

Systemes de Transport Intelligent

Projet de Physique

Etudiants :
Jeremy Guillon
Lelia Fouville
Louis Francois
Naima El Gharbaoui
Zahira Boufaim
Chongguang Liu
Enseignant :
Amnir Hadachi

Date de remise du rapport : 18/06/2012

Référence du projet : STPI/P6/2012-51

Intitulé du projet : Systèmes de Transport Intelligent (aspect Route)

Type de projet : Bibliographie / Expérimentation

Objectifs du projet :

Ce projet a pour objectifs de nous immerger dans un véritable projet de recherche scientifique et préindustrielle qu'est le projet PUMAS, nous en apprendre un peu plus sur le travail sous forme de projet, nous apporter des connaissances générales sur les STI (Systèmes de Transports Intelligents) et plus précises sur l'aspect route de ceux-ci.

Mots-clefs du projet :

ITS (ou STI) ; Digital Map (ou Carte Numérique) ; GIS (ou SIG) ; Transport ; Projet PUMAS

Laboratoire associé : LITIS

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur Hadachi et Monsieur Bensrhair pour toute l'aide qu'ils nous ont apporté à l'élaboration de ce dossier, et pour tout leur soutien dans les différentes étapes qui nous ont permis d'acquérir autant de connaissances concernant ce projet.

Nous tenons également à remercier Monsieur Broggi et Monsieur Bourgeois qui, grâce à leurs présentations et conférences nous ont permis de nous intéresser davantage au sujet et nous ont permis d'en savoir plus dans ce domaine.

Table des matières

Remerciements	4
1 Introduction	6
2 Méthodologie / Organisation du travail	7
3 Travail réalisé et résultats	8
3.1 Présentation du digital Map Data	8
3.1.1 Données spatiale	8
3.1.2 Données spatiales analogiques VS numériques	8
3.1.3 Préparation à l'utilisation des données – traitement des erreurs	9
3.1.4 Qu'est ce qu'un SIG ?	9
3.1.5 Les données	10
3.1.6 Les différentes fonctions d'un SIG	12
3.2 Exemple d'outil générant des cartes numériques : RTMAPS	12
3.2.1 La mise en œuvre de l'enregistrement et du rejeu de données datées et synchronisées	13
3.2.2 Le concept de BDDS (Bases de Données Datées et Synchronisées)	13
3.2.3 Double datation	14
3.3 Une utilisation du digital map : Le Map Matching	15
3.3.1 But et Principes	15
3.3.2 Les différentes techniques	15
3.3.3 Les limites des différentes méthodes de Map-Matching	17
3.3.4 Méthode générale	18
3.3.5 Algorithme permettant de mettre en équation la probabilité que l'axe choisit soit le bon	19
3.4 Projet PUMAS	21
3.4.1 Description générale du projet PUMAS	21
3.4.2 L'aspect cartographique du projet PUMAS	21
4 Conclusion	23
5 Bibliographie	24
6 Annexes	26
6.1 Systèmes de coopération véhicule-infrastructure	26
6.2 Conférence système stéréovision par Pierre BOURGEOIS	28
6.3 Conférence de Alberto BROGGI	31

1 Introduction

En ce quatrième semestre de STPI, nous avons eu la chance de découvrir, grâce au projet physique P6, le projet PUMAS (Plateforme Urbaine de Mobilité Avancée et Soutenable) lancé en 2009 par la CREA.

Nous avons notamment axé nos recherches sur le digital map ou la cartographie numérique.

En effet grâce à nos nombreuses recherches et l'aide de notre professeur Mr Amnir HADACHI nous avons pu comprendre comment ces cartes étaient fabriquées et quelles étaient leurs places dans le projet PUMAS et dans les GPS en général.

Nous traiterons donc dans un premier temps des digital map afin de mieux comprendre comment ces dernières sont réalisées. Ensuite nous vous présenterons le logiciel RTmaps qui génère ces cartes, puis nous vous ferons découvrir ce qu'est le Map matching, qui est une technologie indispensable aux GPS. Pour finir, nous présenterons le projet PUMAS dans sa globalité.

2 Méthodologie / Organisation du travail

Notre projet porte sur les systèmes de transport intelligent et plus précisément sur l'aspect route du projet pumas, de ce fait l'essentiel du travail que nous avons effectué lors de ce projet consistait en la recherche d'informations et la compréhension de celles-ci.

Lors des séances de cours à l'INSA nous avons eu grâce à Monsieur Amnir Hadachi et Monsieur Bensrhair Abdelaziz des cours théoriques nous précisant sur quoi reposaient les fondements de notre sujet.

En effet les séances étaient centrées autour des concepts et techniques de PUMAS :

- Son architecture
- Les différents outils mathématiques utilisés.
- Le concept du map matching
- Les traitements de données GPS
- L'utilisation du logiciel RTMaps

Lors des premières séances l'ensemble de notre groupe travaillait conjointement sur les mêmes notions afin que nous nous formions une base de connaissances sur ce sujet qui jusque-là nous était inconnu. L'essentiel de notre travail reposait alors sur la formation d'une bibliographie très dense réunissant tout ce qui nous serait utile pour dans un premier temps la compréhension des concepts et dans un second temps la rédaction du dossier.

Cependant lorsque les généralités sur le projet PUMAS ont toutes été abordées nous avons décidé de nous répartir les recherches en attribuant à chacun une partie spécifique.

Afin de nous tenir au courant de l'avancement de nos recherches nous nous envoyions des mails très régulièrement et nous nous organisions pour qu'au moins toutes les deux semaines une réunion le jeudi dans l'après-midi soit prévu afin de rédiger le dossier final. Evidemment les dernières semaines nos réunions eurent lieu beaucoup plus fréquemment afin que notre dossier soit fin prêt le plus tôt possible.

Chacun ayant rédigé sa partie indépendamment des autres, nous craignons que le résultat final ne soit pas cohérent c'est pourquoi nous avons tous pris grand soin de lire les parties de chacun et de nous concerter très régulièrement afin de voir si des modifications étaient à faire.

