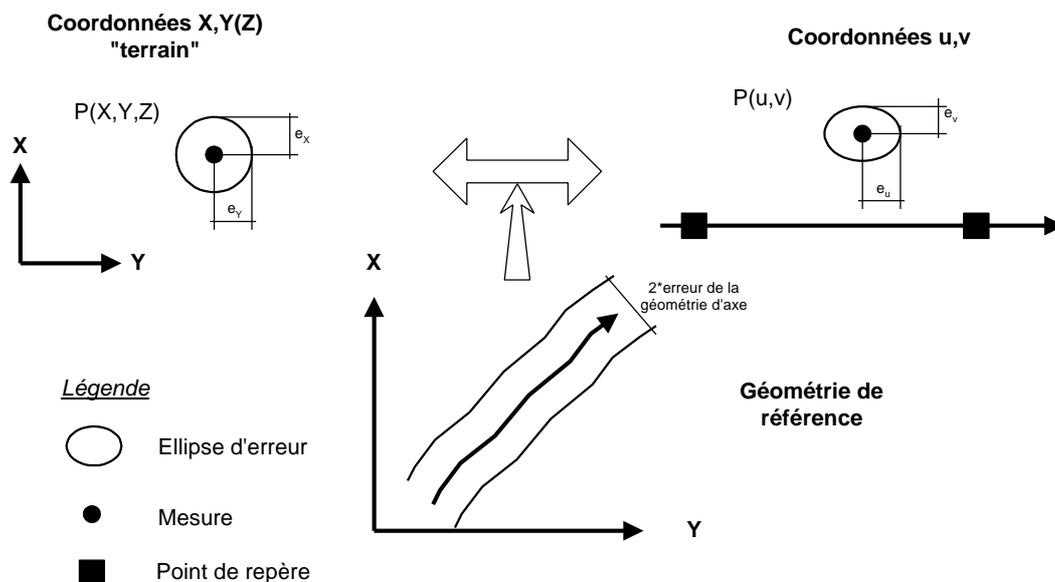


Figure 3-12 : Principe de propagation des incertitudes dans la transformation

La précision de la géométrie de l'axe de maintenance est également influencée par les paramètres suivants :

- **Précision des points** levés sur l'axe routier
- **Densité des points** levés sur l'axe routier
- **Fonctions d'interpolation** entre les points levés

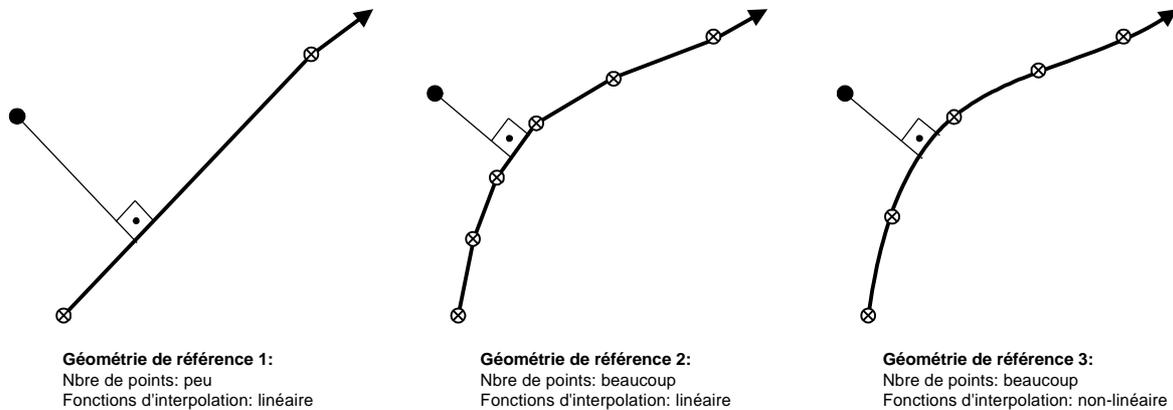


Figure 3-13 : Divers types de géométrie de référence

Les influences des paramètres mentionnés ci-dessus sur la précision de la transformation ne sont pas indépendantes. Le nombre de points doit être plus élevé pour une géométrie avec des fonctions d'interpolation linéaires que pour une géométrie avec des fonctions d'interpolation non linéaires si elle doit respecter la même précision. Un lacet peut être décrit par un arc de cercle délimité par deux points alors qu'il doit être décrit par de nombreux segments de droite dans le cas où la géométrie doit être décrite par des segments de droite (variante 2).

La modélisation des géométries de transformation dépend de la source et de la méthode de levé. Ces modélisations peuvent être utilisées à des fins de gestion de l'entretien routier. Par contre, un choix judicieux doit être fait pour la définition de la géométrie de référence. Le chapitre suivant illustre les différentes méthodes utiles pour l'acquisition des géométries.

4 Méthodes d'acquisition de la géométrie

Parmi les méthodes d'acquisition de la géométrie des axes de routes, on peut distinguer celles qui procèdent directement à un levé sur le terrain (acquisition initiale) et celles qui utilisent des données géoréférencées existantes afin d'en dériver la géométrie de l'axe (acquisition dérivée). Pour l'acquisition dérivée, on présente un inventaire des sources de données géographiques existantes qui sont potentiellement utilisables pour restituer la géométrie des axes. Pour l'acquisition initiale, on établit un inventaire des technologies d'acquisition adaptées au domaine spécifique du levé routier.

4.1 Sources de données géographiques

L'axe de la route, qui supporte le système de repérage linéaire, peut être défini dans le système de repérage planaire : définir la géométrie de l'axe signifie connaître le tracé de l'axe de la route dans le système de repérage planaire. Quelles sont les données à disposition ?

On peut de façon générale classer les types de données géographiques selon le schéma ci-dessous :

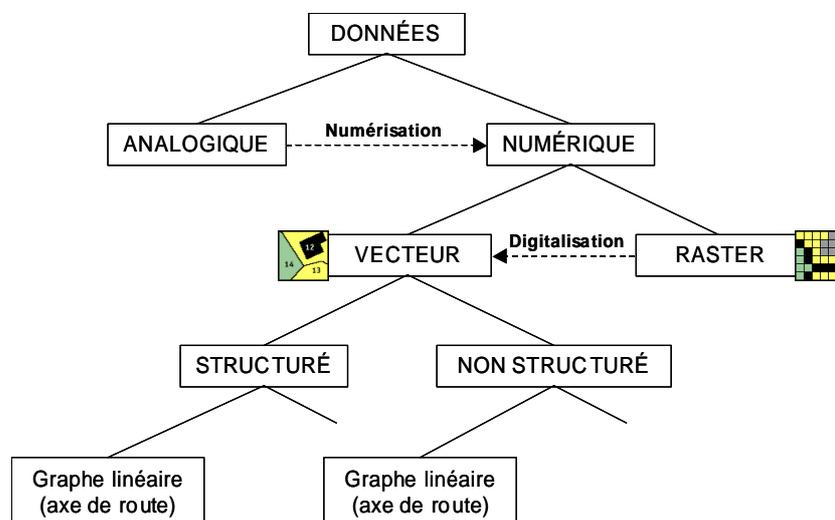


Figure 4-1 : Types de données géographiques

Les données géographiques susceptibles d'être utilisées dans le cadre de l'acquisition de la géométrie des axes de maintenance sont les suivantes (entre parenthèses quelques exemples de produits ou producteurs relatifs aux différents types de données) :

DONNÉES RASTER

- Orthoimage (SWISSIMAGE)
- Image aérienne
- Image satellitaire à très haute résolution (IKONOS, QuickBird, OrbView)
- Cadastre raster
- Carte-pixel (CP25)
- Plan d'ensemble raster

DONNÉES VECTEUR

- Cadastre numérique
- Modèle de paysage (VECTOR25)
- Plan d'ensemble vecteur
- Données routières pour la navigation (Tele Atlas, NAVTECH)

- Données routières pour l'entretien
- Plans de construction et d'exécution
- Plan conforme (i.e. plan de l'ouvrage exécuté)

L'annexe A présente les caractéristiques détaillées des différentes données présentées ci-dessus, afin d'être en mesure d'en évaluer le potentiel pour un concept d'acquisition de la géométrie de référence des axes de maintenance, selon des critères définis au paragraphe 4.3. Les caractéristiques sont classées selon le schéma ci-dessous :

Structure

- Type
- Structure générale
- Structure du réseau routier
- Axe de route (graphe linéaire)

Origine (Données de base)

Spatial

- Référentiel / système de coordonnées
- Echelle (de base ou d'utilisation)
- Précision
- Résolution
- Couverture spatiale

Temporel

- Mise à jour
- Evolution du produit

Accessibilité

- Source
- Disponibilité
- Prix indicatif

Les organismes producteurs de données (source) sont essentiellement :

Administrations publiques

- Confédération (Office fédéral de topographie S+T)
- Cantons (routes, ponts et chaussées, cadastre, SIT)

Sociétés privées

- Images aériennes (S+T, Swissphoto, etc.)
- Images satellitaires (Space Imaging, DigitalGlobe, Orbimage, etc.)
- Données de navigation (Tele Atlas, NAVTECH)

4.2 Technologie d'acquisition de données géographiques

Au-delà des méthodes d'acquisition basées sur des données existantes (acquisition dérivée), il faut aussi prendre en compte les technologies permettant d'obtenir des données géoréférencées directement à partir de mesures in situ. De façon générale, on peut grouper ces technologies en quatre catégories :

- Photogrammétrie, vidéogrammétrie et traitement d'images
- Topométrie
- Méthodes spatiales (par ex. le Global Positioning System ou GPS)
- Méthodes mixtes (par ex. les systèmes de levé topométrique mobiles ou Mobile Mapping System)

L'annexe B décrit plus en détail les diverses technologies d'acquisition mentionnées ci-dessus.

4.3 Critères d'évaluation

Beaucoup de données géographiques sous forme numérique existent. Il s'agit de pouvoir évaluer quelles données, ou quelles combinaisons de données, peuvent répondre aux besoins des différents utilisateurs dans le domaine routier, et en particulier dans le domaine de la gestion de l'entretien. Les critères à prendre en compte sont notamment la précision / résolution, la couverture, la disponibilité et la mise à jour.

- Critères de **qualité** : lors de l'utilisation de données graphiques, l'échelle de la carte et sa date de mise à jour dictaient implicitement certains paramètres de qualité. Avec les données numériques, il s'agit de définir des critères spécifiques comme la précision, la résolution, et la fiabilité (c.f. Chap. 3.3).
- Critères de **saisie** : avec les appareils classiques de la mensuration, il était aisé d'établir des critères liés à l'acquisition des données. Aujourd'hui avec l'évolution des technologies et la diversité des sources d'information, ces critères doivent être définis avec en connaissance de cause. Comme exemple, on peut citer les limites du système GPS dans des régions à fortes obstructions (forêts, villes), les restrictions lors d'opérations de digitalisation sur une orthophoto (visibilité, identification).
- Critères de **disponibilité** : de nombreux serveurs de données spatiales rendent l'accès aux données plus facile, mais il n'est pas toujours aisé de connaître les conditions d'accès à ces données ainsi que les droits d'utilisation. Ceci est d'autant plus vrai lorsqu'il s'agit de combiner diverses sources de données.
- Critères de **mise à jour** : la date de mise à jour seule ne suffit pas, encore faut-il connaître la fréquence et les objets qui sont régulièrement actualisés.
- Critères de **coût** : c'est certainement le critère qui sera déterminant pour le choix d'une méthode ou d'une source de données. Dans ce sens, l'évaluation des coûts de la première acquisition est importante, mais il ne faut pas sous-estimer les coûts engendrés par la maintenance des données d'origine.

4.4 Evaluation des méthodes d'acquisition

Afin de suivre la définition et les principes de modélisation de la géométrie d'axe (cf chap. 3), l'utilisation de données raster implique dans tous les cas une restitution de la géométrie pour en obtenir une description vectorielle (restitution par photogrammétrie ou par digitalisation sur la base d'orthoimages). L'utilisation de données vectorielles présente deux cas de figures principaux : soit les données sont structurées de telle façon que l'axe de la route est défini et sa géométrie connue, soit elles sont structurées mais la géométrie des routes n'est pas définie par leur axe. Dans le deuxième cas, il s'agit de passer par une étape supplémentaire afin de dériver la géométrie de l'axe à partir des éléments géométriques connus (par exemple les deux bords de la chaussée, décrits sous forme d'éléments linéaires).

Parmi l'ensemble de données présentées précédemment, les données suivantes contiennent déjà la géométrie de l'axe de la route (graphe linéaire) :

- VECTOR25
- Données routières pour la navigation (Tele Atlas, NAVTECH)
- Données routières pour l'entretien (disponibilité et couverture très variables)

Dans le cas de l'utilisation d'images (aériennes ou satellitaires) comme sources de données, il convient encore d'être attentif aux déformations inhérentes au procédé de prise de vue et à la topographie de la surface terrestre. Toute prise de vue aérienne présente des déformations dues à l'inclinaison de la chambre de prise de vue et au relief du terrain. De ce fait, elle ne possède pas une échelle uniforme. On ne peut pas mesurer des distances comme sur une carte. Ce n'est pas une carte. Bien que certaines

données géographiques peuvent être adaptées localement (région A), des décalages apparaîtront à d'autres endroits de l'image (région B).



Figure 4-2 : Image non rectifiée (à gauche) et ortho-image (à droite)
(Source : Office fédéral de topographie, www.swisstopo.ch)

Les influences de l'inclinaison de la chambre de prise de vue et du relief du terrain peuvent être compensées grâce à l'ortho-rectification. A cet effet il faut utiliser un modèle numérique du terrain, comme par ex. le MNT25. L'image qui en résulte, appelée orthoimage, présente alors une échelle uniforme. Des distances pourront être mesurées comme sur une carte. De plus, d'autres données géographiques (par ex. VECTOR25) pourront être superposées à l'orthoimage sans qu'aucun décalage n'apparaisse. L'ortho-rectification est donc la condition préalable à la saisie de données par digitalisation. L'utilisation d'images (aériennes ou satellitaires) comme sources de données pour l'acquisition de la géométrie des axes par digitalisation nécessite donc de les ortho-rectifier. La précision planimétrique des orthoimages résultantes est fortement dépendante de la qualité du modèle numérique de terrain utilisé pour l'ortho-rectification. La résolution des modèles numériques de terrain et des images disponibles actuellement et couvrant de larges portions de territoire ne permettent guère de garantir une précision moyenne meilleure que le mètre. Localement, il est cependant tout à fait possible que des données de plus haute précision existent (données établies dans le cadre de projets et d'études particuliers, comme par exemple un projet de route de contournement).

4.5 Combinaison de méthodes et de données

L'acquisition de la géométrie peut se baser sur une combinaison de techniques de levé et de données existantes. On peut envisager notamment la combinaison de données raster et vecteur (par ex. orthoimage et cadastre numérique). L'utilisation de données existantes en complément d'un levé de terrain par une technique de Mobile Mapping peut aider au choix des points à conserver pour la définition finale de la géométrie de référence (sur des tronçons rectilignes, les exigences en terme de densité de points sont moins élevées qu'en secteurs sinueux, où l'axe ne peut être représenté qu'avec une densité suffisante de points).

Dans une autre optique, une combinaison de méthodes peut être vue comme la possibilité d'utiliser plusieurs sources de données et/ou techniques de levé, selon leur disponibilité et leur qualité, sur des secteurs de routes différents (par ex. plan d'ensemble sur les secteurs où celui existe à l'échelle 1:5000, et levé GPS sur les autres secteurs). Dans une telle optique, la documentation de la géométrie de référence par des métadonnées adéquates est primordiale afin de connaître les caractéristiques de cette géométrie. L'importance de la route, du point de vue de la gestion de l'entretien avant tout, peut également jouer un rôle dans le choix de la méthode d'acquisition, dans le but d'optimiser le rapport qualité/prix en fonction des exigences de précision pour la route concernée (une route secondaire a des exigences moindres qu'une route principale). Dans ce contexte, une méthode plus « légère » et moins coûteuse peut être valablement envisagée.

5 Expériences d'acquisition de la géométrie

5.1 Levé d'un axe routier par GPS dans le Canton du Jura

Le service des ponts et chaussées du Canton du Jura a mandaté l'institut de géomatique (IGEO) de l'EPFL pour des travaux de topométrie. Il s'agit de la réalisation du levé de l'axe de maintenance d'un tronçon de 25 km dans la vallée de Delémont.

Ce projet s'inscrit dans la mise en œuvre de STRADA-DB pour le canton du Jura avec la réalisation du système de repérage de base (SRB).

5.1.1 Description du système de levé

L'IGEO a développé des outils de topométrie pour le levé cinématique : les systèmes topométriques mobiles (STM). Ces dispositifs de mesures permettent de lever des objets du domaine routier directement depuis un véhicule en mouvement.

C'est un tel équipement qui a été utilisé au Jura afin de mesurer la position des marques jaunes du SRB ainsi que l'axe de maintenance de la route. L'Unité de Topométrie développe ses activités dans le domaine des STM en combinant le GPS avec d'autres moyens de mesure selon les besoins spécifiques de projets. Pour le levé de la géométrie de l'axe de maintenance d'une route, nous utilisons le GPS en combinaison avec un système d'observation vidéo.

Le GPS installé sur un véhicule permet d'enregistrer les coordonnées de sa trajectoire à intervalles réguliers. Il est couplé à une caméra vidéo qui est dirigée contre la chaussée afin de suivre la ligne blanche ou d'autres objets durant le déplacement. (voir annexe B)

5.1.2 Principe de restitution de la géométrie de l'axe de maintenance.

Dans ce projet, on s'intéresse à la localisation des marques jaunes du système de repérage de base (SRB) et à la restitution d'une géométrie de l'axe de la route. Pour cela, le dispositif proposé mesure la position des marques jaunes ainsi qu'un ensemble de points caractérisant l'axe de la route.

Données techniques du système de mesures :

- vitesse moyenne du véhicule : 40 km/h, soit 11 m/s
- rythme des mesures GPS : 5 mesures /sec
- restitution de l'axe : 1 pt chaque 2 m environ

En première approximation, l'axe de maintenance est décrit par l'ensemble des mesures GPS. On peut donc considérer l'axe comme une suite de petits segments de droites. Par la suite, on va tenter de reconstituer la géométrie de l'axe en se basant sur ces observations et sur des algorithmes pour le calcul des primitives géométriques.

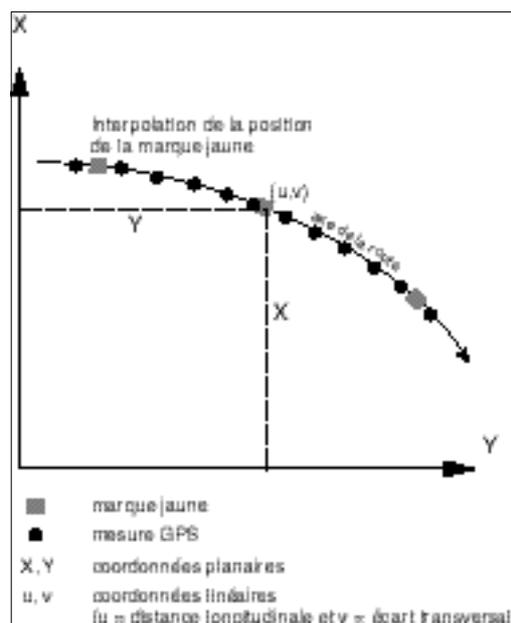


Figure 5-1 : Levé de l'axe par GPS

Pour la restitution des marques jaunes du SRB, on peut envisager deux méthodes.

La première consiste à arrêter le véhicule sur chaque marque et à mesurer ses coordonnées à l'aide du GPS.

La seconde s'effectue en mouvement en s'aidant des images numériques pour interpoler les coordonnées de la marque jaune à partir des mesures GPS de l'axe de la route.

5.1.3 Résultats

Les résultats sont présentés en trois catégories de points : le SRB, la géométrie de l'axe et des mesures complémentaires effectuées à pied par GPS. Une analyse de précision donne une indication de la qualité des coordonnées obtenues par GPS.

Points SRB (marques jaunes)

94 points sur 101 ont pu être mesurés depuis le bus, 6 marques jaunes ont été obtenues par complément terrestre et 1 point n'a pas pu être déterminé. 5 points de l'axe 6110 n'ont pu être déterminés qu'avec une précision de l'ordre de 20 à 30 cm (précision DGPS).

Géométrie

15'000 points ont été mesurés, ce qui correspond à un point tous les 1.5 mètres environ. Les zones où la réception des signaux était faible n'ont pu être déterminées qu'avec une précision de l'ordre de 30 cm.