Enfin, l'ensemble a été mis en page par une des personnes du groupe afin que le visuel du dossier soit le meilleur possible. Et bien sûr dès lors a débuté la phase de correction des éventuelles erreurs ayant pu s'immiscer.

3 Travail réalisé et résultats

3.1 Présentation du digital Map Data

3.1.1 Données spatiale

“Les données ont une sorte de référence spatiale ou géographiques qui permet de les positionner en deux ou trois dimensions.” (Heywood et al., 1998)

Cette définition ne fait pas mention de “numérique” – les données spatiales peuvent être issues soit d’un format papier (analogique) soit d’un format numérique. La définition parle de deux et trois dimensions – donc les données spatiales peuvent se référer au terrain “plat” d’une carte, ou à un modèle plus réaliste en trois dimensions.

La définition affirme surtout que les données spatiales ont une «référence spatiale ou géographique». Cette référence permet aux données d’être reliées à une position sur la surface de la Terre – c’est ce qui rend ces données si spéciale et “spatiales”.

Les différents types de données spatiales

- Les données socio-économiques.
- Les données des cartes numériques.
- Les photographies aériennes.
- Les données collectées sur le terrain.
- Les images obtenues par télédétection.
- Les cartes papiers, plans, schémas, notes, tableaux et listes.

Méthodes de récupération de données

- **Le clavier** : approprié seulement lorsqu’il n’y a qu’une faible quantité de données.
- **Le scan** : probablement la méthode la plus rapide et la moins couteuse mais elle possède ses limites en termes de qualité.
- **La numérisation manuelle** : couteuse en temps et requiert un degré de compétence et de pratique suffisant pour éviter des erreurs.
- **La numérisation automatique** : la plus commune parmi les fournisseurs de données commerciales qui peuvent se permettre d’utiliser des équipements plus élaborés.

3.1.2 Données spatiales analogiques VS numériques

Certaines données spatiales sont d’un format dit analogique – comme les copies papiers ou les impressions. Ce type de données spatiales possède une échelle fixe – 1 :50000 ou 1 :250000 par exemple. Cette échelle ne peut être modifiée, sauf en photocopiant la carte en appliquant un grossissement – mais ce n’est pas très précis et donc non recommandé ! Les données, qu’elles soient analogiques ou numériques, nécessitent toujours une conversion à un format numérique avant d’être utilisables par un SIG ou tout autre logiciel de cartographie.

Les données numériques, telles les fichiers générés par un équipement GPS, les cartes numériques que l’on peut télécharger sur Internet, sont toutes «sans échelles». La possibilité

d'afficher à des échelles différentes peut être utile – permettant un véritable zoom pour observer les surfaces en détail. Une autre caractéristique des données numériques est qu'elles ont été encodées en un certain format.

3.1.3 Préparation à l'utilisation des données – traitement des erreurs

Une fois que les données sont récupérées par l'ordinateur, elles ne sont pas directement prêtes à être utilisées par un SIG ou un autre logiciel. Quelle que soit la méthode de récupération des données, des erreurs sont susceptibles de faire leur apparition.

Les sources d'erreurs

- La collecte de données
- Le codage des données
- L'échange de données

La vérification

- Inspection visuelle
- Valeurs impossibles
- Valeurs extrêmes

Techniques de manipulation Des données sans erreurs ne sont pas forcément utilisables. Avant de pouvoir les analyser, il peut y avoir d'autres techniques de manipulation des données nécessaires pour s'assurer de la précision de la représentation du monde réel :

- Re-projection
- Transformation
- Généralisation
- Adaptation des bords
- Collage

3.1.4 Qu'est ce qu'un SIG ?

Le SIG est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

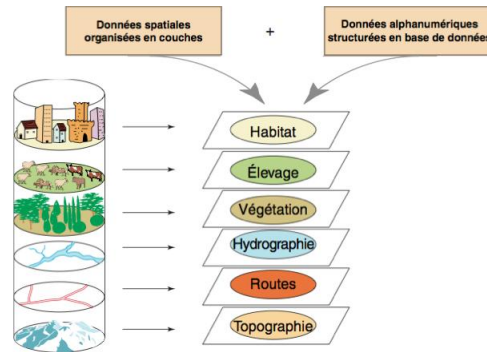
Dans le package logiciel d'un SIG, les données sont stockées selon un certain modèle. Il existe communément deux modèles : le modèle en couche et celui dit objet.

Le modèle en couche Dans ce modèle le monde est représenté grâce à une série de couches thématiques, toutes reliées à un référentiel commun. Il y a ensuite, à l'intérieur de ce modèle en couche, deux différentes approches permettant de structurer les données : vectoriel et matriciel.

Le modèle objet Il s'agit ici d'une toute nouvelle approche dans la modélisation de données spatiales. Ici, les caractéristiques (ou objets) du monde réels sont regroupées en classes possédant un attribut commun et affichant un comportement commun.

L'approche en couche étant la plus souvent utilisée de nos jours, nous ne détaillerons que ce modèle dans le dossier.

Pour cela il convient tout d'abord d'organiser l'information géographique en plusieurs couches. Et l'ensemble de ces couches superposables forme une base de donnée géographique.



3.1.5 Les données

Il convient ensuite de représenter l'information géographique et il existe pour cela deux méthodes.

Le mode vecteur Ce mode est une représentation géométrique sous forme :

- **de points ("ponctuels")** : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés. Exemples : forage, points géodésiques...
- **de lignes ("linéaires")** : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par des surfaces ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas de surface comme les courbes de niveau. Exemples : routes, rivières...
- **de surfaces ("polygones")** : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols... Exemples : parcelles, communes...

Selon l'échelle d'analyse, un fleuve pourra être une ligne ou bien un polygone comme une ville pourrait être un point ou un polygone...

Afin de reproduire sous forme vectorielle des données sur support imprimé, il est nécessaire de les numériser : les points, lignes et polygones seront convertis en coordonnées (x, y) à l'écran de l'ordinateur. A ce titre, on s'appuie sur une série de points repères dits amers dont on connaît les coordonnées géographiques que l'on précisera lors du recalage

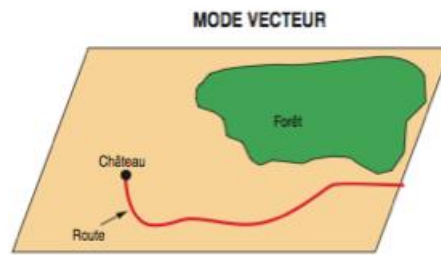
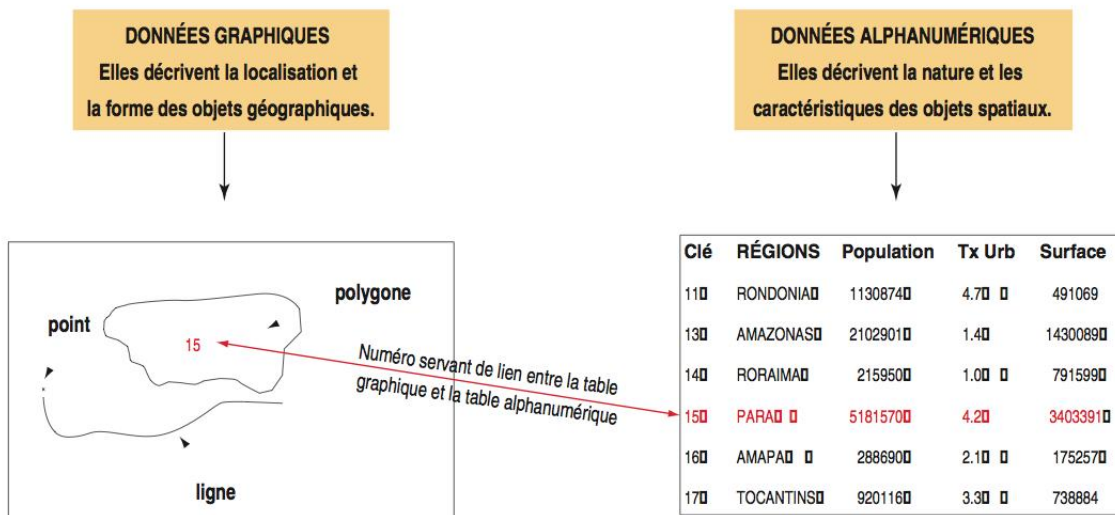


FIGURE 1

des couches ainsi obtenues.

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.



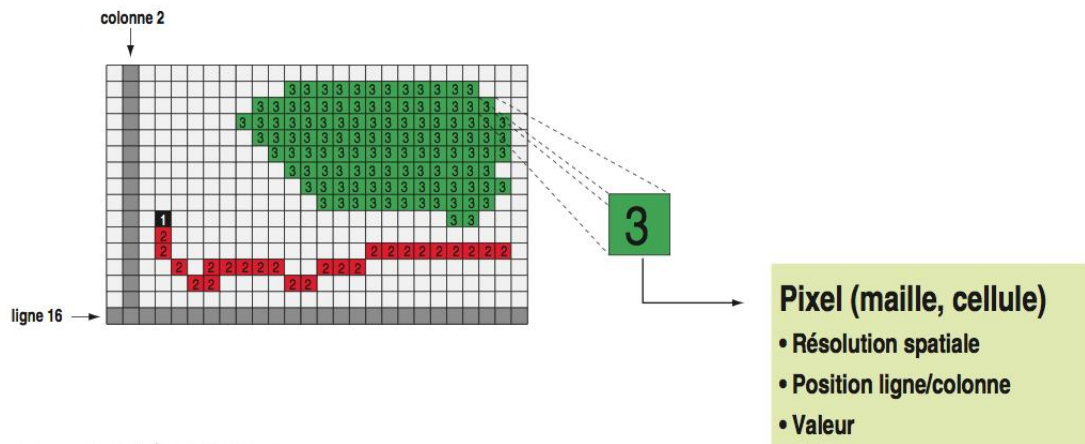
Le mode vecteur offre de nombreux avantages :

- Donne une représentation très conforme à la réalité.
- La localisation et les dimensions des objets sont calculées avec précision.
- On peut individualiser les objets, donc leur attacher des attributs.
- Le poids du fichier est réduit.

Le mode raster Ce mode correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules ou mailles généralement carrées appelées pixels, qui définissent la précision minimale de la structure. Le mode raster s'applique aux traitements d'images (satellitaires, photos aériennes). On appelle résolution la taille du pixel.

Ce mode offre également de nombreux avantages tels que :

- Facilité d'utilisation : données sous forme de tableau. Par rapport au mode vecteur, la dimension thématique est donnée par des valeurs numériques de la grille et la dimen-



sion spatiale est déduite par la position relative du pixel dans la grille.

- Le croisement des données est facile à réaliser : toutes les grandeurs sont ramenées à la même unité de base (le pixel).
- Il se prête bien à certains types de traitements numériques car chaque pixel contient une valeur numérique (ex : classification supervisée). Cette valeur est stockée dans un canal (raster monocanal) ou plusieurs canaux (raster multi-canal), chacun d’eux représentant une information distincte. Le canal est au raster ce que l’attribut est au vecteur.

3.1.6 Les différentes fonctions d’un SIG

- **La saisie de données** : Cette fonction permet une saisie des données spatiales dans un format adapté qui supporte la numérisation et l’édition.
- **Le stockage de données** : Cette fonction devrait inclure la conception de bases de données et d’outils de construction.
- **La transformation de données** : 3 translations et 3 rotations. Celle-ci inclue la re-projection, la généralisation, l’adaptation des frontières et le collage.
- **L’analyse des données** : Cette fonction comprend requêtes, mesures, superposition, analyse de réseau, analyse de surface, etc.
- **La restitution de données** : Celle-ci devrait inclure des options pour la conception de carte.

Un SIG peut ainsi produire un énorme panel d’informations, tels que : des cartes, des visualisations 3D, des tableaux, des listes ou même des séquences animées.