Certains tronçons présentent encore quelques zones de lacunes. Les deux grands giratoires de Delémont où l'axe de maintenance passe par le centre des voies n'ont pas été mesurés pour des raisons de sécurité.

Mesures de détails

110 points de détails ont été levés afin de compléter les 7 zones d'îlots de présélection ou de sécurité et les 11 giratoires.

Précision

La qualité des coordonnées des marques jaunes peut être appréciée en comparant les 13 marques jaunes du SRB déterminées à la fois par des mesures statiques effectuées depuis le bus et par mesures complémentaires terrestres.

	Erreur. moy en xy	Ecart max en xy	Erreur. moy en z	Ecart max en z
Marques jaunes	± 10 cm	30 cm	± 5cm	18 cm

Tableau 5-1 : Précision du levé des marques jaunes

La qualité de la navigation du véhicule sur l'axe de maintenance peut être caractérisée par les écarts aux points du SRB. Nous avons analysé les distances de chaque point du SRB déterminées par compléments terrestres par rapport aux axes définis par les segments de droites définissant l'axe de maintenance.

	Ecart moy à l'axe	Ecart max
Géométrie	12 cm	25 cm

Tableau 5-2 : Précision du levé de la géométrie

5.1.4 Conclusion

Le levé des marques jaunes du SRB et de la géométrie de l'axe de maintenance à l'aide d'un système topométrique mobile composé d'un GPS et d'une caméra vidéo est concluant. Cet essai sur les routes cantonales du Jura a permis d'obtenir efficacement une géométrie précise de l'axe de maintenance dans des terrains dégagés et dans la plupart des traversées de villages.

La méthode de levé reste à affiner afin de permettre l'utilisation du système dans tous les terrains en y ajoutant un système inertiel, pour prendre le relais du GPS lors d'obstructions. Une automatisation de la restitution de l'axe de maintenance et des marques jaunes du SRB passe par l'enregistrement et le traitement des images numériques. Ces travaux sont en cours à l'institut de géomatique de l'EPFL.

5.2 Digitalisation à partir de plans et cartes

Sur la base du levé GPS effectué dans le canton du Jura, nous avons rassemblé un certain nombre de plans et de documents cartographiques pour effectuer des essais de digitalisation. Ces diverses sources de données sont en effet une aide utile pour la restitution de la géométrie des axes routiers. Dans cette partie expérimentale, il s'agit d'évaluer le potentiel de ces sources de données à des fins d'extraction de la géométrie.

Sources de données

- Carte nationale (CN) au 1:25'000
- Plan d'ensemble du Canton du Jura au 1:10'000
- Orthophoto digitale avec une taille de pixel de 25cm
- Mensuration officielle numérique

Nous avons digitalisé l'axe de la route sur ces différents documents avec une densité de points relative à la sinuosité du tracé. Le tronçon choisi couvre la traversée du village de Courtételle sur une longueur d'environ 3km.

5.3 Analyse de précision

Les points du SRB (marques jaunes) et la géométrie de l'axe relevés par GPS ont servi de référence pour comparer les géométries digitalisées sur les documents cartographiques. Dans chaque cas, les points du SRB ont été projetés sur la géométrie et ainsi nous avons pu calculer les longueurs respectives des secteurs. Nous avons également relevé les écarts latéraux entre la géométrie de référence levée par GPS et les géométries digitalisées.

Digitalisation - longueur des secteurs en mètre						
Pts SRB		bus	CN	ortho 25cm	plan ens.	mens. off.
61	62	248,8	249,3	248,0	248,7	248,0
62	63	250,3	254,2	250,2	251,0	250,5
63	64	249,1	250,8	249,4	249,5	249,2
64	65	250,6	250,2	250,6	250,5	250,6
65	66	247,8	253,4	248,0	248,8	247,8
66	67	232,1	233,2	231,9	232,0	231,9
67	68	256,8	261,4	257,2	259,0	255,6
68	69	244,4	249,4	244,5	244,4	244,4
69	70	250,7	255,5	250,6	250,8	250,6
70	71	249,1	248,8	249,1	249,1	249,0
71	72	250,4	251,4	250,4	251,6	250,4
Longueur		2730,0	2757,6	2729,8	2735,4	2728,2
Nb points		1551	44	50	66	82
Diff. (m)			27,5	-0,2	5,4	-1,9
Diff. (%)			1,0	0,0	0,2	-0,1

Tableau 5-3 : Comparaison des longueurs de secteurs

Dans le tableau de comparaison des longueurs de secteurs, on remarque que les différences sont relativement faibles quelle que soit la source de données. Il faut rappeler que les points du SRB (marques jaunes) sont restitués précisément et qu'ils servent en quelque sorte au « calage » des géométries digitalisées. Ainsi des variations latérales de la position de l'axe ont peu d'influence sur la longueur des secteurs, d'autant plus que le tracé n'est pas très sinueux.

Digitalisation - écarts latéraux				
	CN	ortho 25cm	plan ens.	mens. off
Ecart moyen	2m	0.5m	1m	0.2m
Ecart max	7 à 10m	1.2m	1.5m	0.4m
Remarque : ces écarts sont le résultat d'observations des trajectoires reportées sur la référence donnée par les mesures GPS.				

Tableau 5-4 : Ecarts latéraux par rapport à la géométrie de référence (GPS)

Dans ce cas, on constate des écarts latéraux importants sur la carte nationale (CN). Ceci provient d'effets dus à la généralisation et de certaines corrections de routes qui ne sont pas mises systématiquement à jour. L'exemple suivant illustre un tel cas de figure où la route a été modifiée il y a bien quelques années sans être reportée sur la carte nationale.



Figure 5-2 : Mensuration officielle superposée à la carte nationale
(Source : Office fédéral de topographie, www.swisstopo.ch)

5.4 Conclusion

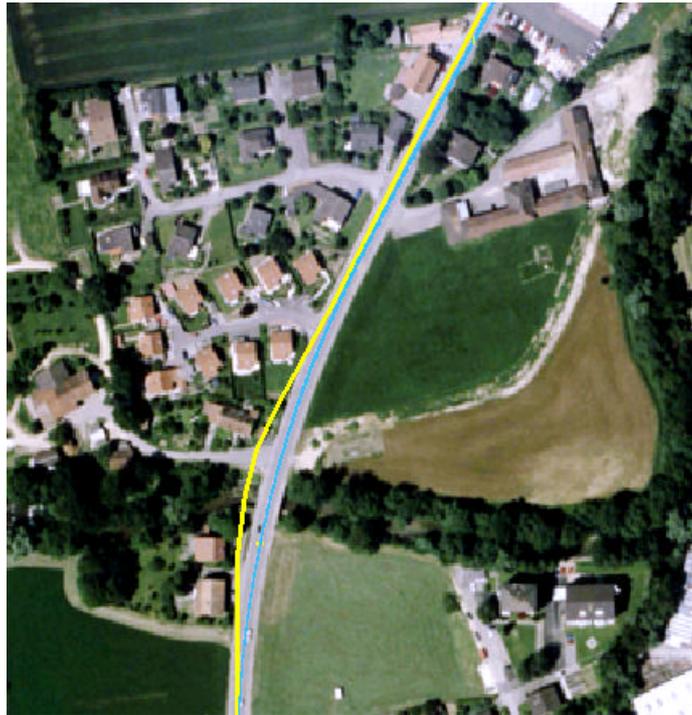
Ces expériences de digitalisation se sont avérées fortes enrichissantes pour notre étude. Elles ont permis de comparer plusieurs situations en superposant les levés provenant de diverses sources de données.

On constate que les documents à petite échelle, comme la carte nationale, ne sont pas une source suffisante pour la restitution des axes de maintenance. Les effets de la généralisation et l'imperfection de la mise à jour ne permettent pas une définition précise de l'axe de maintenance.

L'orthophoto digitale semble être une bonne alternative pour une restitution précise et fiable dans le cas où sa résolution est assez fine. Il faut toutefois que l'espace routier apparaisse distinctement sur l'image et ne soit pas masqué par des constructions ou de la végétation.

L'exemple suivant illustre cette possibilité car on distingue sans ambiguïté le milieu de la chaussée. Il est alors aisé pour l'opérateur de digitaliser les points caractéristiques de l'axe.

Les documents de la mensuration officielle ont une grande valeur géométrique et restituent fidèlement les deux bords de la chaussée. Sur cette base, l'opérateur peut digitaliser le milieu de la chaussée et fournir ainsi une géométrie précise et fiable. C'est certainement une source précieuse d'informations pour le domaine routier. A l'heure actuelle, les données de la mensuration officielle ne sont pas disponibles, dans une forme numérique, dans tous les cantons et les moyens de diffusion des données ne sont pas toujours centralisés. Par contre, il faut préciser que l'ordonnance sur la mensuration officielle (art. 33) spécifie que les données de la MO sont publiques.



**Figure 5-3 : Orthophoto digitale (même secteur que celui de la Figure 5-2)
(Source : République et Canton du Jura)**

Toutes ces digitalisations sont effectuées sur des documents planimétriques, donc sans information altimétrique. L'axe de la route est le résultat d'une projection dont la longueur est variable selon la pente de la route. Il faut donc apporter une correction, en fonction de la pente, pour obtenir une géométrie tridimensionnelle, compatible avec le SRB. Cette interpolation altimétrique est envisageable si l'on dispose de modèles numériques de terrain suffisamment précis.

Résumé

On peut résumer ces expériences avec les points suivants :

- Si les points du SRB (marques jaunes) sont relevés avec précision, ils servent de points d'appui pour la géométrie de l'axe de référence et pour le calcul des longueurs des secteurs.
- Les documents cartographiques à petite échelle ne sont pas assez précis pour digitaliser l'axe de maintenance. Ils peuvent toutefois être une alternative intéressante pour certaines classes de routes.
- Les orthophotos digitales de haute résolution et la mensuration officielle sont des sources précieuses de données dans la mesure de leur couverture et de leur disponibilité. Toutefois, la collecte d'informations et les opérations de digitalisation restent relativement coûteuses.
- Il faut absolument prendre en considération la mesure de l'altitude dans les régions vallonnées et dans les zones de montagnes. Les modèles numériques de haute résolution seront certainement une source d'information utile pour cette question.
- Les méthodes topométriques modernes comme le GPS sont adaptées et efficaces pour le relevé précis de la géométrie des axes et du SRB. Il faut toutefois envisager un dispositif de mesures embarqué dans un véhicule et permettant une grande automatisation des tâches de restitution.

6 Concept pour l'acquisition de la géométrie

Le but de ce chapitre est de proposer un concept qui montre les étapes principales qui sont nécessaires à l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance. Sur la base de l'analyse des besoins, on constate que la géométrie de référence peut être envisagée comme un complément efficace au SRB. C'est la « colonne vertébrale » de la base de données routières qui permet de communiquer de manière fiable avec diverses bases de données géographiques. C'est également le moyen indispensable pour utiliser efficacement les nouvelles techniques de localisation comme le GPS.

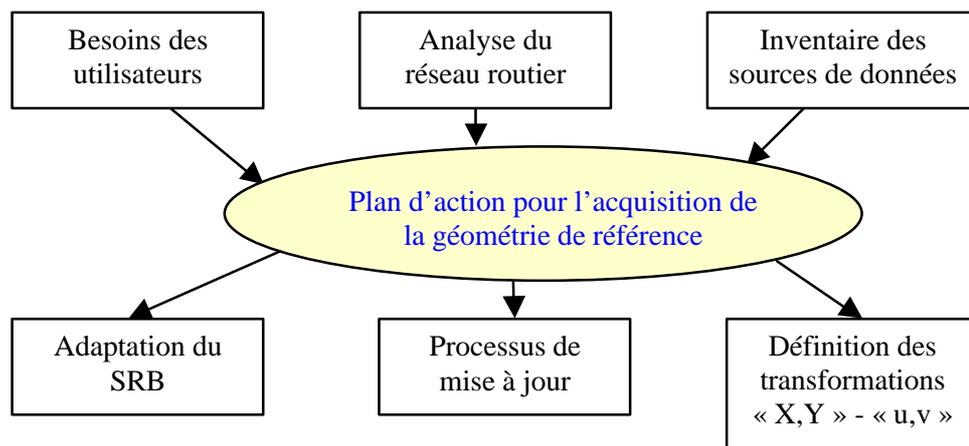


Figure 6-1 : Plan d'action pour l'acquisition de la géométrie

Besoins des utilisateurs

La géométrie de référence des axes de maintenance peut apporter une valeur ajoutée au SRB. Elle doit répondre aux besoins des professionnels de la route, qui comme on l'a vu dans le chapitre 2 peuvent être assez différents. Il faudra trouver un compromis de façon à satisfaire l'ensemble des utilisateurs, y compris les plus exigeants, tout en maintenant la simplicité du SRB actuel.

La rédaction d'une norme VSS sur les géométries devra définir des exigences de précision communes aux différents processus métier tout en intégrant les perspectives d'avenir des nouvelles techniques de la géomatique (GPS, orthophotos).

Analyse du réseau routier

L'état d'implémentation du SRB est variable selon les régions de Suisse. Sa construction s'est établie de façon différenciée selon les besoins des cantons. L'acquisition d'une géométrie de référence devra respecter ce principe en prévoyant diverses classes de qualité.

Il faudra distinguer des classes de routes ou des zones géographiques dans lesquelles on applique divers niveaux de précision. On n'a pas besoin de la même finesse de la géométrie de référence dans une région de campagne et dans une zone urbaine. Par contre, Il faudra garantir une continuité de la géométrie de référence sur l'ensemble du réseau routier.

Inventaire des sources de données

Comme on l'a vu dans le chapitre 4, la Suisse offre une quantité de données géographiques dont il faut tenir compte lors de la phase d'acquisition de la géométrie de référence. Dans certaines régions, des données issues de la mensuration officielle, d'orthophotos digitales ou d'autres plans, seront certainement des sources d'information précieuses.

Dans tous les cas, il faudra qualifier la source primaire qui aura servi à la définition de la géométrie de référence. La qualité de la restitution de l'axe de maintenance devra être décrite dans la base de données sous la forme de métadonnées.

Plan d'action pour l'acquisition de la géométrie de référence

L'acquisition de la géométrie de référence est une opération qui doit être conduite à grande échelle, sur l'ensemble du réseau routier d'une région. Le plan d'action doit s'appuyer sur les besoins des utilisateurs, l'analyse du réseau routier et l'inventaire des sources de données géographiques.

Le plan d'action est constitué d'un tableau mettant en relation la qualité recherchée, les coûts et les priorités d'action. Cet instrument doit permettre de prendre en compte le rapport qualité/prix lors de la phase d'acquisition de la géométrie de référence.

Du point de vue opérationnel, il faut mesurer les incidences sur la maintenance du SRB, sa mise à jour et les moyens à mettre en œuvre pour diffuser l'information aux utilisateurs. Dans cette optique, il faut considérer les règles à introduire pour l'exploitation de la géométrie de référence, notamment lors de l'utilisation du GPS comme instrument de localisation de données routières.

Adaptation du SRB

La connaissance de la géométrie de référence des axes de maintenance permet de calculer précisément la longueur des secteurs. A terme cette détermination peut remplacer les mesures classiques (roulette) des longueurs des secteurs.

La connaissance des coordonnées précises des marques jaunes est un élément supplémentaire pour assurer le système de repérage. Dans cette optique, on peut envisager de simplifier le repérage si la marque jaune peut être implantée sur la base de ses coordonnées planaires « XY ». C'est en quelques sorte une mesure alternative au repérage.

7 Méthodologie retenue

Afin d'illustrer les principes exposés dans la proposition d'un concept, nous avons retenu une méthodologie dont nous donnons une description des principales étapes. Cette approche fait l'objet d'une première proposition qui s'appuie sur les expériences conduites par le centre de recherche. Il est clair que d'autres voies peuvent être prospectées et le seront certainement lors d'expériences ultérieures.

7.1 Caractéristiques de la géométrie

Le chapitre 5 a décrit les expériences pour l'acquisition de la géométrie de référence. Sur cette base, nous avons retenu les principaux critères permettant de qualifier la géométrie des axes. Dans cette approche, il faut privilégier la « traduction » des critères de qualité propres à l'espace planaire (X,Y) dans l'espace linéaire (u,v).

Cette vision du repérage spatial dans un système linéaire nous amène à considérer :

- l'effet sur la coordonnées longitudinale (u) ;
- la variation de l'écartement latéral ou l'effet sur la coordonnée (v) ;
- la densité de points nécessaires pour décrire la géométrie de l'axe.

L'annexe C illustre également ces principes par une série de simulations dont les résultats sont présentés sous formes de tableaux.

7.2 Méthodologie

En se basant sur le concept du plan d'action pour l'acquisition de la géométrie de référence, on peut proposer une méthodologie dont les principales étapes sont :

- La planification des tronçons de routes à relever
- L'inventaire des sources de données géographiques
- L'évaluation des coûts pour le levé de la géométrie et des points de repère
- Le levé de *certaines* points de repère (marques jaunes) à l'aide de la méthode GPS
- La restitution de la géométrie de l'axe de maintenance
 - Par digitalisation sur des orthophotos numériques de haute résolution
 - Par exploitation des données de la mensuration officielle
 - Par un levé GPS cinématique (mobile mapping)
- La modélisation de la géométrie de l'axe de maintenance
 - Choix judicieux de la densité des points (fonction de la sinuosité)
 - Analyse de la qualité du levé de la géométrie
- Le stockage de la géométrie dans une base de données (Strada-DB)
- L'exploitation de la géométrie de référence
 - Calcul des longueurs de secteurs
 - Détermination des procédures de transformation $XY \Leftrightarrow uv$
- L'établissement d'une procédure pour la mise à jour de la géométrie de référence

Sources de données

Cette approche méthodologique est également construite sur la base des expériences de levé décrites dans le chapitre 5. La digitalisation et les levés GPS de la géométrie permettent d'établir le tableau suivant contenant les caractéristiques de précision, de couverture, de continuité et de classification.

	Précision et type de coordonnées	Continuité ou couverture	Type de région	Classe de route
Orthophoto	0.5 m / XY H selon MNT	Ensemble du pays (projet SAU S+T)	Campagne, régions alpines, Jura	Axes secondaires
Mensuration	0.2 m / XY	Variable (mo93, graphique)	Ville, villages	Axes principaux
Levé GPS	0.2 m / XY et H	Lacunes : forêts, montagnes, villes	Campagne, villages, péri-urbain	Axes principaux et secondaires

Tableau 7-1 : Caractéristiques des sources de levé

Ce tableau montre qu'il n'y a pas une source d'information unique pour l'acquisition de la géométrie de référence. Selon le type de région et la disponibilité des informations géographiques, il y a lieu de bien planifier les opérations de levé. L'altimétrie joue également un rôle important dans les régions de montagne et pour les routes à fortes pentes (à partir de 5%). Lors d'un levé GPS, l'altimétrie est également levée et est utile pour caractériser la géométrie de l'axe. La nouvelle couverture suisse d'orthophotos numériques (résolution 50 cm, précision planimétrique moyenne ± 1.0 m) s'appuie sur un modèle numérique de terrain (MNT-MO)⁹ dont la précision moyenne (écart-type) est de ± 50 cm en altimétrie et en planimétrie. Lorsque ces données seront disponibles, il sera intéressant d'en tenir compte et d'évaluer leur potentiel pour l'acquisition de la géométrie de référence.

Mise en œuvre du levé

Il faut distinguer le levé des points de repère (marques jaunes) du levé de l'axe de maintenance. Les points de repère constituent l'ossature du système de repérage. Ils doivent être déterminés avec une bonne précision en planimétrie et en altimétrie. Comme ils ne sont, en principe, pas visibles sur des orthophotos (pixel de 50cm), nous recommandons de les lever à l'aide des méthodes topométriques classiques ou par GPS. Pour caler un tronçon de route, il n'est pas indispensable de déterminer l'ensemble des points de repère, surtout si les longueurs des secteurs sont connues avec précision.

Le levé précis (10cm) des points de repère peut être une bonne alternative à l'assurance du point. En connaissant les coordonnées planaires d'une marque jaune, on peut la rétablir en tout temps. Il suffit de l'implanter, notamment en utilisant les fonctions temps réel du GPS-RTK.

Pour le relever de la géométrie de l'axe, il faut parcourir chaque tronçon compris entre deux nœuds. Comme proposé, la digitalisation se fait à partir de données géographiques issues de la mensuration officielle ou des orthophotos numériques ou bien à l'aide d'un système topométrique mobile (mobile mapping). La densité des points à relever sera fonction de la précision recherchée et de la sinuosité de la route.