Quel que soit le format utilisé, le produit d’un SIG doit fournir de nouvelles informations générées grâce à la manipulation et l’analyse de données spatiales et doit également aider à faire passer un message qui permettra la résolution d’un problème ou du moins une prise de décision.

3.2 Exemple d’outil générant des cartes numériques : RTMAPS

RTMAPS (Mines Automotive Prototyping System) est un logiciel servant à conduire des projets innovants sur les systèmes embarqués temps réel exploitant notamment des capteurs à haut débit tels que des capteurs vidéo, des entrées audio, des radars,

des capteurs de localisation associés à des systèmes d'informations géographiques...

3.2.1 La mise en œuvre de l'enregistrement et du rejeu de données datées et synchronisées

RTMaps Studio est une plate forme adaptée à la gestion de données multi-capteurs datées et synchronisées.

Les données en entrée proviennent de capteurs ou de bases de données collectées préalablement.

Une application RTMaps est définie par un diagramme contenant des modules connectés entre eux par des fils représentant les flots de données. Une application classique est l'acquisition/enregistrement des données datées et synchronisées.

Il existe 4 types de modules :

- Les modules capteurs : ils produisent des flux de données provenant de capteurs réels.
- Les modules d'enregistrement : enregistrent les flux de données séparés en une base de données datées et synchronisées au format RTMaps (BdDDS).
- Les modules de décodage : ayant une fonction d'affichage de données.
- Les modules d'affichages : visualisent les données en vue d'un contrôle des signaux capteurs en cours d'enregistrement.

Concernant le rejeu de données datées et synchronisées et la simulation : pour être transformées en application de rejeu et visualisation, les modules capteurs sont remplacés par un module d'interfaçage avec la base de données datées et synchronisées enregistrée précédemment et le module enregistreur disparaît.

3.2.2 Le concept de BDDS (Bases de Données Datées et Synchronisées)

Modularité et généricité Les BDDS manipulées par et avec RTMaps peuvent recevoir un nombre important et illimité de formats de données et de types de données. Ceci est rendu possible grâce à la modularité des accès aux bases de données à plusieurs niveaux.

L'enregistrement et le rejeu sont gérés par des modules (player et recorder) qui peuvent coexister dans un même diagramme, et avoir plusieurs instances. C'est ce que l'on appelle la modularité au niveau de la base de données.

Dans la base de données la modularité des types d'enregistrement/ rejeu permet le support de tout type de formats de données par le développement d'un module adapté.

La base de temps RTMaps Un système d'acquisition ou de traitements de données qu'il soit distribué et / ou multi capteurs est la plupart du temps composé d'un ensemble d'unités ayant chacune sa propre horloge. Il y a bien souvent autant d'horloges que de calculateurs et de capteurs réunis, et leur évolution est indépendante.

L'environnement RTMaps est aujourd'hui limité à un système mono calculateur mais repose sur des bases entièrement extensibles au cas général du système distribué multi-capteurs.

Ce cadre général implique pour l'environnement RTMaps :

- D'acquérir et de dater avec précision les données provenant des différents capteurs.
- D'échanger entre eux des données datées.

Ainsi il est nécessaire de disposer d'une base de temps de référence sur laquelle tous les événements du système doivent être exprimés ; cette base de temps sera appelée base de temps RTMaps. Elle pourrait être aussi bien le temps UTC (horloge internationale de référence) mise à disposition par un GPS par exemple qu'une horloge interne du calculateur ou celle d'un autre capteur du système.

Codage du temps dans RTMaps Deux types de données sont définis pour représenter le temps sous RTMaps, les types MAPSAbsolute Time et MAPSTimestamp.

Le premier est la représentation sous forme année mois jour heure ... et le second compte le nombre de microsecondes écoulées depuis la date de début de la session en cours.

3.2.3 Double datation

La datation en entrée du système La transmission de données fait intervenir des temps de latences qui perturbent la datation de la donnée. En effet plusieurs événements sont associés à une même donnée. Parmi eux, on peut citer :

Les différents types de données spatiales

- L'acquisition physique ou création de la donnée.
- L'émission de la donnée convertie et formatée par le capteur.
- La réception de la donnée par le PC.
- La mise à disposition de la donnée dans RTMaps pour les modules consommateurs.
- La péremption de la donnée, date à laquelle elle n'est plus ou ne doit plus être utilisée.

Evolution des données datées au sein d'une chaîne de traitement

- Le timestamp doit la plupart du temps rester constant tout au long de la chaîne de traitement de la donnée dans RTMaps.
- Les timeOfIssue évoluent à chaque nouveau module puisqu'ils traduisent l'enchaînement temporel des traitements.

Datation évoluée pour les données « continues » ou à haute fréquence d'échantillonnage Certaines données, tel que le son, ont des fréquences d'échantillonnage suffisamment importantes pour imposer que leur transmission ou leur traitement se fasse

par bloc.

3.3 Une utilisation du digital map : Le Map Matching

3.3.1 But et Principes

Les GPS d'aujourd'hui ne permettent pas d'obtenir une approche exceptionnelle (de l'ordre d'une dizaine de mètres), repositionner alors un point ou un ensemble de points obtenus à partir de plusieurs dispositifs sur une carte numérique est donc un exercice complexe. Et c'est là qu'intervient le domaine du "map-matching" qui pourrait être traduit en français par "mise en relation avec une carte".

Il existe différentes approches du map-matching :

- L'approche géométrique : elle s'organise selon des relations entre les nodes (sommets) et les links (arrêtes). Elle est plutôt simple à comprendre et à mettre en place ; c'est donc celle que nous allons le plus souvent utiliser dans cette partie.
- L'approche topologique : elle s'axe d'avantage sur les axes et les directions ; elle est donc plus évoluée.
- L'approche probabiliste.

D'autres techniques utilisent une combinaison de ces différentes approches et sont donc bien trop complexes pour être abordées ici.

3.3.2 Les différentes techniques

La technique "point à point" Cette technique abordée par Bernstein et Kornhauser en 1996 est la plus simple et surtout la plus rapide. Elle consiste à rattacher le point GPS obtenu au node le plus proche.