Modélisation de la géométrie

Sur la base des opérations de levé, le modèle qui s'impose naturellement **pour l'acquisition** est constitué d'une succession de points reliés par des segments de droites. Si les points sont judicieusement choisis, ce modèle a l'avantage d'être simple et sans ambiguïté. Les informations à stocker dans une base de données pour l'acquisition doivent contenir la séquence des points d'un secteur ainsi que les coordonnées planimétriques et altimétriques de chaque point.

Dans l'étude AGRAM consacrée à l'acquisition de la géométrie des axes, nous avons mis l'accent sur une modélisation propre à la procédure d'acquisition.

⁹ Le MNT-MO est établi dans le cadre du projet SAU (Surface Agricole Utile) de l'Office fédéral de topographie (S+T).

Analyse de la qualité du levé de la géométrie

Cette opération doit faire partie intégrante du levé et de la modélisation de la géométrie. Il s'agit de confronter le modèle géométrique issu du levé à des valeurs de référence, par exemple des points levés au théodolite à l'axe de la chaussée. Cette confrontation donne une bonne estimation de la précision, en caractérisant notamment les écarts latéraux par rapport à l'axe.

A titre d'exemple, le chapitre 3 de l'annexe C présente la qualification de différentes géométries. On retrouve également ces estimations de précision dans le chapitre 5.3.

Exploitation de la géométrie

Le but principal du levé d'une géométrie de référence est de pouvoir transformer facilement des coordonnées planaires « XY » en coordonnées linéaires « uv ». Le rapport AGRAM ne traite pas directement des problèmes de transformation de coordonnées. Ces éléments sont déjà largement décrits dans le chapitre 6 de l'étude VSS 19/94 « Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und Geo-Informationssysteme ».

Dans l'annexe C du rapport, nous avons réalisé des simulations de la propagation des erreurs lors des transformations géométriques $XY \leftrightarrow uv$. Les résultats de ces simulations illustrent l'importance de s'appuyer sur une géométrie de référence précise et fiable. Comme on peut s'y attendre, la précision de la transformation $XY \leftrightarrow uv$ est directement proportionnelle à celle de la géométrie de référence.

Dans cette expérience, on a également mesuré la propagation de l'erreur due au levé (GPS) lors de la transformation géométrique. Dans ce cas, il faut considérer à la fois la précision du levé et celle de la géométrie.

Compte tenu de la propagation de ces erreurs, on peut se poser la question suivante :

- *quelle méthode et quel modèle géométrique faut-il employer afin d'assurer une transformation bi-univoque sans ambiguïté ?*

Au stade actuel de l'étude, nous préconisons d'enregistrer les mesures d'origines comme métadonnées de l'objet levé. A titre d'exemple, il faudrait stocker les coordonnées « XY » d'un point levé par GPS même si sa localisation est décrite par une paire de coordonnées « uv ».

Les longueurs des secteurs peuvent facilement être dérivées d'un tel modèle. Il suffit d'effectuer la somme des longueurs tridimensionnelles des segments de droites reliant deux points successifs, ceci pour l'ensemble des points du secteur concerné.

Procédure de mise à jour.

Si l'on veut garantir une exploitation efficace de la géométrie de référence, il faut assurer une mise à jour continue de cette dernière. Il est difficilement concevable de lever des objets à l'aide du GPS et de ne pas pouvoir les transformer dans l'espace « uv ». On peut même imaginer une transformation erronée due à un défaut de mise à jour.

Lors de correction du tracé ou de modifications de carrefour, il faut associer automatiquement une procédure de mise à jour de la géométrie de référence. Cette mise à jour peut s'appuyer sur les levés d'implantation du géomètre et sur le levé de l'exécution des travaux.

8 Conclusions

8.1 Recommandation pour la normalisation

Objectifs

- Définir les différents types de géométrie ainsi que leurs domaines respectifs d'utilisation
- Fixer les critères de qualité pour la géométrie de référence en respectant les exigences des métiers de la route
- Proposer un mode de documentation de la qualité de la géométrie basé sur les métadonnées

Dans l'étude AGRAM, nous avons mis l'accent sur l'analyse des besoins en rapport avec la géométrie. On constate une diversité des exigences de précision et surtout de l'usage que l'on peut faire d'une géométrie d'axe routier. Dans ce contexte, il est primordial de définir et de distinguer deux types de géométrie : la géométrie de référence et la géométrie de représentation.

Dans le chapitre 3.2, nous avons donné les premières définitions de ces géométries auxquelles nous pouvons associer des fonctions – dans quel cadre peut-on utiliser telle ou telle géométrie.

La **géométrie de référence** est issue du terrain ou de données numériques de haute précision (Par exemple l'orthophoto). Elle est utile pour transformer des coordonnées X,Y,Z déterminées sur le terrain en coordonnées u,v qui servent à la localisation d'objets routiers. Elle sert également à la transformation inverse pour implanter en X,Y des objets routiers. Elle permet également la transformation des objets routiers dans l'espace X,Y pour les combiner avec des données dont la référence spatiale est précise (mensuration officielle). Cette géométrie de référence est unique pour un axe donné.

Les **géométries de représentation** permet de combiner des objets routiers repérés en u,v avec des données cartographiques dans l'espace planaire X,Y. Dans ce cas la géométrie est adaptée à l'échelle et au degré de généralisation de la carte. L'utilisation d'une telle géométrie est liée à la qualité du support de représentation. Ainsi pour chaque catégorie de carte, il faudra définir une géométrie de représentation. Un axe digitalisé sur le plan d'ensemble au 1 :10'000 ne correspond pas à celui issu du 1 :200'000.

Normalisation

Ces définitions devront faire partie intégrante des normes. Il s'agira également de situer le cadre d'utilisation des ces géométries. Il faudra éviter toute interférence entre la géométrie de référence et les géométries de représentation.

Les normes devront fixer des critères de qualité pour la géométrie de référence. Afin d'établir ces derniers, il faudra spécifier les exigences de précision des processus métier – le chapitre 2.4 donne une première formulation de ces exigences. Il est bien entendu que la qualité de la localisation d'un objet routier dépendra à la fois de la précision du levé et de celle de la géométrie de référence.

Une telle qualification sans ambiguïté doit reposer sur une documentation fiable constituée de métadonnées. Par exemple : la géométrie de référence est levée par GPS. A chaque point de l'axe, on peut associer la précision du levé et une information sur la fiabilité (contrôle de la mesure).

Selon les principes de normalisation des groupes d'experts concernés, deux normes doivent être établies:

- Une norme "**Géométrie**", qui complète les normes déjà en vigueur décrivant les divers systèmes de repérage spatiale pour les données routières, comme par exemple la norme sur le système de repérage de base ou la norme relative aux réseaux d'exploitation.
- Une norme "**Catalogue de données: Description de la géométrie d'axe**" selon les principes de normalisation de la EK7.04.

La norme "Géométrie d'axe" doit contenir les éléments suivants:

- Domaine d'application
- Objet
- But
- Références
- Terminologie
- Rôle des géométries d'axe dans les activités liées au SGE
- Classification des exigences de précision pour les géométries d'axe
- Types de géométries d'axe
- Modélisation des géométries d'axe
- Recommandations pour l'acquisition des géométries d'axe
- Exemple d'utilisation des géométries d'axe

8.2 Recommandation pour l'acquisition de la géométrie de référence

Objectifs

- Adapter la méthode d'acquisition aux critères de qualité définis par les utilisateurs
- Choisir des méthodes d'acquisition fiables permettant une qualification du lever de la géométrie
- Associer à chaque tronçon routier les métadonnées sur la qualité de la géométrie

Les normes vont permettre de fixer les critères de qualité de la géométrie de référence. Il est envisageable de distinguer plusieurs catégories de précision selon les besoins des utilisateurs et selon les différentes classes de routes.

L'utilisateur a ainsi le libre choix de la méthode d'acquisition tout en sachant que les produits numériques (orthophotos, modèle numérique de terrain) seront plus précis et que les méthodes topométriques seront automatisées. Il faut privilégier l'adaptation de la méthode aux besoins.

Un réseau routier pourra être constitué d'un ensemble d'axes routiers dont les précisions des axes de maintenance peuvent différer. Dans ce contexte, il est préférable de disposer d'une restitution complète des axes de maintenance avec une documentation sur leur qualité sous la forme de métadonnées. Par exemple : un tronçon est levé par GPS avec une précision de 20cm et un autre tronçon est digitalisé sur une orthophoto avec une précision de 50cm.

8.3 Recommandation pour la gestion de la géométrie

Le projet montre que les structures des données liées à la description des géométries mises en œuvre par les bases de données routières en Suisse sont bien adaptées. La gestion de ces données ne peut pas être assurée par une application alphanumérique seule. Une application de type SIG est nécessaire à la saisie, à la validation et à l'exploitation des géométries. Il faudra prêter un soin particulier aux processus de mise à jour, en tenant compte notamment de:

- La mise à jour d'une géométrie dépend de la mise à jour de la source de cette dernière.
- La route, le système de repérage de base et la description de la géométrie peuvent avoir une évolution différente.
- La dépendance entre la géométrie de référence et les longueurs des secteurs déduites de cette dernière doit être prise en compte lors de mise à jour.

La transformation X,Y,Z en u,v,w en vice versa est fondamentale pour l'exploitation des nouvelles technologies de levé pour la gestion des données routières. Cette transformation doit être conçue de manière qu'elle soit bi-univoque, c'est-à-dire un triplet X,Y,Z doit être transformé à un seul triplet u,v,w et vice versa. La modélisation de la géométrie de référence (ensemble de droites ou une combinaison de droites, d'arcs et de clothoïdes etc.) – ayant une influence importante pour cette transformation – doit être définie pour satisfaire cette exigence.

8.4 Investigations supplémentaires nécessaires

Etude des coûts

Dans le cadre du projet AGRAM, nous avons pu réaliser un certain nombre d'expériences techniques afin d'illustrer les méthodes d'acquisition de la géométrie et d'évaluer la précision. Les cas choisis n'ont pas permis d'estimer les coûts de production pour acquérir la géométrie. Selon les vœux des professionnels de la route, il serait souhaitable de mener une étude sur les coûts d'acquisition d'une géométrie de référence.

Pour cela il faudrait rassembler les informations relatives à des opérations de digitalisation d'axes sur la base du plan d'ensemble et d'orthophotos. En parallèle, il faudrait réaliser un lever GPS sur des tronçons routiers caractéristiques. On pourrait ainsi dresser un tableau des coûts en fonction des critères de qualité de la géométrie de référence.

Produits numériques

Dès 2001, l'office fédéral de topographie propose une série de nouveaux produits numériques de haute qualité comme les orthophotos et les modèles numériques surfaciques et du terrain. A terme ces produits couvriront l'ensemble du territoire et seront certainement une source d'information à privilégier pour les applications routières.

Il serait souhaitable de réaliser des expériences de digitalisation sur la base de ces produits et d'en estimer la qualité. On pourrait également évaluer le potentiel des méthodes d'extraction automatique des axes routiers en se basant sur des techniques de traitement d'images (projet ATOMI, ETH Zürich, Institut de Géodésie-Photogrammétrie¹⁰).

Méthodes topométriques mobiles

Ces méthodes sont en pleine évolution et offriront, dans un proche avenir, des solutions efficaces pour les lever à grand rendement. Ces techniques permettront une saisie automatique de nombreux objets routiers en assurant ainsi une mise à jour régulière et à moindres coûts.

Les expériences décrites dans le chapitre 5 semblent prometteuses. Il serait souhaitable de poursuivre de telles investigations et d'affiner les critères de précision et de rendement du système.

¹⁰ <http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/atomi/index.html>

9 Abréviations

AGNES	Automatisches GPS-Netz Schweiz
BDR	Base de données routières
BMS	Bridge Management System
CEN	Comité Européen de Normalisation
CN	Carte nationale
CP	Carte pixel
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
DGPS	Differential Global Positioning System
DXF	Drawing Exchange Format
EMS	Electromechanical Management System
FCD	Floating Car Data
GDF	Geographic Data Files
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
INS	Inertial Navigation System
ISO	International Organisation for Standardisation
ITS	Intelligent Transport Systems
MNS	Modèle numérique de surface
MNT	Modèle numérique de terrain
MO	Mensuration officielle
OFROU	Office fédéral des routes
OPAM	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs
PMS	Pavement Management System
RTK	Real Time Kinematic
S+T	Office fédéral de topographie
SAU	Surface agricole utile
SGBD	Système de gestion de bases de données
SGE	Système de gestion de l'entretien
SIG	Système d'information géographique
SIRS	Système d'information à référence spatiale
STM	Système topométrique mobile
SRB	Système de repérage de base
STM	Système topométrique mobile
VSS	Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute
WGS	World Geodetic System

10 Bibliographie

Le projet SYRROU avait fait un inventaire très détaillé des sources bibliographiques liées au repérage spatial. Ainsi le projet AGRAM se réfère à la bibliographie de SYRROU.

11 Annexes

- **Annexe A : Sources de données géographiques**
- **Annexe B : Technologie d'acquisition de données géographiques**
- **Annexe C : Estimation de la qualité de la transformation $XY \Leftrightarrow uv$ en fonction de la précision de la géométrie utilisée**

12 Structure du rapport

13 Struktur des Berichtetes

11. Annexe A : Sources de données géographiques

1 Introduction

L'objectif de cette annexe est de faire un inventaire et une description des données géographiques intéressantes en vue d'une restitution de la géométrie des axes routiers. Les caractéristiques mentionnées sont celles présentées au chapitre 4.1 du rapport, pertinentes pour l'évaluation du potentiel de ces données pour un concept d'acquisition de la géométrie de référence des axes de maintenance.

2 Description des données

Carte-pixel (CP25)	
	<p>Les cartes-pixel sont la version numérique (sous forme raster) des cartes nationales établies par l'Office fédéral de topographie. Elles sont une représentation cartographique du territoire à des échelles allant du 1:25'000 au 1:1'000'000 en Suisse. Les cartes-pixel sont utilisées notamment pour des visualisations de cartes à l'écran, comme fonds cartographiques pour des planifications, en liaison avec des données statistiques, comme base cartographique pour des cartes thématiques, comme base de numérisation de nouveaux jeux de données, etc. Elles font partie des données les plus utilisées dans les applications en systèmes d'information géographique (SIG).</p> <p>Pour la problématique de l'acquisition d'une géométrie de référence des axes routiers, la carte-pixel à l'échelle du 1:25'000 (CP25) est considérée.</p>
Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	Carte nationale 1:25'000
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:25'000 (1:15'000 – 1:50'000)
Précision	3 à 8 m en planimétrie
Résolution	Plusieurs résolutions : 0.5 m, 1.25 m, 2.5 m
Couverture spatiale	Suisse
Temporel	
Mise à jour	Périodique (correspond en principe à la mise à jour des cartes nationales, en moyenne tous les 6 ans)
Evolution du produit	Résolution de 0.5 m depuis 1998
Accessibilité	
Source	Office fédéral de topographie (swisstopo)
Disponibilité	Swisstopo, cantons
Prix indicatif	Dès 100.- CHF/feuille (210 km ²) (+ frais divers)

Modèle de paysage (VECTOR25)



Les modèles du paysage numériques décrivent, sous forme vectorielle, les objets naturels et artificiels du paysage. Ils contiennent différentes catégories d'objets géoréférencés avec une géométrie sous forme de point, de ligne ou de surface, ainsi que des attributs et leur relation avec leur environnement (topologie). Les données sont structurées de manière à pouvoir être utilisées comme base pour de nombreuses applications.

VECTOR25 est le modèle numérique du paysage de la Suisse qui se base sur le contenu et la géométrie de la Carte nationale 1:25'000. VECTOR25 décrit environ 5 millions d'objets avec leur situation, leur forme, leur catégorie d'objets, d'autres attributs et leur relation avec leur environnement (topologie). VECTOR25 se compose de 8 couches thématiques, dont le réseau routier, et contient au total environ 140 catégories d'objets différentes.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Oui
Origine	
Données de base	Carte nationale 1:25'000
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:25'000 (1:10'000 – 1:100'000)
Précision	3 à 8 m en planimétrie
Résolution	-
Couverture spatiale	Suisse
Temporel	
Mise à jour	Tous les 6 ans (correspond à la carte nationale)
Evolution du produit	Level 1 et Level 2
Accessibilité	
Source	Office fédéral de topographie (swisstopo)
Disponibilité	Swisstopo, cantons
Prix indicatif	3.- CHF/km ² (+ frais divers)

Plan d'ensemble raster



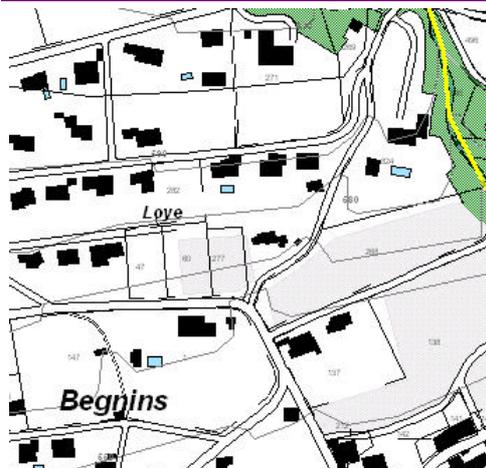
Le plan d'ensemble est l'un des produits de la mensuration officielle. C'est un plan topographique réalisé en général aux échelles du 1:2'500, 1:5'000 ou 1:10'000 sur lequel figurent principalement des données relatives aux infrastructures (routes, chemins, bâtiments, etc.), à la couverture du sol (forêts, vignes, ruisseaux, etc.) et à l'altimétrie (courbes de niveau, points cotés).

Il s'agit d'une des données de base très importante puisque son échelle correspond souvent à celle des projets de niveaux local et régional. Le plan d'ensemble a été utilisé pour numériser de nombreux jeux de données. Un problème actuel vient de sa mise à jour, qui n'est pas réalisée de manière homogène (voire pas du tout réalisée). Des réflexions sont faites pour l'établir à partir d'autres produits et notamment en utilisant les données cadastrales.

Le plan d'ensemble raster est obtenu par scannérisation des plans papier.

Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	Plan d'ensemble
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	entre 1:2'500 et 1:10'000 (selon les régions et les cantons)
Précision	Environ 1 m
Résolution	Environ 30 cm
Couverture spatiale	Certains cantons
Temporel	
Mise à jour	Occasionnel (non prévu), variable selon les cantons
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Cantons
Disponibilité	Cantons
Prix indicatif	-

Plan d'ensemble vecteur



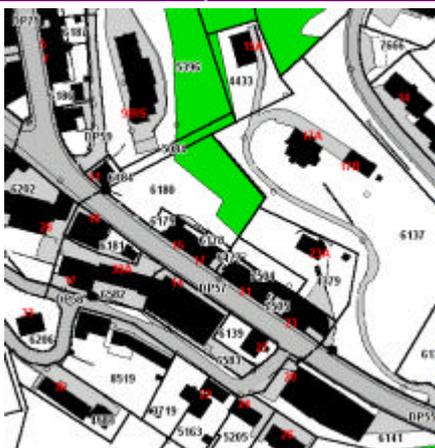
Le plan d'ensemble existe aussi en mode vecteur. Ces données sont le résultat d'une transformation des éléments du plan raster en objets vecteurs (par digitalisation). Les caractéristiques de ces données sont les mêmes que pour le plan raster (problème de mise à jour, précision, producteur, etc.). L'avantage de ces données est qu'elles sont structurées en couches et qu'elles peuvent être enrichies d'attributs. On peut aussi définir la représentation cartographique souhaitée en fonction des besoins.

Exemple d'objets du plan d'ensemble vecteur : points fixes, bâtiments et constructions spéciales, routes, autoroutes et chemins, chemins de fer, forêts, vignes, rochers et glaciers, etc.