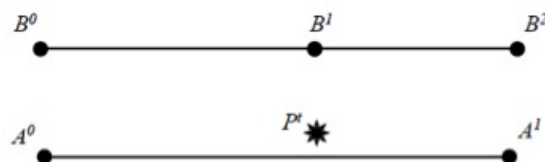
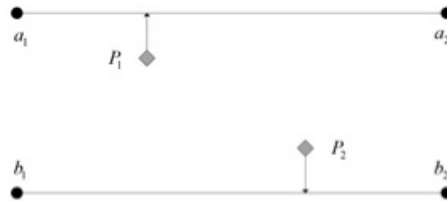


FIGURE 2

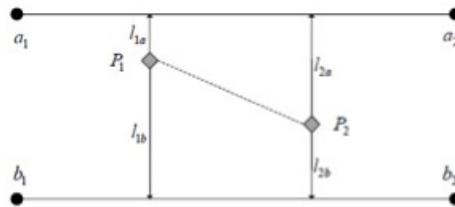
Sur la figure ci-dessus, on comprendra donc facilement que le point P^t (point obtenu par GPS au temps t) sera mis en correspondance avec le point B^1 .

3 TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

La technique "point à segment" Légère évolution (toujours par Bernstein et Kornhauser en 1996) de la technique précédente, celle-ci calcule la distance entre le point GPS et les segments les plus proches. Voir figure ci-dessous.



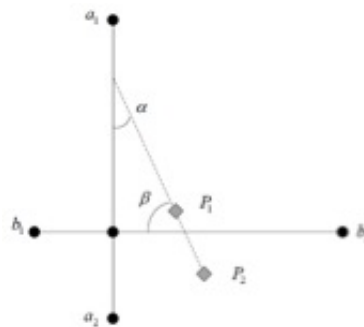
La technique "segment à segment" Celle-ci consiste à comparer la trajectoire du véhicule avec les routes connues.



Ici on a la relation suivante : $(l_{1a} + l_{2a}) < (l_{1b} + l_{2b})$. La distance entre la trajectoire du véhicule et le chemin A étant inférieure à la distance avec le chemin B, les points P1 et P2 seront projetés orthogonalement sur le segment $[a_1 a_2]$.

Une autres méthode sur ce même principe de "segment à segment" consiste à comparer les angles que forme la droite décrite par deux points GPS consécutifs avec les routes qui sont dans ses alentours.

Sur le schéma ci-dessous, on peut constater la relation suivante : $\alpha < \beta$. Ainsi les points P1 et P2 seront projetés de la même manière que précédemment sur le segment $[a_1 a_2]$.

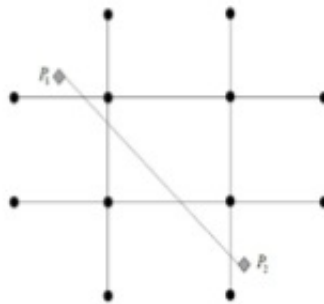


3.3.3 Les limites des différentes méthodes de Map-Matching

Les algorithmes précédents utilisent les relations géométriques entre données GPS et digital map. Cependant, ces relations ne peuvent être utilisées que si l'intervalle de temps entre deux points GPS est court. Plus cet intervalle de temps est court, plus le Map-Matching est juste, car la précision des données GPS est alors plus importante. Quand on prolonge cet intervalle, deux principaux problèmes apparaissent alors :

Premièrement, la précision de la relation géométrique varie. L'algorithme qui utilise la méthode segment à segment est plus fiable que celle qui utilise la méthode point à segment.

Lorsque l'intervalle de temps est long, les algorithmes précédents ne peuvent plus être utilisés. En effet, dans ce cas plusieurs chemins possibles existent entre les deux points GPS, ce qui rend impossible le Map Matching. Dans l'exemple ci-dessous, on ne peut pas déterminer le chemin pris par la voiture entre les points P1 et P2.



Le deuxième problème concerne le réseau topologique du digital map et l'histoire des données GPS. Lorsque l'intervalle de temps est long, le véhicule peut parcourir un chemin compliqué ce qui augmente la probabilité d'erreur.

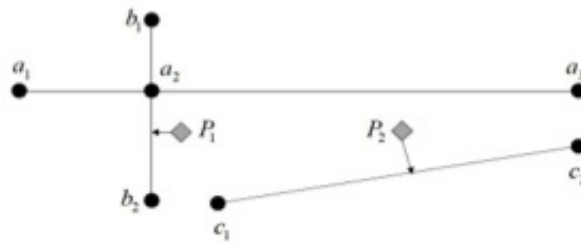
Malheureusement actuellement, beaucoup de restrictions imposent un long intervalle de temps entre chaque point GPS, ce temps peut durer 3 à 4 minutes. Par exemple, pour une entreprise qui gère la télécommunication entre les utilisateurs et le serveur des données GPS, un intervalle de temps court entraîne un surcoût. C'est le même principe lorsqu'on utilise un téléphone portable, plus ce dernier est utilisé et plus cela coûte cher.

Il faut donc utiliser un algorithme qui puisse donner des résultats exacts à partir d'intervalle de temps long entre chaque point GPS.

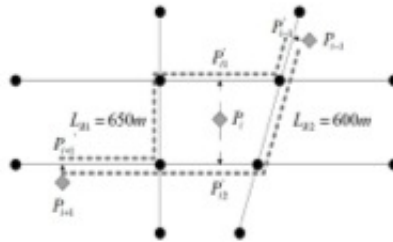
Mais utiliser un algorithme pour ces longs intervalles pose également des problèmes :

Premièrement, quand le véhicule est dans le voisinage d'une intersection, les distances entre deux segments différents sont quasi-identiques. Dans ce cas, le problème peut être résolu en reliant le véhicule directement au nœud le plus proche, c'est-à-dire à l'intersection. Un cercle est ensuite défini tel que l'intersection soit le centre de ce cercle.

Ainsi, quand le véhicule est dans ce cercle, il est toujours localisé à l'intersection.