Les routes du plan d'ensemble sont schématisées pour être figurées aux échelles initiales 1:5'000 et 1:10'000. Contrairement au plan cadastral, les routes sont représentées avec une largeur constante (généralisation). A l'intérieur des localités importantes, les routes suivent les limites du bâti.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	Plan d'ensemble
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	entre 1:2'500 et 1:10'000 (selon les régions et les cantons)
Précision	Environ 1 m
Résolution	-
Couverture spatiale	Certains cantons
Temporel	
Mise à jour	Périodique, variable selon les cantons
Evolution du produit	Concept pour la mise à jour en cours d'étude dans certains cantons
Accessibilité	
Source	Cantons
Disponibilité	Cantons
Prix indicatif	-

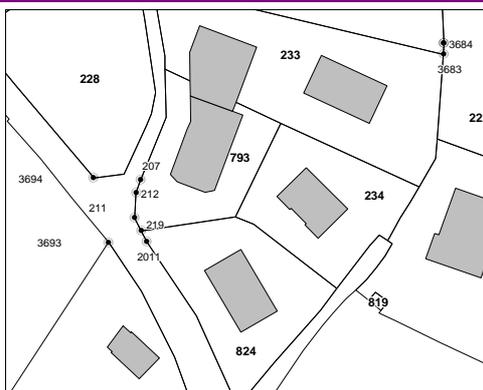
Cadastre numérique



Le plan cadastral est l'un des produits de la mensuration officielle. Il contient principalement des données relatives aux biens-fonds (parcelles et domaines publics) et à la couverture du sol (routes, chemins, bâtiments, murs, forêts, vignes, ruisseaux). L'échelle du plan cadastral, déterminée lors de la mensuration, conditionne le domaine d'utilisation des données cadastrales. Elle est fonction de la zone et du degré de précision recherché (1:500 en zone urbaine, 1:1'000 en zone agricole ou 1:5'000 en zone de montagne). Les données cadastrales numériques sont acquises soit lors d'une nouvelle mensuration, soit par digitalisation des plans cadastraux existants. La précision des données cadastrales est très variable. Elle est fonction du type de zone mesurée ou du type de plan cadastral digitalisé.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	Plan cadastral
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:500 à 1:5'000
Précision	Variable mais en général moins d'un mètre
Résolution	-
Couverture spatiale	Partielle, selon l'avancement de la mensuration
Temporel	
Mise à jour	En continu
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Géomètres officiels
Disponibilité	Cantons, géomètres officiels
Prix indicatif	-

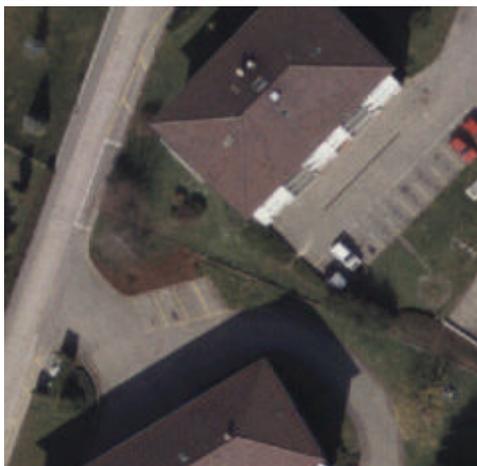
Cadastre raster



Les données cadastrales peuvent aussi être stockées sous forme raster, pour des utilisations comme fond cartographique notamment. Cependant, à notre connaissance, aucun canton ne diffuse actuellement ces données sous cette forme.

Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non

Image aérienne



Les images aériennes sont des photographies grand format (généralement 23x23 cm) prises par avion ou par hélicoptère. Elles sont la base pour la réalisation d'orthophotos numériques (orthoimages). Elles présentent la particularité de contenir une information très riche bien que non structurée, et facilement interprétable visuellement. Elles sont ainsi une source d'information importante pour la couverture du sol notamment.

L'office fédéral de topographie et Swissphoto sont les principaux producteurs d'images aériennes.

Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	-
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Image
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:2'000 au 1:30'000
Précision	Dépend de l'échelle et du terrain
Résolution	-
Couverture spatiale	Hétérogène
Temporel	
Mise à jour	Variable
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Office fédéral de topographie, Swissphoto, autres
Disponibilité	Office fédéral de topographie, Swissphoto, cantons, autres
Prix indicatif	-

Orthoimage



L'orthoimage (ou orthophoto dans le cas particulier d'images aériennes) est un fichier numérique qui allie les qualités descriptives et visuelles de l'image et les propriétés particulières de la carte (échelle, distances homogènes, etc.). Réalisée à partir de photos aériennes scannées ou d'images satellitaires, l'orthoimage est corrigée des déformations du capteur (appareil photographique ou capteur du satellite) et de celles dues au relief du terrain. Elle peut ainsi être superposée à d'autres données géographiques, et utilisée entre autres comme base pour acquérir d'autres données (par digitalisation).

Les orthophotos "Swissphoto" sont réalisées par Swissphoto AG à Regensdorf. L'Office fédéral de topographie fournit deux types d'orthophotos : produits SWISSIMAGE et SWISSIMAGE+ avec des résolutions de 50 cm, mais des précisions planimétriques différentes.

Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	Photo aérienne ou satellitaire
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:2'000 au 1:30'000
Précision	Dépend de l'échelle et de la qualité du modèle numérique de terrain (1 mètre en planimétrie pour le produit SWISSIMAGE+)
Résolution	Variable (orthophoto : couramment 25 à 75 cm)
Couverture spatiale	Hétérogène
Temporel	
Mise à jour	Variable
Evolution du produit	
Accessibilité	
Source	Office fédéral de topographie, Swissphoto, autres
Disponibilité	Office fédéral de topographie, Swissphoto, cantons, autres
Prix indicatif	-

Image satellitaire à très haute résolution



Les images satellitaires sont utilisées dans de nombreuses thématiques et pour des applications très variées. Depuis peu, on peut avoir accès à des images à très haute résolution, supérieure à 10 m, voire jusqu'à 1 m et mieux pour les capteurs IKONOS, QuickBird et OrbView. Une de leurs applications principales est la détermination de l'occupation du sol. Avec la très haute résolution, leur exploitation dans le domaine routier devient intéressante du fait du degré de détail élevé, au même titre que des photos aériennes, et pour couvrir de grandes surfaces avec des données homogènes.

Les données brutes sont fournies dans le référentiel de l'image. Pour pouvoir intégrer ces données dans un système de coordonnées géographiques ou projetées, et donc les superposer à d'autres données géographiques, cela nécessite d'appliquer des corrections géométriques pour tenir compte de l'orientation, de la rotondité et du relief de la surface terrestre (orthorectification), et de géoréférencer l'image.

Structure	
Type	Raster
Structure générale	Non
Structure du réseau routier	Non
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	-
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Image
Echelle de base (ou d'utilisation)	Diverses
Précision	-
Résolution	6 m, 1 m, 0.61 m
Couverture spatiale	Hétérogène
Temporel	
Mise à jour	Variable, dépend du capteur, mais peut être assez fréquente (à la demande pour IKONOS)
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Space Imaging (IKONOS), DigitalGlobe (QuickBird), ORBIMAGE (OrbView)
Disponibilité	Divers, notamment National Point of Contact, Switzerland (NPOC), http://www.swisstopo.ch/NPOC/
Prix indicatif	Certaines sont gratuites, d'autres doivent être achetées. Prix exemple pour IKONOS en Suisse : 29.- / km ²

Données routières pour la navigation

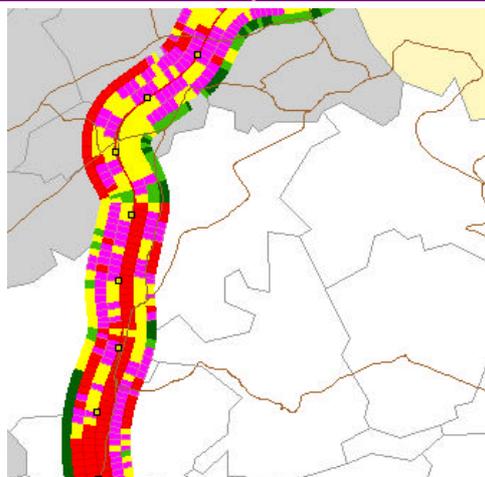


Les données routières pour la navigation sont destinées avant tout aux systèmes d'aide à la navigation embarqués dans les véhicules. Ces données contiennent une description du réseau routier (géométrique, topologique et sémantique). En général, la géométrie de ce dernier est définie par l'axe de la route, voire par les sens ou les voies de circulation.

Ces données présentent l'avantage d'une couverture relativement complète et homogène sur l'ensemble du territoire. Leur échelle d'utilisation est plutôt la moyenne et la petite échelle.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Oui
Origine	
Données de base	Carte nationale, plans d'ensemble et de ville, orthophoto, mesures DGPS
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	WGS 84, Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:10'000 – 1:100'000 (voire plus petit)
Précision	5 à 20 m (dépend des données de base)
Résolution	-
Couverture spatiale	Suisse
Temporel	
Mise à jour	Périodique (tous les 3 mois à 1 an)
Evolution du produit	Elargissement de la base de données
Accessibilité	
Source	Tele Atlas, NAVTECH
Disponibilité	Tele Atlas, NAVTECH, distributeurs officiels
Prix indicatif	

Données routières pour l'entretien

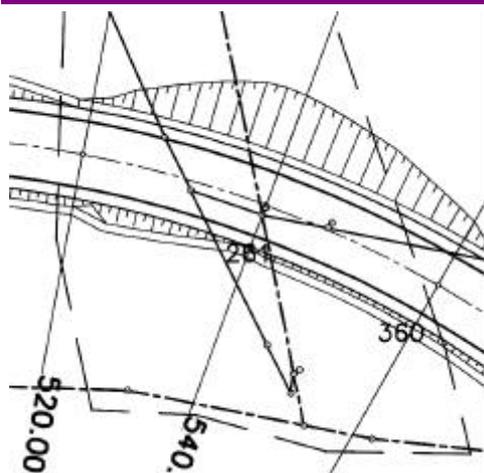


Les données routières pour l'entretien font partie intégrante des bases de données routières destinées à la gestion de l'entretien des routes (système de gestion de l'entretien). La géométrie du réseau qui y est contenue permet des représentations cartographiques des objets d'information de la base de données routières, en lien avec des analyses thématiques et statistiques des différentes informations du système de gestion de l'entretien.

La couverture, la disponibilité, ainsi que la qualité de ces données sont très variables selon les cantons.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Oui
Origine	
Données de base	Plan d'ensemble, divers
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:10'000 – 1:20'000
Précision	1 à 5 m
Résolution	-
Couverture spatiale	Partielle (variable selon les cantons)
Temporel	
Mise à jour	Occasionnel
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Cantons
Disponibilité	Certains cantons
Prix indicatif	

Plans de construction et d'exécution



Les plans de construction et d'exécution décrivent et représentent la variante retenue pour un projet de réalisation de route. Ils décrivent un tronçon de route de manière détaillée. Ils repèrent tous les éléments pertinents pour la construction par rapport à un système de repérage planaire. Le tronçon de route est perçu comme un ouvrage de construction tri-dimensionnel. Les plans représentent une vision ponctuelle (dans l'espace et dans le temps) du système de routes alors que la base de données permet d'acquérir des connaissances moins détaillées mais plus synthétiques d'un ensemble de routes ou du système complet de routes.

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	-
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:50 – 1:200
Précision	De l'ordre du décimètre
Résolution	-
Couverture spatiale	Partielle
Temporel	
Mise à jour	Aucune
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Cantons
Disponibilité	Certains cantons
Prix indicatif	

Plan conforme



Le plan conforme décrit les détails d'ouvrage d'art ou de la route après la finalisation de la construction. Les plans conformes à l'exécution sont utilisés au niveau opérationnel, par exemple pour atteindre avec précision une canalisation défectueuse en dessous du revêtement bitumineux d'une route. Ils sont en principe produits à partir des données levées sur le terrain.

La réalisation de plans conformes à l'exécution n'est de loin pas systématique.

(ici, représenté un plan de situation)

Structure	
Type	Vecteur
Structure générale	Oui
Structure du réseau routier	Oui
Axe de route (graphe linéaire)	Non
Origine	
Données de base	-
Spatial	
Référentiel / système de coordonnées	Suisse
Echelle de base (ou d'utilisation)	1:50 – 1:200
Précision	De l'ordre du décimètre
Résolution	-
Couverture spatiale	Partielle
Temporel	
Mise à jour	Aucune
Evolution du produit	-
Accessibilité	
Source	Cantons
Disponibilité	Certains cantons
Prix indicatif	

11. Annexe B : Technologie d'acquisition de données géographiques

1 Références

Dupraz H. (1998). *La méthode GPS*, 4^{ème} édition. EPFL-Topométrie, Lausanne.

Leick A. (1995). *GPS, Satellite Surveying*, second edition. Department of Surveying Engineering, University of Maine.

Gilliéron P.Y., Skaloud J., Brugger D., Merminod B. (2001). *Development of a low cost mobile mapping system for road data base management* , The 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology, Cairo, Egypt, January 3-5.

Gilliéron P.Y., Skaloud J., Levet Y., Merminod B. (2001). *A Mobile Mapping System For Automating Road Data Capture in Real time* , Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna, Austria, October 1-4.

2 Technologie d'acquisition

2.1 Introduction

Les outils modernes de la géomatique peuvent être classés selon les catégories suivantes :

- Photogrammétrie et traitement d'images
- Topométrie
- Méthodes satellitaires
- Méthodes mixtes : photogrammétrie + topométrie

Dans cette annexe, on cherche à décrire les différentes innovations techniques que l'on trouve dans les méthodes de mesures. On ne peut plus concevoir un mode de lever pour lui-même sans considérer les interactions possibles avec les autres techniques. C'est dans cette optique que les systèmes topométriques mobiles (Mobile Mapping System) ont été développés en cherchant à intégrer les outils de la navigation avec ceux du traitement d'images.

2.2 Panorama des méthodes de lever

2.2.1 La photogrammétrie

L'évolution des techniques de la photogrammétrie passe par une exploitation des images numériques. Le développement d'algorithmes de traitement d'images a permis d'automatiser certaines tâches répétitives pour l'opérateur. Actuellement, il existe des logiciels de photogrammétrie qui calculent automatiquement l'aérotriangulation et le modèle numérique de terrain. L'établissement d'**orthophotos digitales** est également une tâche automatisée.

La saisie automatique d'un modèle numérique de terrain peut être réalisée à partir d'une plate-forme aéroportée de type **laser scanning**. Ce capteur, placé dans l'avion, permet de mesurer des points altimétriques avec une précision de 10 cm et une densité de plusieurs points par m².

2.2.2 La topométrie

Les principaux développements des instruments de topométrie se retrouvent dans l'automatisation des fonctions du théodolite et l'intégration de capteurs. Le concept d'une « one-man station » est réalisé grâce à un **théodolite motorisé** et commandé à distance. L'opérateur se trouve au prisme (360°) et est suivi en permanence par l'instrument.

La mesure électronique des distances peut se faire à l'aide de laser sans réflecteur. Ainsi l'opérateur peut viser l'objet qui l'intéresse et mesurer directement la distance. Il est intéressant de coupler ces appareils avec un dispositif de visée pour affiner la mesure.



Figure 2-1 : Distance-mètre laser et récepteur GPS

2.2.3 Les méthodes satellitaires

Les méthodes de mesures par satellites sont largement utilisées en navigation et en topométrie. La combinaison des divers modes de mesures GPS donne lieu à une large gamme de précisions et d'utilisations possibles. Une vision synthétique de ces nombreuses possibilités peut être résumée dans le diagramme suivant :

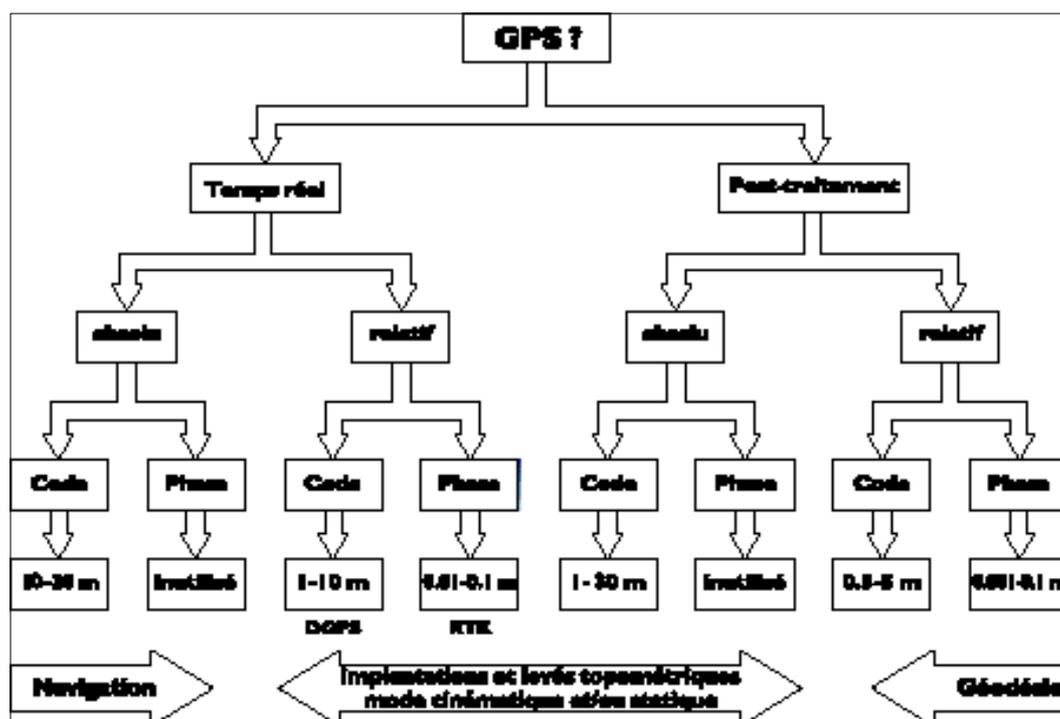


Figure 2-2 : Modes de mesures GPS

Le positionnement relatif fait intervenir deux récepteurs GPS simultanément. Pour la mesure de code, il offre un gain de précision par rapport au positionnement absolu. Pour la mesure de phase par contre, le mode différentiel est nécessaire. Ce principe permet de réduire l'effet de certaines sources d'erreurs (atmosphériques notamment) par correction des mesures. La technique est d'autant plus efficace que la base qui sépare les deux récepteurs est relativement petite (inférieure à 10 km). La précision relative obtenue pour le calcul de cette base en temps réel est de l'ordre de 1-10 m pour la mesure de code et de 1-10 cm pour la mesure de phase. La connaissance d'un point dans le système de coordonnées de référence règle le problème de la précision absolue du positionnement différentiel.

Les derniers développements ont porté sur la réalisation de services de diffusion de corrections GPS. L'Office fédéral de Topographie propose un tel service appelé SWIPOS qui est composé de SWIPOS-NAV pour le DGPS et swipos-GIS/GEO pour le RTK. Ces services de positionnement offrent des corrections différentielles pour une utilisation précise en temps réel du GPS. Les moyens de télécommunication de ces corrections sont la bande FM (RDS : Radio Data Service) pour le DGPS et le GSM pour le RTK et le DGPS. L'abonnement à un tel service et un système de réception des corrections (GSM ou récepteur radio avec décodeur RDS) permettent à un utilisateur de travailler en mode DGPS ou RTK avec un seul récepteur.

L'utilisation civile des systèmes de localisation par satellites en Europe évolue grâce aux projets EGNOS (European Geostationary Overlay Service) et GALILEO. Ces projets sont conduits par l'ETG (European Tripartite Group) qui regroupe l'ESA (Agence Spatiale Européenne), la communauté européenne et Eurocontrol (organisation européenne pour la sécurité de la navigation aérienne). EGNOS est l'un des trois services inter-régionaux d'augmentation de GPS. Il complète les signaux GPS et GLONASS par l'addition d'un satellite géostationnaire dont les signaux couvrent le continent européen en permanence. Les deux autres sont le WAAS américain (Wide Area Augmentation System) et le MSAS japonais (Multi-transport Satellite based Augmentation System). Actuellement en phase de test, EGNOS permettra d'ici fin 2003, d'atteindre une précision de 3-20 m avec l'exploitation du code GPS. D'autre part, le nouveau satellite permettra un contrôle de l'intégrité des signaux GPS et GLONASS.

La deuxième phase de projet menée par l'ETG consiste à la création de GALILEO, un système de localisation par satellites européen, destiné à l'utilisation civile et sous contrôle civil. GALILEO devrait être opérationnel dès 2008.

2.2.4 Les systèmes topométrique mobiles

Les systèmes topométriques mobiles (STM) incorporent plusieurs sources d'acquisition. On peut les décrire comme des systèmes de mesure montés sur une plate-forme commune intégrant plusieurs capteurs fonctionnant de manière synchronisée et autonome. Dans le domaine routier, les STM les plus polyvalents permettent de restituer des objets situés sur la route et à proximité de celle-ci, en intégrant des outils de photogrammétrie numérique. Cependant, ils ne permettent pas une grande automatisation de l'acquisition des données. Par ailleurs, pour l'acquisition d'une géométrie de référence, des systèmes plus simples peuvent être choisis. Notamment, l'utilisation d'une caméra vidéo solidaire du véhicule et orientée vers la surface de la route, permet une automatisation quasi-totale de l'acquisition. De tels systèmes fonctionnent selon le couplage suivant :

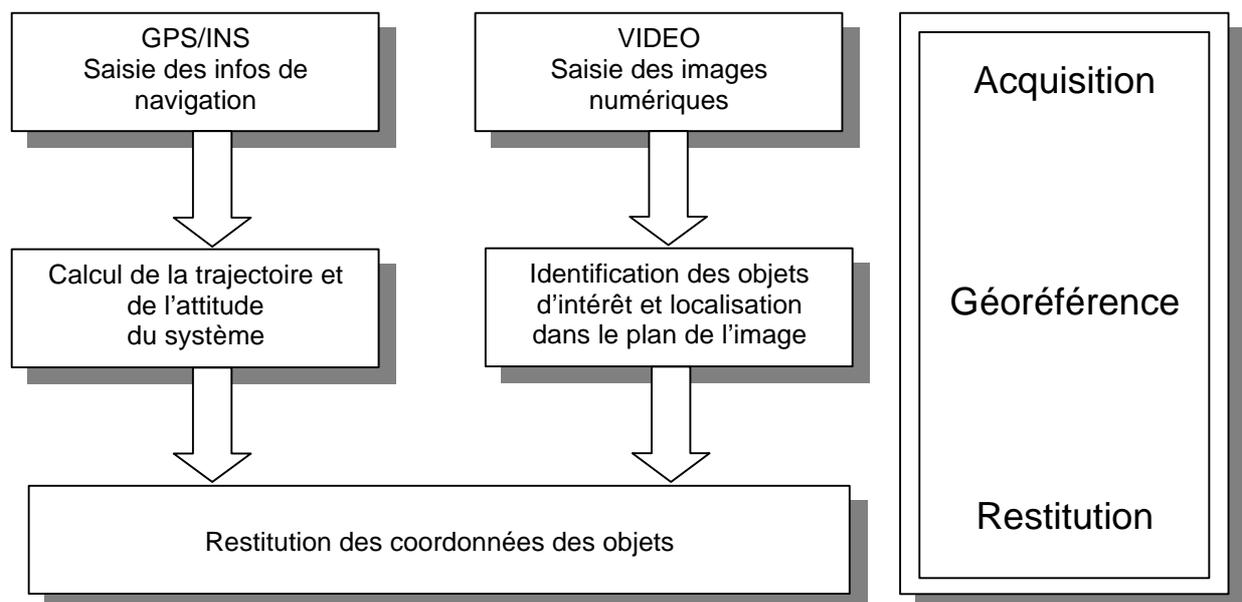


Figure 2-3 : Schéma d'un processus STM

On peut citer les principaux avantages suivants :

- Il n'est plus nécessaire de se rattacher à des points fixes matérialisés dans le terrain ; ainsi le système peut être déployé n'importe où.
- On peut envisager un contrôle de qualité des données en temps réel en utilisant le principe de redondance.
- On peut acquérir une grande quantité d'informations dans un court laps de temps et dans des conditions de trafic urbain.

Les STM que l'on présente se composent des éléments suivants :

- un véhicule embarquant le système d'acquisition ;
- une combinaison GPS et INS (Inertial Navigation System) pour la localisation ;
- des caméras vidéo pour la saisie des objets ;
- un système informatique pour la gestion et le stockage des données.

Ces systèmes sont conçus pour des tâches d'acquisition à partir d'un véhicule roulant à 60 km/h. La précision de restitution des objets est de l'ordre de 20 à 50 cm selon les conditions.

2.3 Contexte du lever routier

Il n'existe pas une méthode universelle de lever qui réponde à l'ensemble des besoins des utilisateurs. Dans le cadre du lever routier, il faut considérer l'ensemble des techniques allant de la chevillère aux systèmes intégrant GPS et imagerie numérique.

Que peuvent apporter les nouvelles techniques ?

- plus de précision et de fiabilité
- documentation sous forme d'images
- facile à consulter
- ouverture vers d'autres applications
- mise à jour facilitée

Ces techniques seront certainement des moyens efficaces pour l'acquisition de la géométrie de référence des axes de maintenance.

2.4 Description générale d'un STM adapté à l'acquisition d'une géométrie routière de référence

Il existe un certain nombre de STM pour l'inventaire routier et qui peuvent être reliés à un système d'information géographique. Dans le contexte de l'acquisition d'une géométrie routière de référence, les STM les mieux adaptés fonctionnent selon la combinaison d'une caméra vidéo et d'un système de navigation. Ce type de STM est relativement simple et n'exploite pas la photogrammétrie numérique. Une telle simplification permet une forte automatisation des tâches d'acquisition.

De tels systèmes opèrent à des vitesses variables (40-80 km/h) et sont capables de s'adapter au flux du trafic routier. Le principe de la mesure consiste à coupler la saisie d'images numériques avec l'acquisition d'informations de navigation (figure 2-3). L'axe routier étant matérialisé par une ligne blanche, la caméra vidéo est fixée sur le véhicule et orientée verticalement au-dessus de la surface de la route. L'orientation des images est donc simplement liée à celle du véhicule et de plus, l'échelle et les déformations sur l'image sont constantes. Pratiquement, la calibration de l'image ne dépend que des paramètres géométriques du dispositif de fixation et de la caméra utilisée.

Le levé cinématique s'effectue grâce à un système de localisation par satellites. L'utilisation de 2 antennes GPS fixées sur le toit du véhicule permet de décrire la position et l'orientation tridimensionnelle du véhicule en tout temps. L'utilisation de récepteurs GPS bi-fréquence en mode différentiel permet une localisation en temps réel avec une précision de l'ordre de 10-20 cm (cf. tests effectués au Jura, chapitre 5). L'ajout d'un système inertiel (INS) est utile pour compléter la localisation en zones d'obstruction des signaux GPS.

Les objets d'intérêt sont de deux types :

- la ligne blanche (continue, semi-continue ou double) qui matérialise la géométrie de la route
- les carrés jaunes qui matérialisent les marques-repères (SRB).

Le principe du levé de ces objets consiste tout d'abord à les identifier sur les images numériques enregistrées. Puis, les coordonnées images (coordonnées pixels) de ces objets sont transformées en coordonnées métriques locales, liées au véhicule, et les déformations dues à l'image sont corrigées. Finalement, les coordonnées locales sont référencées dans un système de coordonnées global (coordonnées nationales suisses) grâce aux données du GPS.

La prise de mesures avec ce système consiste en trois phases : acquisition de données, géoréférencement, et détermination des coordonnées 3D de l'objet. L'acquisition de données synchronisées (GPS et images) ainsi que l'extraction des objets dans l'image sont complètement automatisées. Ainsi, le temps de mesure sur le terrain est minimisé et en même temps, la qualité des données est maintenue. De plus, l'acquisition en temps réel évite le stockages des images digitales. Le géoréférencement des points levés est réalisé en post-traitement. De sorte que seules les coordonnées-images des objets d'intérêt et les coordonnées des antennes GPS mobiles sont stockées et ensuite, transformées en coordonnées nationales lors du post-traitement. Même à une vitesse moyenne de 50 km/h, la fréquence d'acquisition vidéo permet un recouvrement entre les images et donc un contrôle des coordonnées restituées. Le résultat peut être utilisé afin de mettre à jour et de créer des éléments de la base de données.

11. Annexe C : Estimation de la qualité de la transformation XY ⇔ uv en fonction de la précision de la géométrie utilisée

1 Buts de l'expérience

La présente annexe décrit les résultats de quelques simulations réalisées dans le but d'estimer les effets de la qualité de la géométrie utilisée et des incertitudes de levé sur la transformation XY ⇔ uv. L'outil de programmation Matlab a permis, sur la base de diverses géométries digitalisées, d'apporter des éléments de réponse quant aux questions suivantes :

- Qualifier les différentes géométries d'axes utilisables dans le cadre des transformations XY ⇔ uv,
- Développer des algorithmes efficaces pour la transformation XY ⇔ uv,
- Etudier la propagation des erreurs lors de la transformation en fonction de différentes géométries,
- Proposer des règles simples permettant de qualifier la méthodologie de transformation.

2 Description des sources de données

Les calculs et simulations sont effectués à partir de diverses digitalisations et levés d'un tronçon routier situé dans la région de Courtételle. On dispose de 5 sources pour décrire la géométrie de ce tronçon de route :

- Levé de l'axe routier par DGPS phase avec en moyenne un point tous les 1.5 m,
- Digitalisation de la carte nationale 1 :25'000,
- Digitalisation du plan d'ensemble 1 :10'000,
- Digitalisation de l'orthophoto numérique avec une taille de pixel de 25 cm
- Digitalisation sur les données numériques de la MO

Les géométries sont modélisées linéairement entre les points. Seul le tronçon commun aux 5 fichiers (2.2 km) a été utilisé. Les fichiers ont été retravaillés de sorte que les extrémités des tracés soient alignées perpendiculairement à la géométrie GPS, qui est choisie comme géométrie de "référence" pour les comparaisons. Les marques-repères sur le tronçon ont été générées en choisissant un point GPS tous les 250 m environ. Finalement, les marques-repères de chaque tronçon sont obtenues par projection des marques repères de la géométrie GPS sur les autres géométries.

3 Qualification des différentes géométries

Avant toute chose, chacune des géométries obtenues par les diverses digitalisations a été comparée à la géométrie GPS de référence, dont la précision est d'environ 10 cm (cf. chapitre 5). Les écarts transversaux de la géométrie "testée" ont été obtenus par projection de celle-ci sur la géométrie de référence. Ces comparaisons donnent lieu à un tableau récapitulatif (Tableau 3-1) et peuvent aussi être présentées par un histogramme des écarts (figures 1 à 4).

Géométrie	Ecart-type [m]	Moyenne des écarts [m]	Ecart max. [m]	Taille de l'échantillon
1 :25'000	4.40	3.32	10.10	43
1 :10'000	0.98	0.63	4.15	65
Orthophoto	0.53	0.40	1.25	50
MO	0.31	0.18	1.46	81

Tableau 3-1 : Récapitulatif pour la qualification des différentes géométries

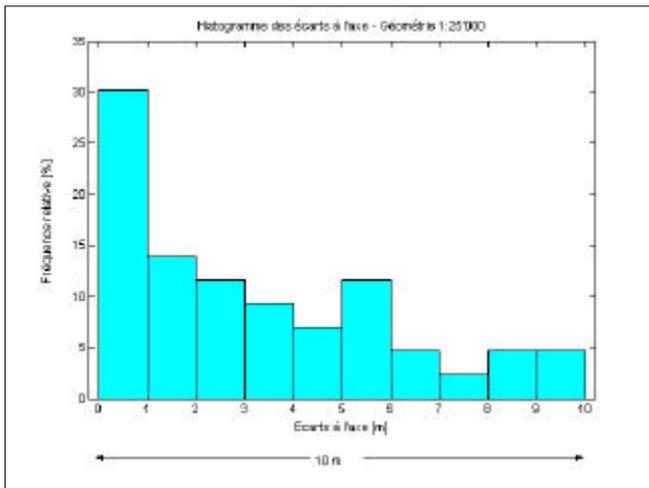


Fig.1 : Qualité de la géométrie du 1 :25'000.

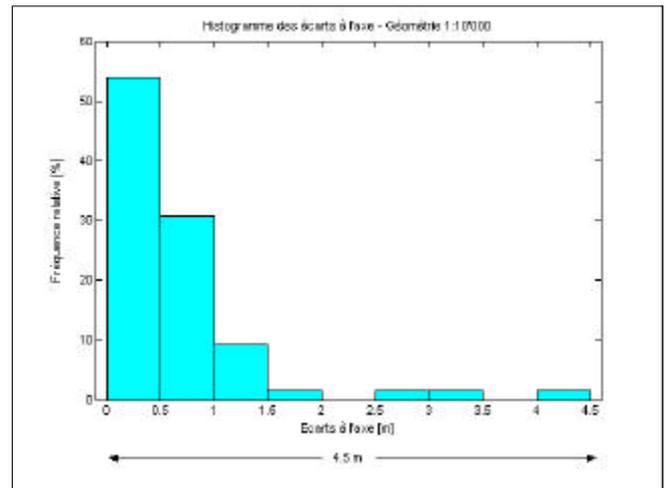


Fig.2 : Qualité de la géométrie du 1 :10'000.

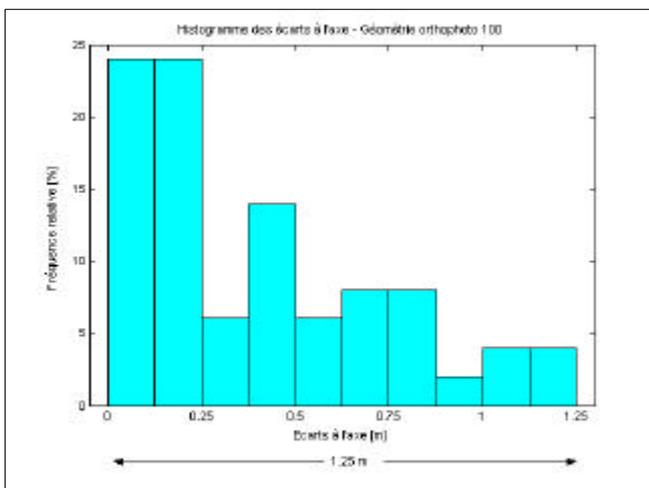


Fig.3 : Qualité de la géométrie de l'orthophoto.

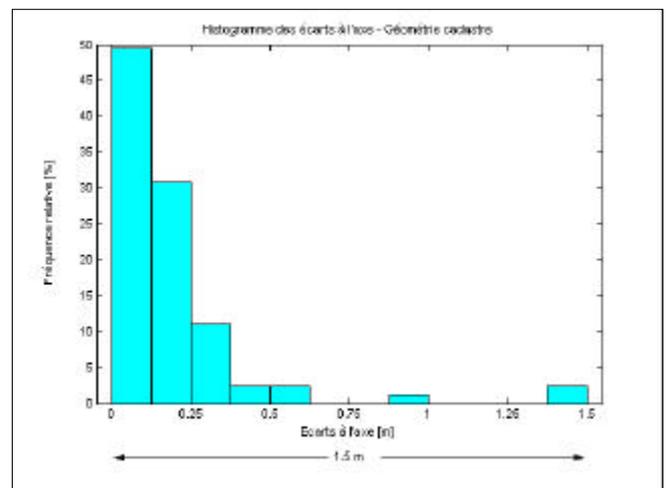
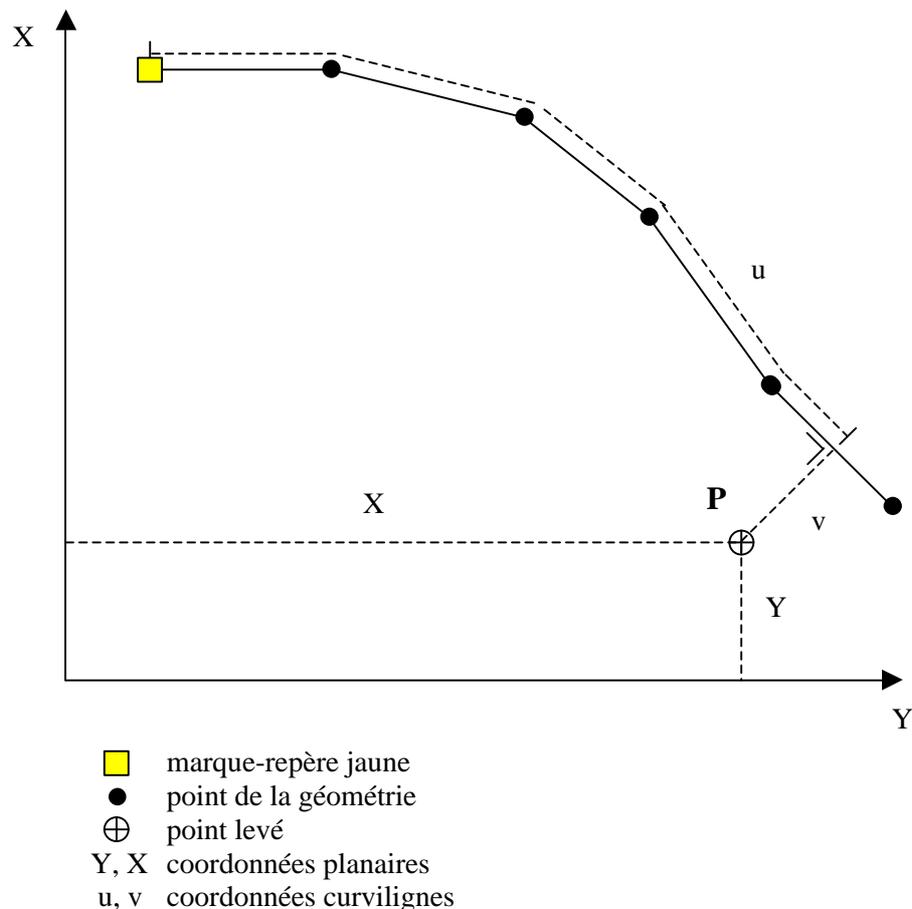


Fig. 4 : Qualité de la géométrie du cadastre.

4 Description des algorithmes de transformation

La transformation $XY \Leftrightarrow uv$ s'effectue simplement en projetant le point P à transformer sur la géométrie linéaire de transformation (Fig. 5). Le SRB s'appuie sur un système de repérage linéaire. L'origine de l'abscisse curviligne est fixée au point de repère précédent. L'interpolation linéaire à l'avantage d'être une modélisation simple de l'axe, mais crée des discontinuités à la jonction entre les segments de droite (orientation discontinue de l'axe). Ce phénomène provoque deux sortes d'inconvénients. Premièrement, pour les points qui peuvent simultanément être projetés sur deux segments, la transformation n'est pas unique : deux transformations sont possibles. Enfin, pour les points dont la projection sur un segment n'est pas possible, la transformation n'existe tout simplement pas. Des solutions à ces deux cas ont été proposées dans [Schnittstellen zwischen Strassendatenbanken und Geo-Informationssysteme] et ne seront pas rediscutées dans cette partie.


 Fig. 5 : Principe de la transformation $XY \leftrightarrow uv$.

5 Simulations de la propagation des erreurs lors de la transformation

Les simulations de propagation d'erreurs lors de la transformation $XY \leftrightarrow uv$ ont été réalisées selon divers scénarios. Pour les différencier, il faut distinguer :

- les erreurs ou incertitudes dont on souhaite simuler la propagation au cours de la transformation (erreurs sur les points restitués d'une géométrie, incertitude sur les points à transformer ou les deux).
- le sens de la transformation à analyser ($XY \rightarrow uv$ ou $uv \rightarrow XY$), car les méthodes de levé des objets routiers ainsi que leur précision sont différentes selon que le levé s'effectue dans le système XY (par exemple la méthode GPS) ou dans le système uv (par exemple la roulette)

Dans ces diverses simulations, seule la planimétrie a été analysée (hypothèse d'une géométrie horizontale). Pour permettre d'estimer et comparer les effets des deux principales sources d'erreurs (erreurs de restitution de la géométrie et erreur de levé des objets), les hypothèses suivantes ont été adoptées. La géométrie GPS, dont la précision est de l'ordre de 10 cm pour les zones de bonne réception des signaux, est considérée comme une géométrie quasi-vraie. Pour les besoins de la simulation, nous avons créé un fichier de 50 objets fictifs levés par GPS (X,Y). La géométrie de l'axe permet de transformer les coordonnées XY des objets fictifs dans l'espace u, v.

5.1 Simulations de la propagation des incertitudes sur les points à transformer

Dans cette simulation, seule la propagation de l'incertitude sur les objets à transformer est analysée. On exploite donc le cas idéal dans lequel la transformation s'effectue selon la géométrie de référence. On fait l'hypothèse que cette géométrie est restituée sans erreur.

On considère la transformation $XY \rightarrow uv$: dans ce cas, on simule l'effet de l'incertitude sur des points levés par DGPS. On choisit d'introduire une erreur aléatoire planimétrique à l'ensemble des points fictifs. Cette erreur correspond à un écart-type de 50 cm suivant une distribution selon la loi normale. Ces objets sont ensuite transformés en coordonnées (u, v) et comparés aux (u, v) non entachées d'erreur. Les écarts planimétriques observés sont résumés dans les tableaux 2.1 et 2.2 et représentés à la figure 6.