Deuxièmement, lorsque les deux segments sont parallèles il est difficile de savoir quel segment de route est réellement emprunté. Pour résoudre ce problème, il faut utiliser le réseau topologique du digital map et l'histoire des données GPS. Le principe est un peu compliqué, avant la description de la méthode, voici quelques notations :



- P_i' : point GPS qui a déjà été localisé
- P_i : point GPS qui n'a pas encore été localisé
- P_{i1}' : point GPS qui a été localisé à NL
- P_{i2}' : point GPS qui a été localisé à 2NL

Après avoir défini le point P_{i+1} , la longueur du premier chemin est calculée, grâce aux points P_{i-1}' , P_{i1}' et P_{i+1}' . Elle est ensuite comparée à celle déterminée avec les points P_{i-1}' , P_{i2}' et P_{i+1}' . Si la longueur du chemin 1 est plus courte, le point P_i' est localisé sur le chemin 1. Cette solution se base sur le choix du chemin le plus court, un algorithme dit de Dijkstra permet de le trouver.

3.3.4 Méthode générale

Comme nous l'avons vu précédemment il existe différentes méthodes de map matching mais celles-ci ont leurs limites.

Pour pouvoir utiliser le map matching, il est néanmoins nécessaire de mettre en place une méthode générale permettant d'obtenir une représentation cohérente du chemin parcouru par le véhicule en minimisant les erreurs. Voici une méthode pouvant être utilisée. Elle se décompose en plusieurs étapes :

- Tout d'abord, il est nécessaire de trouver le nœud le plus proche du point de positionnement à partir des données GPS.

- Il faut ensuite vérifier que le point de positionnement suivant est cohérent avec le premier nœud choisi puis lister les routes proches.
- Il est ensuite nécessaire de déterminer la position exacte du véhicule sur un axe grâce aux méthodes présentées précédemment.
- Finalement il faut vérifier la cohérence des résultats grâce aux formules mathématiques présentées ensuite.

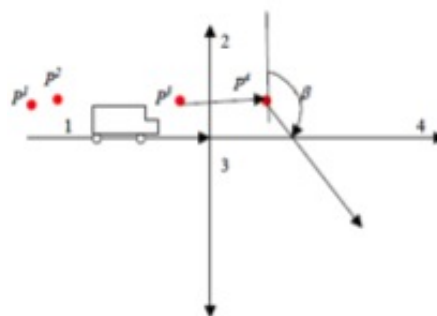
A chaque étape, si les données obtenues sont incohérentes, il peut être nécessaire de reprendre la procédure au début afin d'obtenir un résultat le plus proche de la réalité possible.

3.3.5 Algorithme permettant de mettre en équation la probabilité que l'axe choisit soit le bon

Cet algorithme permet après avoir déterminé le chemin suivi par le véhicule, de connaître la probabilité que cela soit effectivement le réel chemin suivi. Il s'insère dans la méthode générale présentée précédemment.

Il est tout d'abord nécessaire de calculer quelques valeurs intermédiaires correspondant à la probabilité selon certains critères, que l'axe choisi soit celui correspondant à la route sur laquelle la voiture roule.

Calcul de WSH : La première valeur intermédiaire à calculer est : WSH. On obtient cette valeur grâce à l'équation suivante :



$$WSH = AH \cos(\Delta\beta')$$

$$\Delta\beta' = \beta - \beta'$$

β correspond à l'angle entre la direction de la voiture et l'axe choisi.

β' correspond à l'angle entre le repère considéré et le repère terrestre.

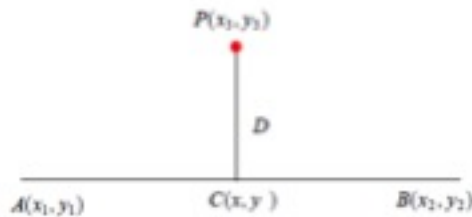
AH est une constante positive.

WSH prend donc en compte la direction de la voiture par rapport à l'axe choisi. La variable exprime la probabilité que l'axe choisi corresponde effectivement à la route sur laquelle la voiture roule en fonction de l'angle formé entre la direction de la voiture et

3 TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

la direction de l'axe. Plus $\Delta\beta'$ est petit et plus la probabilité que l'axe choisi soit le bon est importante.

Calcul de WSPD : Cette valeur prend en compte la distance du point position à l'axe choisi selon la perpendiculaire à l'axe passant par le point.



$$D = \frac{x_1(y_1 - y_2) - y_1(x_1 - x_2) + (x_1 y_2 - x_2 y_1)}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}$$

Plus D est petite et plus la probabilité que ce soit le bon axe est importante. Ap est une constante supérieure à 0.

Calcul de WSPI : Cette valeur prend en compte la proximité entre deux lignes (axe théorique et données GPS) elle est déterminée grâce à l'angle formé par l'intersection des deux droites obtenues par prolongement de la droite tracée en reliant les points positions et par la droite de l'axe :

$$\text{WSPI} = AP \cos(\theta)$$

AP est une constante positive.

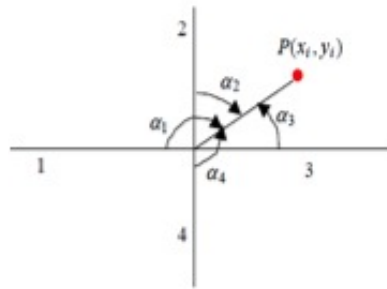
$$\text{Calcul de WSPR : } \text{WSPR} = ARP \cos(\alpha)$$

Où α correspond à l'angle entre la droite allant du point nœud le plus proche jusqu'au point position obtenu par donnée GPS et l'axe sélectionné.

ARP est une constante positive.

Plus α est grand et moins la probabilité que l'axe soit réellement celui correspondant à la route sur laquelle roule la voiture est importante.