Géométrie de transformation	Ecart-type [m]	Moyenne des écarts [m]	Ecart max. [m]	Taille de l'échantillon
GPS	0.49	0.40	1.11	50

Tab. 2.1 : Ecarts planimétriques résultant de la transformation $XY \rightarrow uv$ (géométrie GPS) avec $\sigma_{yx} = 0.5$ m.

Géométrie de transformation	Moyenne des écarts u [m]	Moyenne des écarts v [m]	Moyenne de l'erreur rel. u [%]	Moyenne de l'erreur rel. v [%]	Taille de l'échantillon
GPS	0.24	0.26	0.6	17.0	50

Tab. 2.2 : Ecarts curvilignes résultant de la transformation $XY \rightarrow uv$ (géométrie GPS) avec $\sigma_{yx} = 0.5$ m.

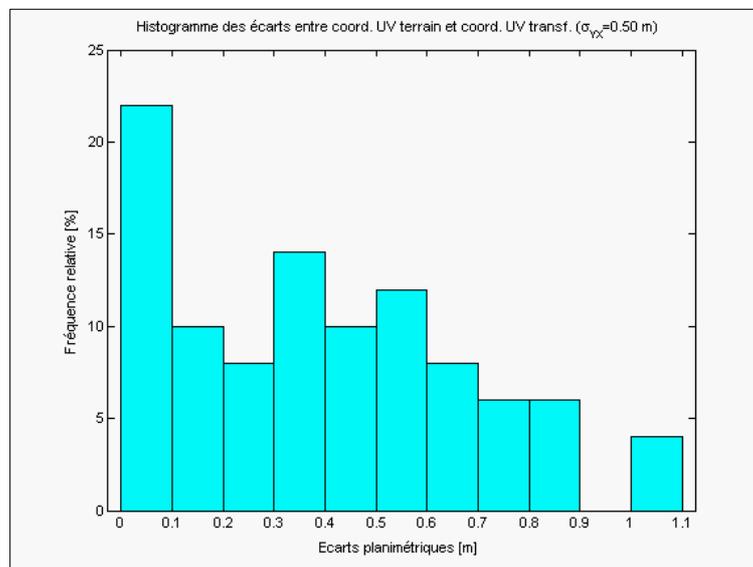


Fig. 6 : Histogramme des écarts planimétriques observés pour la transformation $XY \rightarrow uv$.

Si l'on considère la transformation inverse $uv \rightarrow XY$, on peut simuler l'effet de l'erreur sur des points levés à la roulette. On introduit un facteur d'échelle de 4‰ sur les coordonnées (u, v) des objets levés. En les transformant dans le système XY , on observe la propagation des erreurs par comparaison avec les coordonnées (X, Y) d'origine. Celles-ci sont résumées dans le tableau 3 et représentées à la figure 7.

Géométrie de transformation	Ecart-type [m]	Moyenne des écarts [m]	Ecart max. [m]	Taille de l'échantillon
GPS	0.60	0.52	0.97	50

Tab. 3 : Ecarts planimétriques résultant de la transformation uv? XY (géométrie GPS) avec $\varepsilon_u = \varepsilon_v = 4\%$.

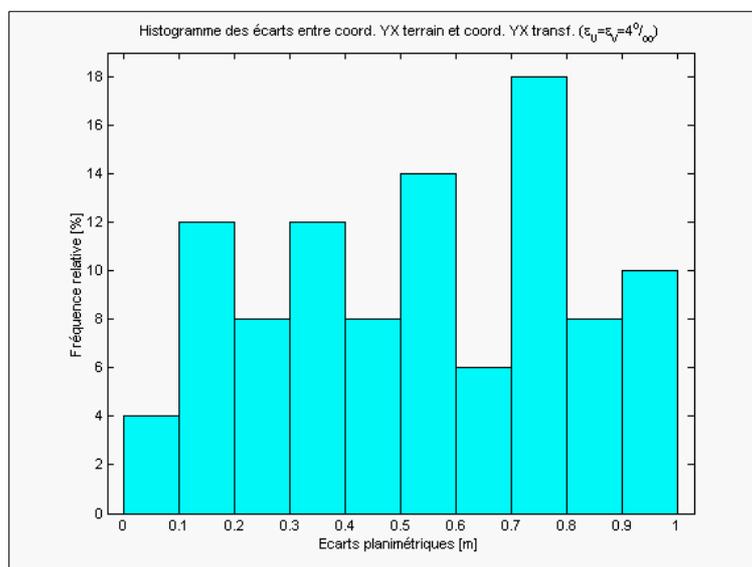


Fig. 7 : Histogramme des écarts planimétriques observés pour la transformation uv? XY.

5.2 Simulations de la propagation des erreurs de restitution de la géométrie

Dans cette simulation, on teste uniquement l'effet de la qualité de la géométrie sur la transformation. On s'appuie sur l'hypothèse que les points à transformer sont connus dans les deux systèmes X, Y et u, v et leur coordonnées sont sans erreur. Les écarts observés lors des transformations avec les géométries de la carte nationale, du plan d'ensemble, de l'orthophoto et du cadastre sont résumés dans le tableau 4 et présentés dans les figures 8 à 11.

Géométrie de transformation	Ecart-type [m]	Moyenne des écarts [m]	Ecart max. [m]	Taille de l'échantillon
1 :25'000	3.65	3.00	9.24	50
1 :10'000	0.92	0.68	2.36	50
Orthophoto	0.48	0.39	1.58	50
MO	0.44	0.29	1.36	50

Tab. 4.1 : Ecarts planimétriques résultant des transformations XY \leftrightarrow uv par diverses géométries.

Géométrie de transformation	Moyenne des écarts u [m]	Moyenne des écarts v [m]	Moyenne de l'erreur rel. u [%]	Moyenne de l'erreur rel. v [%]	Taille de l'échantillon
1 :25'000	1.47	2.24	1.3	109.2	50
1 :10'000	0.44	0.39	0.5	25.2	50
Orthophoto	0.18	0.30	0.2	19.8	50
MO	0.20	0.14	0.2	7.2	50

Tab. 4.2 : Ecarts curvilignes résultant des transformations XY \leftrightarrow uv par diverses géométries.

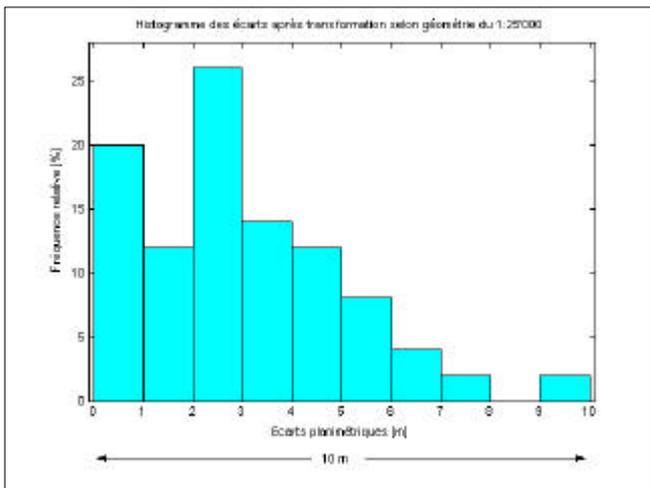


Fig. 8 : Histogramme des écarts planimétriques après transformation par la géométrie du 1 :25'000.

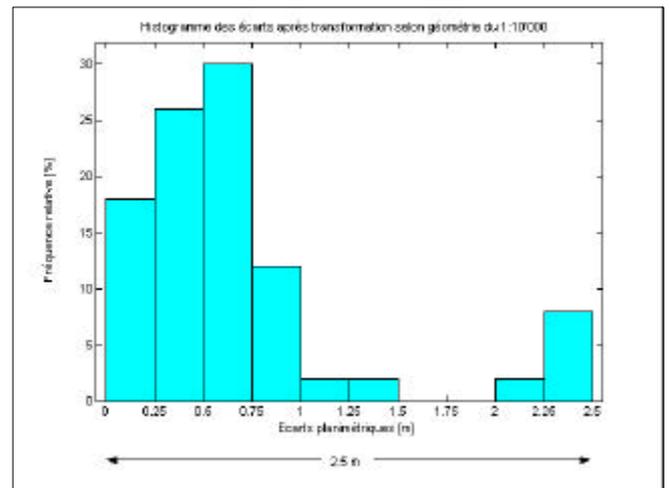


Fig. 9 : Histogramme des écarts planimétriques après transformation par la géométrie du 1 :10'000.

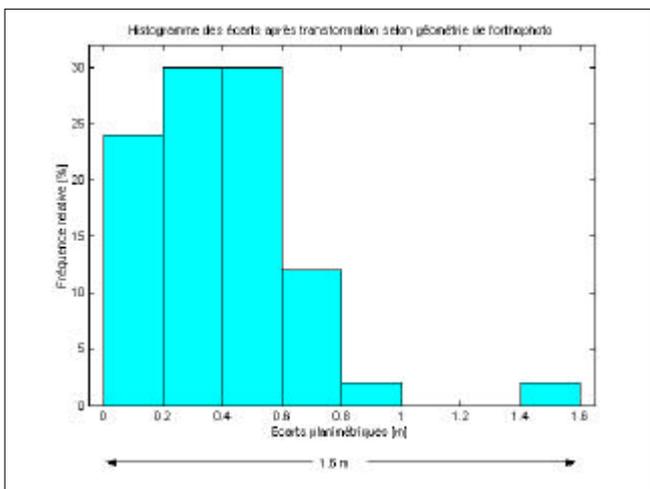


Fig. 10 : Histogramme des écarts planimétriques après transformation par la géométrie de l'orthophoto.

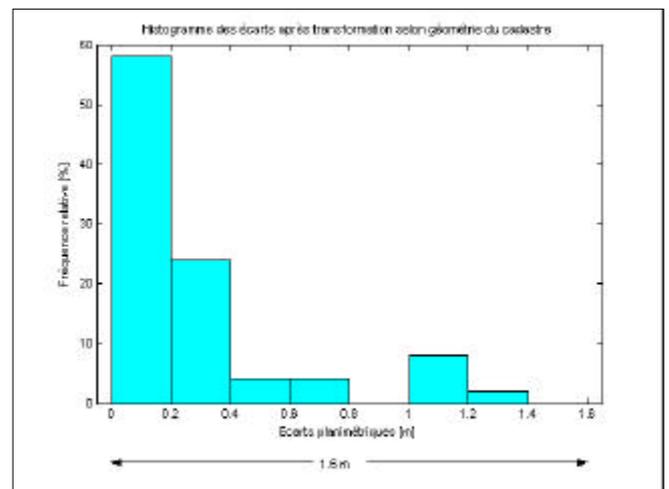


Fig. 11 : Histogramme des écarts planimétriques après transformation par la géométrie du cadastre.

5.3 Méthodologie proposée

Les résultats présentés illustrent bien que la qualité de la géométrie de référence croît avec le degré de détail de la source dont elle dérive. Non seulement en terme de précision, mais également en terme de fiabilité. Ainsi, par exemple un tracé qui n'est pas mis à jour sur une carte nationale peut produire des écarts si grands, qu'il peut devenir impossible de distinguer deux objets pourtant distants de 10 m dans le terrain après transformation. Ce cas n'est pas à généraliser, mais montre qu'il est indispensable de disposer d'indications sur la qualité de la géométrie utilisée. Bien que logique, cette conclusion pose plutôt la question de savoir, parmi les sources d'information à disposition, lesquelles peuvent servir à dériver la géométrie de référence et lesquelles sont à utiliser plutôt pour de la représentation.

Une proposition est d'assurer la compatibilité entre la qualité de la géométrie utilisée et la qualité des données routières à transformer. Or une géométrie possède essentiellement deux fonctions: référence ou représentation. La fonction de la géométrie de référence est d'assurer une transformation $XY \Leftrightarrow uv$ bi-univoque, en respectant certains critères (précision, fiabilité, continuité, etc.). Tandis que la fonction de la géométrie de représentation est d'assurer la transformation $uv \rightarrow XY$ en utilisant une géométrie

dont le degré de généralisation correspond à celui des données routières à représenter. Par conséquent, pour qu'à chaque objet routier stocké dans la BD ne soient associés qu'un seul couple de coordonnées (X, Y) et qu'un seul couple (u, v), la géométrie de référence doit être unique de manière à permettre une transformation bi-univoque. Par contre, la géométrie de représentation peut être multiple. Le tableau 5 résume les différences entre géométrie de référence et de représentation :

	Fonction de la transformation	Nombre	Données	Utilité des données routières transformées
Géométries	Référence	Unique	3D	Stockage (coordonnées) dans la BD routière
	Représentation	Multiplés	2D	Représentations sur fonds cartographiques divers

Tab. 5 : Caractéristiques principales des géométries de référence et de représentation.

Il s'agit alors, en fonction des exigences requises pour la géométrie de référence, de pouvoir classer les différentes géométries selon leur utilisation la plus appropriée. Les exigences, en particulier la précision, ne sont pas toujours identiques selon les besoins.

Dans l'exemple d'un relevé en milieu urbain, la densité des objets peut être plus importante qu'en milieu rural. Il serait important de pouvoir distinguer deux objets proches, par exemple deux regards voisins. Dans ce cas, si l'on choisit une méthode de levé qui garantit cette exigence, la géométrie de référence choisie devra assurer une qualité similaire. Pour illustrer ce cas précis, d'après les tableaux 1 et 4.1, la classification des géométries à choix serait la suivante :

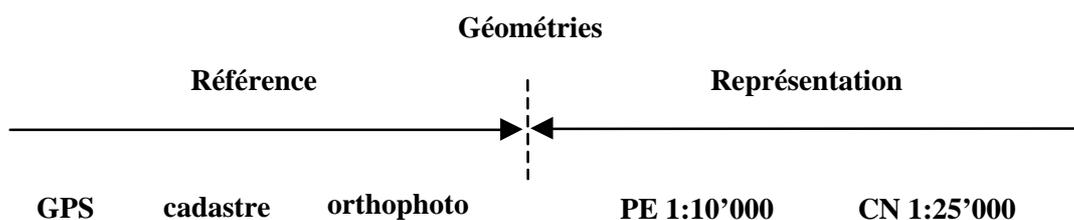


Fig. 12 : Utilisation des géométries classées selon leur degré de détail.

12. Projet AGRAM – Structure du rapport

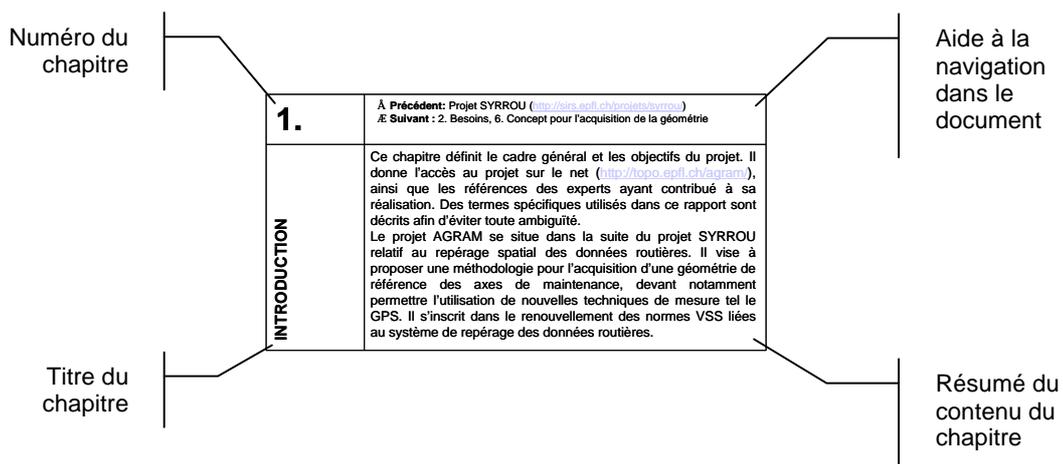
Étude de l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance
 Base pour la révision des normes VSS SN 640 910, SN 640 911 et SN 640 920

A propos du projet

AGRAM, acronyme de « Acquisition d’une Géométrie de Référence des Axes de Maintenance », est un projet de recherche de l’Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Il a pour objectif de développer un concept et proposer une méthodologie pour la saisie de la géométrie des axes de routes, répondant aux besoins de la gestion de leur entretien.

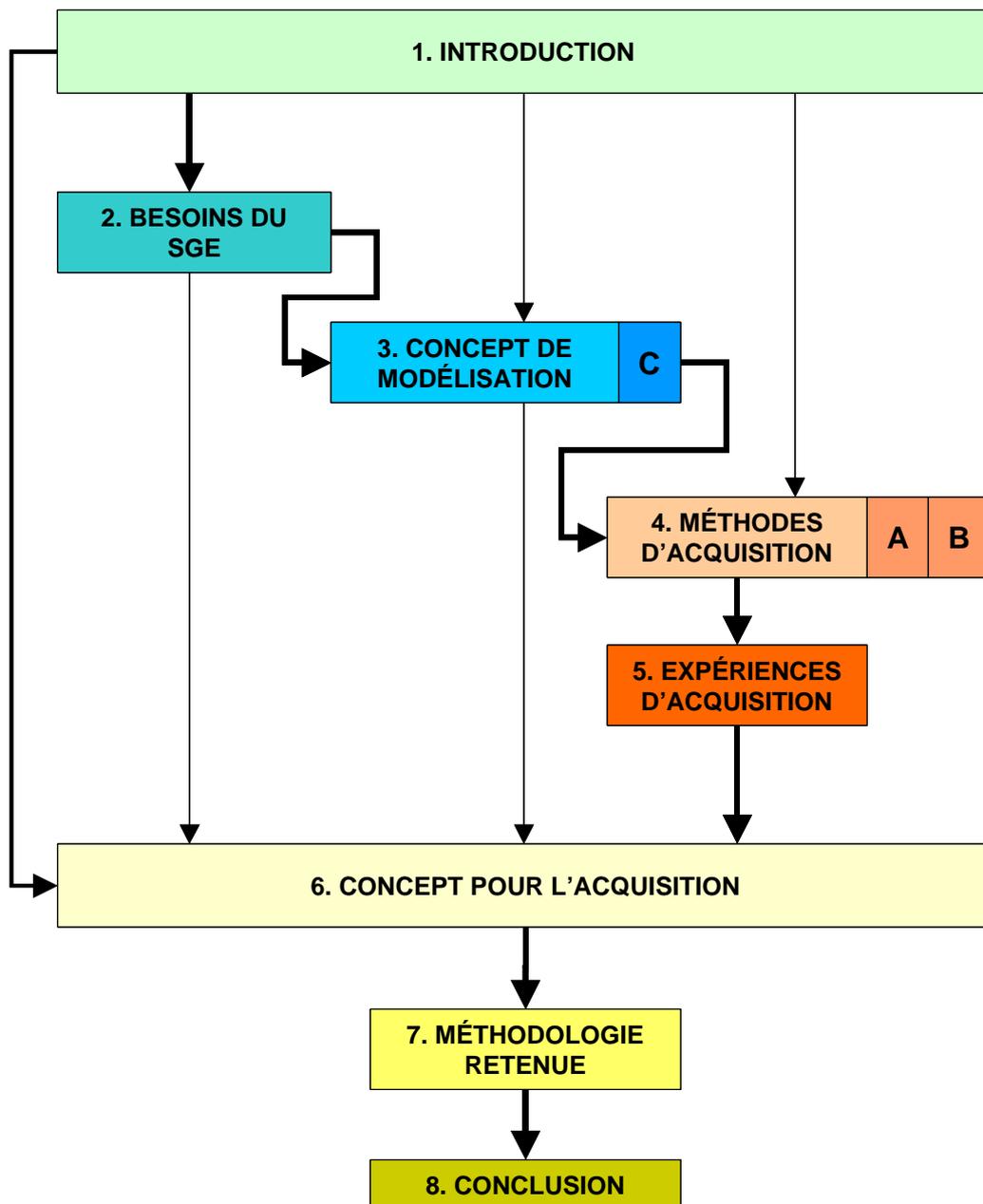
A propos de ce document

Ce document décrit la structure du rapport final du projet. Il présente un résumé du contenu des différents chapitres, ainsi que des annexes. Il peut servir de porte d’entrée au rapport complet, ou être destiné au lecteur qui souhaite obtenir une vue d’ensemble de l’étude sans avoir à se plonger dans le contenu détaillé. Il est structuré selon la table des matières du rapport. Chaque chapitre y est présenté selon le principe suivant :



Vue synoptique du rapport

La figure ci-dessous offre une vue synoptique des différentes parties du rapport et de leurs relations.