Calcul de la probabilité finale : Les différentes constantes déterminent l'importance de chaque élément. Plus TWS est importante est plus l'axe choisi a de chance d'être le bon.



$$TWS = WS_H + (WS_{PD} + WS_{PI}) + WS_{RP}$$

3.4 Projet PUMAS

3.4.1 Description générale du projet PUMAS

PUMAS (Plateforme Urbaine de Mobilité Avancé et Soutenable) est un projet de recherche préindustrielle visant à développer une plate-forme logicielle de mobilité durable, et l'évaluer sur le territoire de la Communauté de l'Agglomération de Rouen. Il s'adresse au marché des collectivités urbaines afin de leur fournir, à partir de la vitesse et des temps de parcours de véhicules équipés agissant comme des « sondes de trafic » :

- Une connaissance des conditions réelles de circulation dans un réseau urbain et périurbain.
- Une évaluation de l'émission de gaz (à effet de serre et polluants), heure par heure sur l'ensemble du territoire afin de mesurer les progrès réalisés dans le cadre du Grenelle de l'environnement.

L'objet du projet PUMAS est de créer une plateforme de renseignements du temps de parcours pour les villes et les agglomérations. Les principaux objectifs visés sont :

- Mettre sur le marché international une nouvelle génération de logiciels de production de temps de parcours, correspondant mieux aux attentes des utilisateurs automobilistes.
- Créer des emplois à haute valeur ajoutée, en devenant une référence internationale dans le domaine des plateformes intégrées de temps de parcours.
- Participer à l'émergence de l'économie soutenable où les réseaux de transports publics sont une alternative aux réseaux routiers par une meilleure information des conditions de circulation.

3.4.2 L'aspect cartographique du projet PUMAS

Le projet PUMAS a mis en place un système de point de coordonnées GPS référençant les nœuds, ou autrement dit les carrefours et les impasses : ce sont les PUMAS Points. Une fois positionnés sur une carte numérique, ils constituent des points de

4 Conclusion

Ce projet avait pour but de nous faire découvrir ce qu'était le projet Pumas. Il devait également nous permettre de comprendre comment pouvait être réalisée la cartographie nécessaire à ce projet. Cela nous permettrait ainsi de comprendre une partie des enjeux du projet PUMAS. Nos professeurs ont ainsi mis à notre disposition un large panel d'information. Ainsi le projet PUMAS à Rouen, à pour but d'établir une cartographie de la congestion de la ville et finalement de connaître le temps de parcours d'un trajet en voiture dans la ville. Ce projet nécessitait donc la mise en place d'une cartographie réalisable grâce au digital map et au SIG. RTMaps utilise ces méthodes afin de réaliser des cartographies. Nous avons également abordé le map matching qui est une utilisation du digital map afin d'estimer le trajet d'un véhicule sur une carte. L'ensemble des connaissances ainsi établies nous ont permis de prendre conscience de la complexité d'un projet comme le projet PUMAS. Nous avons compris les avantages d'un tel projet qui permettrait comme cela se fait déjà à Singapour une estimation des temps de trajets et une connaissance de l'état du trafic routier en temps réel.

Ce projet nous a permis de travailler en groupe. De plus contrairement aux projets antérieurs nous n'étions pas avec des personnes que nous connaissions et avec qui nous avions l'habitude de travailler. Nous avons donc appris à gérer le travail de groupe différemment, ce qui s'est avéré très intéressant. La diversité des personnes du groupe a permis une maîtrise plus profonde des connaissances acquises. Nous avons appris à nous compléter et soutenir. Les désaccords se sont réglés par la discussion et l'écoute. Nous sommes à l'issue de ce projet, à même de travailler ensemble efficacement et agréablement. Les connaissances acquises grâce à ce projet nous apportent une ouverture scientifique intéressante. Nous avons tous apprécié de pouvoir mieux connaître une des recherches effectuées dans le cadre de l'INSA. Il est en effet intéressant de sortir du cursus de cycle STPI pour découvrir ce qui se fait au-delà et ce notamment avec les projets PIC qui nous ont également été présenté (dans le cadre du projet PUMAS). Ce projet nous a donc permis d'acquérir de nouvelles capacités dans le travail de groupe mais aussi de nouvelles connaissances scientifiques permettant une nouvelle curiosité tournée vers les recherches dans le domaine des véhicules intelligents. Ce domaine de la recherche scientifique actuelle est aujourd'hui présent tout autour de nous et connaît des avancées extraordinaires, nous sommes aujourd'hui à même d'en comprendre quelques éléments. A travers ce projet nous avons également assisté à une conférence d'Alberto Broggi, nous ouvrant des perspectives dans le monde de la recherche que nous ne connaissions pas. Ce projet nous a finalement rendu plus curieux et intéressés tout cela dans une entente de groupe agréable.

5 Bibliographie

Sites internet

À propos d'INRIX. http://euscorecard.inrix.com/scorecard_eu/FR/about.asp, [datedeconsultation : 19 février 2012].

Digital mapping. http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_mapping, [datedeconsultation : 18 février 2012].

Map Matching. http://de.wikipedia.org/wiki/Map_Matching, [datedeconsultation : 18 février 2012].

Géolocalisation. <http://fr.wikipedia.org/wiki/GC3A9olocalisation>, [date de consultation : 20 février 2012].

Inrix. <http://www.generation-nt.com/inrix-fournit-information-traffic-real-time-flow-europe-newswire-839521.html>, [date de consultation : 20 février 2012].

Electronic Road Pricing. http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Road_Pricing, [datedeconsultation : 15 février 2012].

OpenStreetMap France. <http://www.openstreetmap.fr/>, [date de consultation : 1 mars 2012].

GeoServer. <http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome>, [date de consultation : 1 mars 2012].

Ouvrages et autres documents

VERMA Anurag, KUMAR SIDDA Naveen et MOHAN RAO K.Ram. *Evaluation of Map Matching Algorithms for Multi Scale Databases* . Broché - 14 décembre 2011.

QUDDUS Mohammed, OCHIENG Washington et NOLAND Robert. *Current Map Matching Algorithms For Transport Applications : State of the art and Future Research*. 15 Novembre 2006.

HABERT Elisabeth. *Qu'est-ce qu'un système d'information géographique ?* 2000.

CHIN Kian Keong et LEE Chin Wai. *TrafficScan Bringing Real-time Travel Information To Motorists*. Mai 2009.

VAN AREM Bart. *Intelligent Transportation Systems*. Juin 2005.