Contenu du rapport par chapitre

1.	<p>À Précédent : Projet SYRROU (http://lasig.epfl.ch/projets/syrrou/)</p> <p>Æ Suivant : 2. Besoins du SGE, 6. Concept pour l’acquisition de la géométrie</p>
INTRODUCTION	<p>Ce chapitre définit le cadre général et les objectifs du projet. Il donne l’accès au projet sur Internet (http://topo.epfl.ch/agram/), ainsi que les références des experts ayant contribué à sa réalisation. Des termes spécifiques utilisés dans ce rapport sont décrits afin d’éviter toute ambiguïté.</p> <p>Le projet AGRAM se situe dans la suite du projet SYRROU relatif au repérage spatial des données routières. Il vise à proposer une méthodologie pour l’acquisition d’une géométrie de référence des axes de maintenance, devant notamment permettre l’utilisation de nouvelles techniques de mesure tel le GPS. Il s’inscrit dans le renouvellement des normes VSS liées au système de repérage des données routières.</p>

2.	<p>À Précédent : 1. Introduction</p> <p>Æ Suivant : 3. Concept de modélisation, 6. Concept pour l’acquisition de la géométrie</p>
BESOINS DU SGE	<p>Ce chapitre définit les besoins du système de gestion de l’entretien (SGE) en terme de géométrie des axes. On distingue les besoins liés aux processus métier de ceux liés à la gestion des données. Une analyse assez détaillée est effectuée pour chaque processus métier (entretien courant, télématique et trafic, PMS, management multi-projets, etc.). En matière de gestion des données, les exigences relatives à la géométrie des axes découlent principalement des besoins suivants : utilisation des nouvelles techniques de mesure (notamment le GPS) pour le relevé des données routières, amélioration de la mesure de longueur des secteurs et des processus qui lui sont liés (repérage spatial des marques, calage), représentation cartographique des données routières à grande échelle, exploitation des données altimétriques, mise à jour des géométries.</p> <p>L’analyse des besoins permet de définir les exigences pour les différents métiers, processus et objets levés. Il en découle une classification des besoins de précision pour la géométrie d’axe. On distingue les exigences de précision planimétrique (classées en quatre types : de quelques centimètres à quelques mètres) et de précision altimétrique (classées en deux types : décimétrique et métrique, en plus des cas qui ne nécessitent pas d’information sur l’altitude).</p> <p>Enfin, la géométrie de référence doit permettre une transformation de coordonnées entre les systèmes de repérage planaire et linéaire qui n’introduit pas d’incertitude supplémentaire dans la localisation des objets.</p>

<p>3.</p>	<p>À Précédent : 1. Introduction, 2. Besoins du SGE Æ Suivant : 4. Méthodes d'acquisition, 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie, Annexe C : Qualité de la transformation $XY \Leftrightarrow uv$</p>
<p>CONCEPT DE MODÉLISATION</p>	<p>Ce chapitre introduit le problème de la modélisation de la géométrie. Il présente le modèle existant dans les bases de données routières actuelles, qui répond aux principes et aux exigences du système de repérage de base (SRB). Il propose ensuite une définition et un concept de modélisation pour la géométrie, et l'influence de ce dernier sur la précision des transformations. Il aborde enfin la question des coordonnées tridimensionnelles et de leur transformation entre les systèmes de repérage sur la base de ce modèle.</p> <p>La description de la géométrie des axes routiers est indispensable pour la transformation de coordonnées entre le système de repérage linéaire et le système de repérage planaire. Par géométrie d'axe, on entend la description vectorielle de la position et de la forme géométrique de l'axe routier dans l'espace. La localisation de l'axe est effectuée dans un système de coordonnées planaires (X,Y), en l'occurrence le système suisse. On peut distinguer deux types de géométries différents :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La géométrie de référence permet de transformer les coordonnées X,Y,(Z) du terrain en u,v et vice versa. C'est une géométrie tridimensionnelle. Elle est unique pour un axe de maintenance donné, afin d'assurer l'univocité de la transformation. • La géométrie de représentation permet de transformer les coordonnées u,v en coordonnées X,Y d'une représentation cartographique et vice versa. On peut envisager plusieurs géométries de représentation, chacune adaptée à l'échelle cartographique et au degré de généralisation utilisés. <p>La géométrie de référence doit répondre à des critères de qualité (précision, fiabilité, etc.) ainsi qu'à des critères de gestion et d'exploitation (univocité de la transformation, génération de géométries de représentation, etc.). Pour cela, le modèle géométrique préconisé pour l'acquisition de la géométrie de référence est une séquence de points reliés par des droites. Les données selon cette modélisation peuvent être fournies et leur mise à jour peut être assurée de manière simple.</p>

<p>4.</p>	<p>À Précédent : 1. Introduction, 3. Concept de modélisation Æ Suivant : 5. Expériences d'acquisition, 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie, Annexe A : Sources de données, Annexe B : Technologie d'acquisition</p>
<p>MÉTHODES D'ACQUISITION</p>	<p>Ce chapitre présente les méthodes adaptées à l'acquisition de la géométrie des axes de maintenance. Celles-ci doivent répondre aux exigences de qualité demandées pour la géométrie de référence. Certaines peuvent aussi être envisagées pour l'acquisition de géométries de représentation.</p> <p>On distingue les méthodes d'acquisition sur le terrain (acquisition initiale) et les méthodes qui utilisent des données existantes (acquisition dérivée). On présente d'une part les technologies permettant de lever la géométrie à partir de mesures <i>in situ</i>, et d'autre part les sources de données géographiques sur la base desquelles la géométrie peut être dérivée.</p> <p>Selon les exigences de précision, selon la disponibilité des données de base, selon les possibilités de levé sur le terrain, une combinaison de méthodes peut être envisagée.</p> <p>Les annexes A et B complètent ce chapitre en donnant plus de détails concernant les données géographiques de base, respectivement les technologies d'acquisition de données.</p>

<p>5.</p>	<p>À Précédent : 4. Méthodes d'acquisition Æ Suivant : 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie, Annexe C : Qualité de la transformation $XY \leftrightarrow uv$</p>
<p>EXPÉRIENCES D'ACQUISITION</p>	<p>Ce chapitre décrit les expériences d'acquisition de la géométrie réalisées dans le cadre de l'étude. Celles-ci concernent aussi bien des méthodes <i>in situ</i> avec un système de levé topométrique mobile, que des méthodes d'acquisition dérivée utilisant des données existantes (orthophoto, cadastre, etc.).</p> <p>Une analyse de précision et une comparaison des méthodes sont effectuées, mettant en évidence les avantages et inconvénients d'un levé par GPS d'une part (intégré à un système topométrique mobile), et d'une digitalisation à partir de données numériques existantes d'autre part (plans, cartes et orthophotos). L'annexe C complète cette analyse de précision et illustre les principes de qualification de la géométrie par une série de simulations.</p> <p>Ces expériences permettent de tirer les conclusions préliminaires suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si la géométrie de référence est levée à l'aide d'un système topométrique mobile (GPS), il est conseillé de lever également les marques jaunes des points de repère du système de repérage de base avec précision. D'une part, les coordonnées X,Y des marques jaunes permettent de mettre en relation la géométrie de référence et le SRB. D'autre part, elles servent au calcul des longueurs des secteurs (distance curviligne entre deux points de repère voisins le long d'un axe. • Les documents cartographiques à petite échelle ne sont pas assez précis pour digitaliser l'axe de maintenance. Ils peuvent toutefois être une alternative intéressante pour certaines classes de routes. • Les orthophotos digitales de haute résolution et la mensuration officielle sont des sources précieuses de données dans la mesure de leur couverture et de leur disponibilité. Toutefois, la collecte d'informations et les opérations de digitalisation restent relativement coûteuses. • Il faut absolument prendre en considération la mesure de l'altitude dans les régions vallonnées et dans les zones de montagnes. Les modèles numériques de haute résolution seront certainement une source d'information utile pour cette question. • Les méthodes topométriques modernes comme le GPS sont adaptées et efficaces pour le relevé précis de la géométrie des axes et du SRB. Il faut toutefois envisager un dispositif de mesures embarqué dans un véhicule et permettant une grande automatisation des tâches de restitution.

<p>6.</p>	<p>À Précédent : 1. Introduction, 2. Besoins du SGE, 3. Concept de modélisation, 4. Méthodes d'acquisition, 5. Expériences d'acquisition Æ Suivant : 7. Méthodologie retenue</p>
<p>CONCEPT POUR L'ACQUISITION</p>	<p>Ce chapitre propose un concept qui montre les étapes principales nécessaires à l'acquisition d'une géométrie de référence des axes de maintenance. La géométrie de référence peut être envisagée comme un complément efficace au SRB. C'est la « colonne vertébrale » de la base de données routières qui permet de communiquer de manière fiable avec diverses bases de données géographiques. C'est également le moyen indispensable pour utiliser efficacement les nouvelles techniques de localisation comme le GPS.</p> <p>Le concept proposé décrit un plan d'action pour l'acquisition de la géométrie. Ce dernier préconise de tenir compte et d'intégrer les étapes suivantes dans la planification et la réalisation d'une acquisition de la géométrie : besoins des utilisateurs, analyse du réseau routier, inventaire des sources de données. Le plan d'action doit aussi permettre de réfléchir aux étapes ultérieures qui permettront l'exploitation de la nouvelle géométrie : adaptation du SRB, processus de mise à jour, définition des transformations $XY \leftrightarrow uv$.</p>

<h1>7.</h1>	<p>À Précédent : 5. Expériences d'acquisition, 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie Æ Suivant : Annexe C : Qualité de la transformation $XY \Leftrightarrow uv$, 8. Conclusion</p>
<h2>MÉTHODOLOGIE RETENUE</h2>	<p>Ce chapitre donne une description des principales étapes de la méthodologie retenue pour illustrer les principes exposés dans la proposition d'un concept d'acquisition. Cette première proposition de méthodologie s'appuie sur les expériences réalisées. D'autres voies peuvent être prospectées et le seront certainement lors d'expériences ultérieures.</p> <p>En se basant sur le concept du plan d'action pour l'acquisition de la géométrie de référence, les principales étapes sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planification des tronçons de routes à relever. 2. Inventaire des sources de données géographiques. 3. Evaluation des coûts pour le levé de la géométrie et des points de repère. 4. Levé de certains points de repère (marques jaunes) à l'aide de la méthode GPS. 5. Restitution de la géométrie de l'axe de maintenance : <ul style="list-style-type: none"> • Par digitalisation sur des orthophotos numériques de haute résolution. • Par exploitation des données de la mensuration officielle. • Par un levé GPS cinématique (mobile mapping). 6. Modélisation de la géométrie de l'axe de maintenance : <ul style="list-style-type: none"> • Choix judicieux de la densité des points (fonction de la sinuosité). • Analyse de la qualité du levé de la géométrie. 7. Stockage de la géométrie dans une base de données (Strada-DB). 8. Exploitation de la géométrie de référence : <ul style="list-style-type: none"> • Calcul des longueurs de secteurs. • Détermination des procédures de transformation $XY \Leftrightarrow uv$. 9. Etablissement d'une procédure pour la mise à jour de la géométrie de référence. <p>L'annexe C permet également de compléter ce chapitre par rapport aux critères de qualité de la géométrie.</p>

<h1>8.</h1>	<p>À Précédent : 1. Introduction, 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie, 7. Méthodologie retenue À Suivant : Projet « Gestion de la qualité des données du repérage spatial et de la géométrie des axes routiers »</p>
<h1>CONCLUSION</h1>	<p>Le chapitre de conclusion émet des recommandations dans trois domaines : la normalisation, l'acquisition de la géométrie, et la gestion de la géométrie.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour la normalisation, il convient de faire la distinction entre la géométrie de référence, issue du terrain ou de données numériques de haute précision (par ex. orthophoto) et composée d'un ensemble de points 3D caractérisant l'axe routier, et la géométrie de représentation, de qualité égale ou inférieure, utilisée pour la combinaison de données routières repérées dans un système linéaire u,v et de données cartographiques repérées dans un système cartésien X,Y. La géométrie de représentation doit être adaptée à l'échelle cartographique et au degré de généralisation de la carte. On peut ainsi disposer de plusieurs géométries de représentation, alors que la géométrie de référence est unique. Les objectifs de la normalisation sont les suivants : définir les différents types de géométrie ainsi que leurs domaines respectifs d'utilisation, fixer les critères de qualité pour la géométrie de référence en respectant les exigences des métiers de la route, proposer un mode de documentation de la qualité de la géométrie basé sur les métadonnées. • Pour l'acquisition de la géométrie de référence, les buts sont : adapter la méthode d'acquisition aux critères de qualité définis par les utilisateurs, choisir des méthodes d'acquisition fiables permettant une qualification du lever de la géométrie, associer à chaque tronçon routier les métadonnées sur la qualité de la géométrie. Le libre de choix de la méthode est préconisé, en fonction de la qualité à atteindre. Celle-ci doit être déterminée avant tout par les besoins des utilisateurs. Pour la géométrie de référence, des méthodes telles que les systèmes de levé topométrique mobiles (SLTM) et la photogrammétrie numérique paraissent adaptées en regard des exigences de qualité requises. D'autres méthodes ne sont cependant pas à exclure. Pour la géométrie de représentation, une acquisition par digitalisation sur la base de données existantes (orthoimages, cartes, plans, etc.) semble être une des voies à suivre. Sur un même réseau, plusieurs qualités de géométrie peuvent alors coexister selon les méthodes utilisées. Il est ainsi nécessaire de documenter précisément la géométrie de référence par des métadonnées. • Pour la gestion de la géométrie, il convient de planifier la procédure de mise à jour, de prévoir les processus de transformation $XY \Leftrightarrow uv$, et de définir des modèles adaptés à l'exploitation de la géométrie de référence. <p>Des investigations supplémentaires sont proposées dans le domaine des coûts, des nouveaux produits numériques, et des méthodes topométriques mobiles. Enfin, une étude sur la gestion de la qualité des données du repérage spatial et de la géométrie des axes routiers dans les bases de données routières fera suite au projet AGRAM et fournira un appui à la rédaction des normes sur le repérage spatial des données routières.</p>

Synthèse des annexes

<p>A.</p>	<p>À Précédent : 4. Méthodes d'acquisition Æ Suivant : Annexe B : Technologie d'acquisition, 5. Expériences d'acquisition</p>
<p>SOURCES DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES</p>	<p>Cette annexe présente les caractéristiques détaillées des différentes données géographiques qui ont été considérées comme source potentielle pour l'acquisition de la géométrie de référence. Cet inventaire permet de mieux évaluer le potentiel des données existantes pour un concept d'acquisition de la géométrie.</p> <p>Les caractéristiques sont classées dans les catégories suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Structure de la donnée • Origine de la donnée • Caractéristiques spatiales • Caractéristiques temporelles • Accessibilité

<p>B.</p>	<p>À Précédent : 4. Méthodes d'acquisition, Annexe A : Sources de données Æ Suivant : 5. Expériences d'acquisition</p>
<p>TECHNOLOGIE D'ACQUISITION DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES</p>	<p>Les outils de levé modernes de la géomatique peuvent être classés selon les catégories suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Photogrammétrie et traitement d'images • Topométrie • Méthodes satellitaires • Méthodes mixtes : photogrammétrie + topométrie <p>Cette annexe décrit les différentes innovations techniques que l'on trouve dans les méthodes de mesures et les interactions possibles entre ces différentes méthodes. C'est dans cette optique que les systèmes topométriques mobiles (Mobile Mapping System) ont été développés en cherchant à intégrer les outils de la navigation avec ceux du traitement d'images.</p>

<p>C.</p>	<p>À Précédent : 3. Concept de modélisation, 5. Expériences d'acquisition Æ Suivant : 4. Méthodes d'acquisition, 6. Concept pour l'acquisition de la géométrie</p>
<p>QUALITÉ DE LA TRANSFORMATION XY ⇔ UV</p>	<p>Cette annexe décrit les résultats de quelques simulations réalisées dans le but d'estimer les effets de la qualité de la géométrie utilisée et des incertitudes de levé sur la transformation $XY \leftrightarrow uv$. L'outil de programmation Matlab a permis, sur la base de diverses géométries digitalisées, d'apporter des éléments de réponse quant aux questions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualifier les différentes géométries d'axes utilisables dans le cadre des transformations $XY \leftrightarrow uv$. • Développer des algorithmes efficaces pour la transformation $XY \leftrightarrow uv$. • Etudier la propagation des erreurs lors de la transformation en fonction de différentes géométries. • Proposer des règles simples permettant de qualifier la méthodologie de transformation.

13. Projekt AGRAM – Struktur des Berichtes

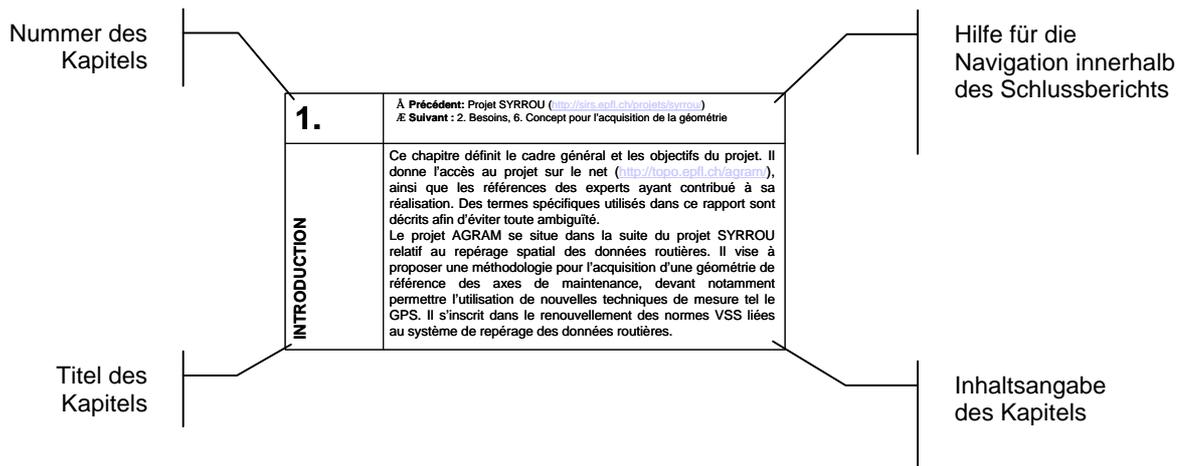
Studie über die Beschaffung der Bezugsgeometrie der Unterhaltsachsen
 Grundlage für die Revision der Normen VSS SN 640 910, SN 640 911 und SN 640 920

Allgemeines zum Projekt

AGRAM, Akronym für « Acquisition d’une Géométrie de Référence des Axes de Maintenance » (Beschaffung der Bezugsgeometrie der Unterhaltsachsen), ist ein Forschungsprojekt der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Lausanne (EPFL). Hauptziel ist es, ein Konzept und eine Methodik zur Beschaffung der Bezugsgeometrie der Unterhaltsachsen zu erarbeiten, die den Bedürfnissen im Management der Strassenerhaltung (MSE) entsprechen.

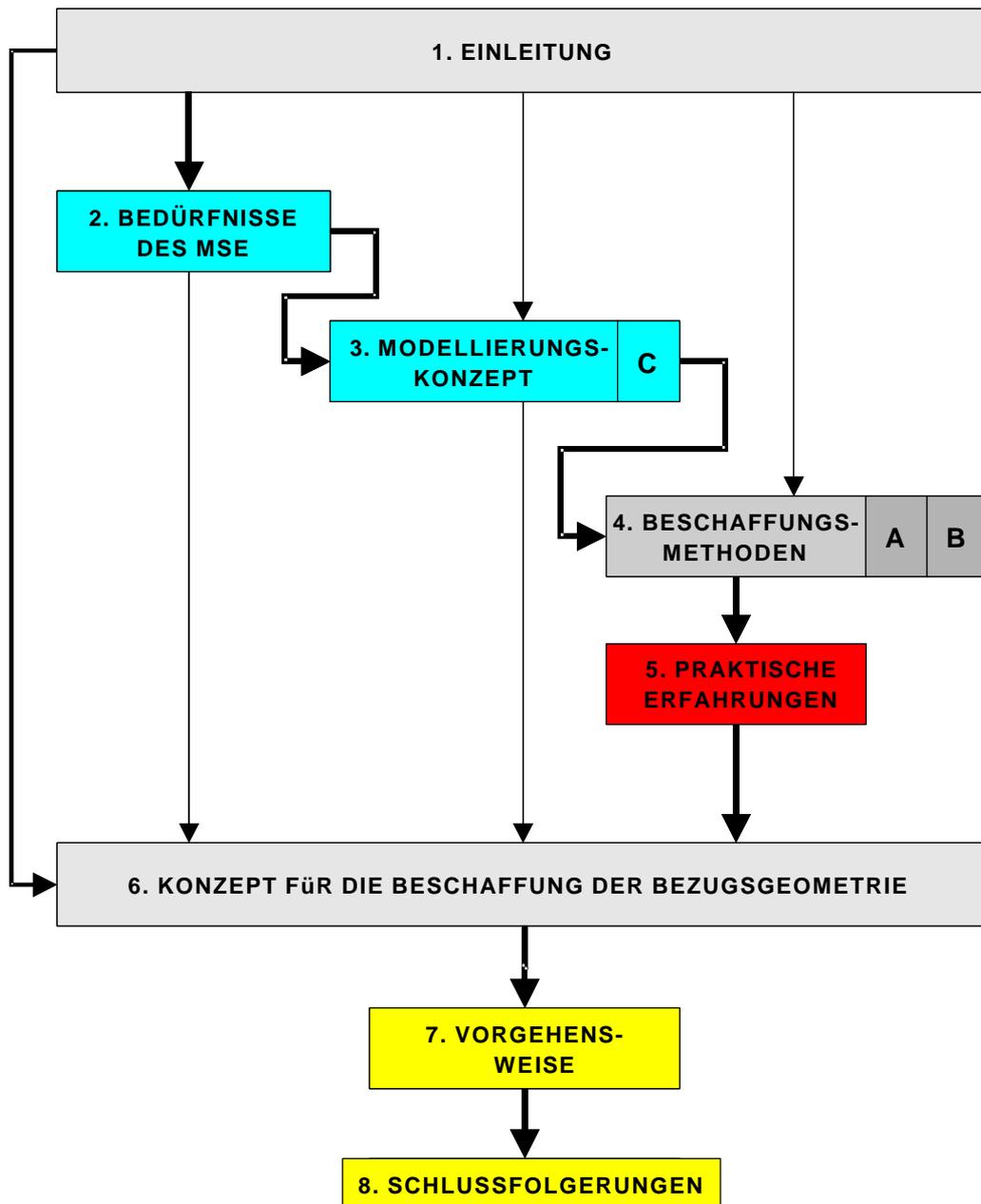
Allgemeines zu diesem Dokument

Dieses Dokument beschreibt die Struktur des Schlussberichts dieses Projekts. Es kann den Leser in die einzelnen Kapitel des Schlussberichts einführen oder dem Leser eine Übersicht darlegen, ohne dass er sich in die Einzelheiten des Berichts vertiefen muss. Jedes Kapitel wird wie folgt dargestellt:



Struktur des Schlussberichts

Das folgende Schema stellt die Kapitel des Schlussberichts mit ihren Beziehungen dar.



Inhaltsangabe nach Kapitel

1.	<p>Å Vorerst : Projekt SYRROU (http://lasig.epfl.ch/projets/syrrou/) Æ Danach : 2. Anforderungen des MSE, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie</p>
EINLEITUNG	<p>Dieses Kapitel legt die Rahmenbedingungen und die Ziele des Projekts fest. Es weist auf die Internetseite des Projektes hin(http://topo.epfl.ch/agram/), und beinhaltet die Namen der Experten, die zum Projekt beigetragen haben. Mehrere Begriffe werden festgelegt, um mögliche Zweideutigkeiten zu vermeiden.</p> <p>Das AGRAM-Projekt ist ein Folgeprojekt vom SYRROU-Projekt, dass das lineare Raumbezugssystem begründet. Ziel ist es, eine Methode für die Beschaffung der Bezugsgeometrie der Strassen-Unterhaltsachsen festzulegen, die unter anderem die Umrechnung der GPS-Messungen in lineare Koordinaten ermöglichen soll. Dieses Projekt soll Grundlagen für die Revision der VSS-Normen zum Raumbezug von Strassendaten schaffen.</p>

2.	<p>Å Vorerst : 1. Einleitung Æ Danach : 3. Modellierungskonzept, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie</p>
ANFORDERUNGEN DES MSE	<p>Dieses Kapitel beschreibt die Anforderungen des Management der Strassenerhaltung (MSE) an die Geometrie der Strassen-Unterhaltsachsen. Es wird zwischen den Anforderungen der Fachprozesse und den Anforderungen des Datenmanagements unterschieden.</p> <p>Die Anforderungen der Fachprozesse werden definiert, indem die einzelnen Fachprozesse (Betrieblicher Unterhalt, Telematik und Verkehr, PMS, Projekt-Management usw.) detailliert analysiert werden.</p> <p>Im Datenmanagement werden die Anforderungen auf Grund folgender Aktivitäten definiert: Nutzung von neuen Messtechnologien (z.B. GPS) für die Datenerhebung, präzisere Sektorlängenmessung, Versicherung der Markierungen der Bezugspunkte durch GPS-Messungen, kartographische Darstellung im grossen Massstab, Nutzung von Höhendaten, Nachführung der Achsgeometrien</p> <p>Die Anforderungen werden nach planimetrischer Präzision in vier Kategorien (von wenigen Zentimeter bis hin zu einigen Meter) und nach altimetrischer Präzision in drei Kategorien (keine, Dezimeter, Meter) klassiert.</p> <p>Die Bezugsgeometrie muss eine Koordinatentransformation zwischen linearem und flächigem Bezugssystemen ermöglichen, ohne dass neue Fehler eingefügt werden.</p>

<h3>3.</h3>	<p>À Vorerst : 1. Einführung, 2. Anforderungen des MSE Æ Danach : 4. Beschaffungsmethoden, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie, Anhang C : Qualität der XY \leftrightarrow uv Transformation</p>
<h3>MODELLIERUNGSKONZEPT</h3>	<p>Dieses Kapitel behandelt die Modellierung der Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse. Es beschreibt die Abbildung der Geometrie in der Strassendatenbank. Dazu werden einige Grundbegriffe und ein Modellierungskonzept eingeführt. Die Konsequenzen der Modellierung für die Koordinatentransformation werden aufgezeigt. Schliesslich werden Fragen aufgeworfen, wie kartesische Koordinaten im dreidimensionalen Raum (X,Y,Z) mit Hilfe der Geometriemodells transformiert werden könnten.</p> <p>Die Beschreibung der Geometrie der Strassen-Unterhaltsachse ist unentbehrlich für die Koordinaten-Transformation zwischen linearen und flächigen Raumbezugssystem. Es handelt sich um eine vektorielle Beschreibung der geometrischen Form der Strassen-Unterhaltsachse und deren Lokalisierung im Raum. Die Lokalisierung wird mit Hilfe eines flächigen Bezugssystem (X,Y) vorgenommen, dem Landeskoordinatensystem.</p> <p>Es werden zwei Geometriearten unterschieden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Bezugsgeometrie ermöglicht die Transformation der X,Y,(Z)-Koordinaten der Strassenobjekte der realen Welt (auf der Strasse gemessen) in u,v-Koordinaten und umgekehrt. Es handelt sich um eine im drei dimensionalen Raum beschriebene Geometrie. Es existiert nur eine einzige Bezugsgeometrie pro Strassen-Unterhaltsachse. Damit wird die Eineindeutigkeit der Transformation sichergestellt. • Die Darstellungsgeometrien ermöglichen die Transformation von u,v-Koordinaten in X,Y-Koordinaten einer kartographischen Darstellung und umgekehrt. Je nach Massstab und je nach Generalisierungsgrad muss eine andere Darstellungsgeometrie für die Transformation verwendet werden. Es gibt folglich mehrere Darstellungsgeometrien für eine Strassen-Unterhaltsachse. <p>Die Bezugsgeometrie muss die Qualitätskriterien (Präzision, Zuverlässigkeit, usw.) und die Kriterien des Datenmanagements und der Datenverarbeitung (Eineindeutigkeit der Transformation, Einfachheit usw.) erfüllen. Für die Erhebung der Bezugsgeometrie wird empfohlen, dass die Geometrie als Folge von Punkten und Geraden angesehen wird. Dieses Geometriemodell kann aus Einfachheit- und Nachführungsgründen gerechtfertigt werden.</p>
<h3>4.</h3>	<p>À Vorerst : 1. Einleitung, 3. Modellierungskonzept Æ Danach : 5. Erfahrungen in der Datenbeschaffung, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie, Anhang A : Datenquellen, Anhang B : Technologien für die Beschaffung geographischer Daten</p>
<h3>BESCHAFFUNGSMETHODEN</h3>	<p>Dieses Kapitel beschreibt die verschiedenen Möglichkeiten, wie man Daten zur Geometrie der Strassen-Unterhaltsachsen beschaffen kann. Diese Daten können nur dann eine Bezugsgeometrie beschreiben, wenn sie die Qualitätskriterien erfüllen. Ansonsten können sie als Darstellungsgeometrie genutzt werden.</p> <p>Es wird unterschieden zwischen der Geometrierhebung auf der Strasse und der Nutzung von bestehenden Datenquellen für die Geometrie. Dieses Kapitel beschreibt die möglichen Datenerhebungstechnologien und die bestehenden Datenquellen, aus der die Geometrie abgeleitet werden kann.</p> <p>Es kann sogar eine Kombination der verschiedener Methoden angewendet werden, je nach Präzisionsanforderungen, nach Verfügbarkeit der Daten und Einfachheit der Erhebung auf der Strasse.</p> <p>Die Anhänge A und B vervollständigen dieses Kapitel. Sie beschreiben die verschiedenen Arten von geographischen Daten und die neusten Technologien zur Datenerhebung.</p>

<h1>5.</h1>	<p>Å Vorerst : 4. Beschaffungsmethoden Æ Danach : 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie, Anhang C : Qualität der XY ⇔ uv Transformation</p>
<h2>PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN</h2>	<p>Dieses Kapitel beschreibt die gemachten Erfahrungen in der Geometrie-Beschaffung, die während dieser Studie gemacht worden sind. Einerseits wurde ein Test durchgeführt, indem die Geometrie mit Hilfe eines mit GPS-Empfänger und Kamera ausgerüstetes Fahrzeug während der Fahrt erhoben wurde. Andererseits wurden Tests gemacht, indem die Geometrie von bestehenden Datenquellen abgeleitet wurde (Orthophoto, Kataster, usw.). Die erreichte Präzision der Geometrie wird analysiert und die Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden werden dargelegt. Der Anhang C vervollständigt das Kapitel, indem der Einfluss der Geometrie auf die Koordinatentransformation von linearen ins flächige Raumbezugssystem analysiert wird.</p> <p>Auf Grund der gemachten Erfahrungen können folgende Aussagen gemacht werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wird die Bezugsgeometrie mit dem Fahrzeug erhoben, sollten die Markierungen der Bezugspunkte ebenfalls erhoben werden. Die Koordinaten der Markierungen stellen einerseits die Beziehung der Bezugsgeometrie mit dem linearen Bezugssystem sicher. Andererseits können die Sektorlängen (Distanz zwischen zwei benachbarten Bezugspunkten auf der Strassenachse) mit Hilfe von der Bezugsgeometrie und den Koordinaten der Markierungen der Bezugspunkte berechnet werden. • Digitale Orthophotos mit hoher Auflösung und Daten der amtlichen Vermessung erfüllen die Qualitätsanforderungen, um die Bezugsgeometrie auf diesen Grundlagen digitalisieren zu können. Diese Quellen sind jedoch nicht für alle Gebiete verfügbar. • Für die Beschreibung der Bezugsgeometrie müssen Höhen ebenfalls angegeben werden. Diese können auf Grund digitaler Oberflächenmodelle (DOM) mit hoher Auflösung hergeleitet werden. • Topometrische Methoden wie beispielsweise GPS sind effizient für die Erhebung der Geometrie. Es ist jedoch empfehlenswert, GPS-Empfänger und andere Sensoren auf ein Fahrzeug zu setzen, damit die Datenerhebung mobil gemacht werden kann und die Auswertung automatisiert werden kann.

<h1>6.</h1>	<p>Å Vorerst : 1. Einleitung, 2. Anforderungen des MSE, 3. Modellierungskonzept, 4. Beschaffungsmethoden, 5. Praktische Erfahrungen Æ Danach : 7. Vorgehensweise</p>
<h2>KONZEPT FÜR DIE BESCHAFFUNG DER BEZUGSGEOMETRIE</h2>	<p>Dieses Kapitel stellt ein Vorgehen zur Beschaffung der Bezugsgeometrie der Strassen-Unterhaltsachse vor. Mit Hilfe der Bezugsgeometrie können Strassendaten mit hoher Präzision an geographische Informationssysteme abgegeben werden. Andererseits braucht es eine Bezugsgeometrie, damit neuste GPS-basierende Technologien für die Datenerhebung in der Strassenerhaltung genutzt werden kann. Das Konzept beschreibt einen Aktionsplan für die Beschaffung der Bezugsgeometrie. Es schlägt vor folgende Punkte in der Planung der Beschaffung der Geometrie zu berücksichtigen: Anforderungen der Benutzer, Analyse des Strassennetzes, Inventar bestehender geographischer Datenquellen, Nachführung. Es muss ebenfalls klargestellt werden, wie die Bezugsgeometrie genutzt werden soll. Sollen beispielsweise die Sektorlängen nachgeführt werden, müssen die Markierungen ebenfalls erhoben werden.</p>

<h1>7.</h1>	<p>À Vorerst : 5. Praktische Erfahrungen, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie Æ Danach : Anhang C : Qualität der $XY \leftrightarrow uv$ Transformation, 8. Schlussfolgerungen</p>
<p>VORGEHENSWEISE</p>	<p>Dieses Kapitel stellt einen konkreten Ansatz dar, die das im Kapitel 6 beschriebene Konzept illustriert. Der Ansatz basiert auf die gemachten Erfahrungen in der Beschaffung der Bezugsgeometrie. Die Hauptetappen zur Beschaffung der Bezugsgeometrie sind folgende:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bestimmung der Strassen, deren Geometrie aufgenommen werden sollen. 2. Inventar der geographischen Datenquellen. 3. Kostenschätzung für die Erhebung der Bezugsgeometrie und die Markierungen der Bezugspunkte. 4. Datenerhebung mit Hilfe von GPS-basierenden Technologien. 5. Restitution der Bezugsgeometrie der Unterhaltsachse : <ul style="list-style-type: none"> • Durch Digitalisieren auf numerischen Orthophotos mit grossen Auflösung. • Durch Nutzung der Daten der amtlichen Vermessung. • Durch mobile GPS-Messsystemen (mobile mapping). 6. Modellierung der Bezugsgeometrie der Unterhaltsachse : <ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung der Dichte der Punkte (Funktion der Sinusoidität). • Analyse der Datenqualität. 7. Ablage der Bezugsgeometrie in die Strassendatenbank 8. Nutzung der Bezugsgeometrie : <ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der Sektorlängen. • Bestimmung der $X,Y \leftrightarrow u,v$ Transformationsregeln. 9. Bestimmung der Nachführungsprozedur der Bezugsgeometrie. <p>Der Anhang C vervollständigt das Kapitel, indem auf die Qualitätskriterien hingewiesen werden.</p>

<h1>8.</h1>	<p>À Vorerst : 1. Einleitung, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie, 7. Vorgehensweise Æ Danach : Projekt "Verwaltung der Datenqualität des Raumbezugs und der Strassenachsgeometrien"</p>
<h2>SCHLUSSFOLGERUNGEN</h2>	<p>Dieses Kapitel formuliert Empfehlungen bezüglich drei Aspekte: die Normierung, die Beschaffung und die Verwaltung der Bezugsgeometrie.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für die Normierung muss zwischen Bezugsgeometrie und Darstellungsgeometrien unterschieden werden. Die Bezugsgeometrie beschreibt die Geometrie der Strassenachse im dreidimensionalen Raum. Sie wird entweder erhoben oder von numerischen Datenquellen, die die Präzisionsanforderungen genügen, hergeleitet. Die Darstellungsgeometrie wird je nach Darstellungsmassstab und Generalisierungsgrad der Kartengrundlage erstellt. Es können daher mehrere Darstellungsgeometrien einer Strassenachse verwaltet werden, währenddem nur eine einzige Bezugsgeometrie existiert. Für die Normierung müssen folgende Aktivitäten erbracht werden: Definieren der verschiedenen Geometrietypen sowie deren Nutzung, Festlegung der Qualitätskriterien für die Bezugsgeometrie in Einbezug der Anforderungen der Fachprozesse der Strassenerhaltung, Empfehlung für die Dokumentation der Qualität der Geometrie aufgrund von Metadaten. • Für die Beschaffung der Bezugsgeometrie sind folgende Ziele zu verfolgen: Anpassung der Beschaffungsmethoden den Qualitätsanforderungen der Benutzer, Wahl einer zuverlässigen Methode, Dokumentation der Geometrie mit Metadaten. Die freie Wahl der Methode muss in einer Norm festgehalten werden. Die Bestimmung der Bezugsgeometrie durch an ein mobiles Fahrzeug gebundenen topometrische Systeme oder durch die numerische Photogrammetrie kann den hohen Präzisionsanforderungen genügen. Die Darstellungsgeometrien sind von den genutzten Darstellungsgrundlagen (Orthophoto, Landeskarten, Pläne usw.) herzuleiten. Da für eine Strassenachse mehrere Darstellungsgeometrien existieren können, müssen diese durch geeignete Metadaten charakterisiert werden. • Für die Verwaltung der Geometrien muss ein Nachführungskonzept, die $XY \Leftrightarrow uv$-Transformation und Nutzung der Bezugsgeometrie definiert werden. <p>Weitere Forschung sind notwendig in den Bereichen, Kostenschätzung, Nutzung der neuen numerischen Produkte und mobile topometrische Methoden. Zudem wird ein Folgeprojekt im Bereich der Verwaltung der Datenqualität des Raumbezugs und der Geometrien vorgeschlagen.</p>

Inhaltsangabe der Anhänge

<p>A.</p>	<p>Å Vorerst : 4. Vorgehensweise Æ Danach : Anhang B : Technologie für die Beschaffung geographischer Daten, 5. Praktische Erfahrungen</p>
<p>QUELLEN GEOGRAPHISCHER DATEN</p>	<p>Dieser Anhang stellt die Eigenschaften der verschiedenen geographischen Daten dar, die als potentielle Quellen für die Bezugsgeometrie in Frage kommen. Das erstellte Inventar ermöglicht es, das Potential bestehender Daten zu erkennen.</p> <p>Die Eigenschaften werden in folgende Kategorien klassiert::</p> <ul style="list-style-type: none"> • Struktur der Daten • Ursprung der Daten • Räumlichen Eigenschaften • Zeitliche Eigenschaften • Verfügbarkeit

<p>B.</p>	<p>Å Vorerst : 4. Beschaffungsmethoden, Anhang A : Datenquellen Æ Danach : 5. Praktische Erfahrungen</p>
<p>TECHNOLOGIEN FÜR DIE BESCHAFFUNG GEOGRAPHISCHER DATEN</p>	<p>Die Erhebungstechnologien der Geomatik können in folgende Kategorien klassiert werden: :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Photogrammetrie und Bildverarbeitung • Topometrie • Satelliten gestützte Methoden • Gemische Methoden: Photogrammetrie + Topometrie <p>Dieser Anhang beschreibt die verschiedenen technischen Innovationen in den Messmethoden und die Verknüpfungsmöglichkeiten dieser Methoden. Unter anderem wird das mobile Messsystem Mobile Mapping vorgestellt, das Navigationssensoren und Bildverarbeitung verknüpft.</p>

<p>C.</p>	<p>Å Vorerst : 3. Modellierungskonzept, 5. Praktische Erfahrungen Æ Danach : 4. Beschaffungsmethoden, 6. Konzept für die Beschaffung der Bezugsgeometrie</p>
<p>QUALITÄT DER XY ⇔ uv- TRANSFORMATION</p>	<p>Dieser Anhang beschreibt die Ergebnisse einiger gemachten Simulationen, die zum Ziel hatten, die Qualität der Geometrie zu bestimmen und den Einfluss der Geometrie auf die XY <> uv-Transformation aufzuzeigen. Mit Hilfe des Programms Matlab wurde folgende Punkte behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualitätsbestimmung der verschiedenen Geometrien, die für die XY <> uv Transformation in Frage kommen. • Entwicklung von effizienten Algorithmen für die XY <> uv Transformation. • Analyse der Fehlerfortpflanzung in der Transformation in Funktion der verschiedenen Geometrien. • Festlegung einfacher Regeln zur Bestimmung der Qualität der Transformation