EDINA Difimap Training Session. *Introduction to Digital Map Data*. Mars 2008.

Xi Lianxia, LIU Quan, LI Minghua et LIU Zhong. *Map Matching Algorithm and Its Application*.

YANG Jae-seok, KANG Seung-pil et CHON Kyung-soo. *The Map Matching Algorithm of GPS Data with Relatively Long Polling Time Intervals*. 2005.

6 Annexes

6.1 Systèmes de coopération véhicule-infrastructure

Rapport TNO du 20 mars 2007 rédigé par Prof.Dr.ir.B. van Arem.

Notre système de trafic routier est soumis à une pression croissante.

Les pays du monde entier, et plus particulièrement les zones fortement développées et industrialisées, font face à une diminution de performance de leur réseau routier. Tandis que la demande du transport a augmenté et s'apprête encore à augmenter encore plus, le match avec l'approvisionnement des infrastructures routières devient de plus en plus déséquilibré, aboutissant aux problèmes croissants de congestions, de retards, de fiabilité, de sécurité du trafic et de la qualité de l'environnement. Parmi ces nombreux problèmes, les plus importants sont les problèmes de congestion qui sont dus à l'augmentation de la demande et aux événements imprévus (accidents...) et la sécurité du trafic.

Il est de plus en plus reconnu que la circulation routière, par ses nombreuses victimes et ses émissions de gaz polluants, a un impact défavorable puissant sur le cadre de vie local et même mondial.

Un important soutien de l'UE pour la recherche, le développement et le déploiement des systèmes de coopération entre les véhicules et les infrastructures.

Dans de nombreux pays, il existe de nombreux programmes pour le développement et le déploiement des systèmes de coopération entre les véhicules et les infrastructures. En Europe, le programme ICI (Intelligent Car Initiative) a une place importante et permet d'améliorer la sécurité, l'efficacité et l'impact environnemental du trafic grâce aux systèmes de voitures intelligentes et d'infrastructures routières. Ce programme consiste en 3 grands piliers.

Le premier pilier se concentre sur l'harmonisation des actions entreprises par toutes les parties prenantes concernées par ce projet.

Le deuxième pilier a une fonction de recherche et développement. L'un des principaux axes de recherches est la sécurité. Le but étant d'éviter au maximum les accidents en élaborant des systèmes de communication entre véhicules et entre véhicules et infrastructures, des systèmes de sécurité active et passive et des services d'urgence. Plus récemment, les recherches se sont renforcées dans le domaine de la coopération véhicules-infrastructures.

Le troisième pilier a pour objectif de faire prendre conscience de l'importance de ces systèmes pour les états membres et les organismes responsables des véhicules et des

routes.

La vision TNO sur la circulation routière basée sur les systèmes de coopération véhicule-infrastructure en 2015.

En 2015, les véhicules et les systèmes basés sur les infrastructures font désormais partie intégrante d'une infrastructure de communication homogène. Des systèmes singuliers comme des systèmes de navigation, des informations de trafic et de voyage, des feux de signalisation, des avertisseurs d'embouteillages, des avertisseurs de danger et de limitations de vitesse sont devenus beaucoup plus efficaces en échangeant des informations et donnant des informations adaptées et des conseils aux conducteurs.

Le conducteur a accès à une vaste gamme de services d'informations de trafic et de voyage. En conduisant, le conducteur reçoit des informations en temps réel sur les prévisions de trafic et est averti de situations potentiellement dangereuses. En cas de situations dangereuses, le véhicule assiste le conducteur pour entreprendre les bonnes actions comme freiner par exemple. Les tâches habituelles de conduite sont prises en charges par des systèmes de soutien mais le conducteur reste maître de ces systèmes et peut passer outre à tout moment. Le support interactif avec lequel le conducteur est assisté par un système intégré au véhicule est dans une phase expérimentale. Par exemple, la voiture est équipée avec un système qui surveille l'état du conducteur (attention, fatigue, somnolence...).

En 2015, l'opérateur routier communiquera directement avec le conducteur par une communication véhicule-chaussée échangeant des informations sur le trafic, les travaux routiers... La communication route-véhicule augmente l'intégration opérationnelle des systèmes de gestion locale et des systèmes intégrés aux voitures.

L'intégration de réseau de trafic routier local et plus large se fait grâce à une combinaison de mesures basées sur les véhicules et les infrastructures par exemple en agissant au niveau du réseau pour soulager des problèmes locaux sévères (accident de camion) et au niveau de la route pour soulager des problèmes de réseaux (embouteillages) et en fournissant des informations de parcours aux conducteurs.

En 2015, les systèmes de coopérations véhicule-infrastructure contribueront considérablement à rendre le trafic plus sûr. Le système du trafic routier deviendra plus fiable et prévisible grâce à la baisse du nombre d'accidents, à une meilleure gestion du trafic et aux informations routières dus aux systèmes de coopérations véhicule-infrastructure. Ces systèmes contribueront également à réduire l'impact sur l'environnement en favorisant des modèles de conduites plus adaptés et moins agressifs.

Défis pour l'introduction de systèmes de coopération véhicule-infrastructure.

Afin de réaliser cette vision, plusieurs défis doivent être abordés. Toutes les parties prenantes doivent travailler ensemble et chacun doit percevoir un bénéfice qui justifie ses investissements. Il y a beaucoup de parties industrielles impliquées : construc-

teurs automobile, les fournisseurs de capteurs, de logiciels de calcul, de système de communication et de cartes digitales (=digital map). Le gouvernement est aussi impliqué à différents niveaux allant du niveau de l'Europe jusqu'à celui des autorités de la route et aborde les questions de mobilité, de sécurité et de l'environnement. Les opérateurs routiers privés et publics sont aussi impliqués tout comme les fournisseurs de services (communication, paiement, information du trafic). Il y a beaucoup de défis au niveau de la recherche qui doivent être abordés. L'un d'eux est le développement de systèmes robustes, fiables et flexibles. En particulier, l'utilisation d'informations et de technologies de communication ajoute une nouvelle dimension au développement des systèmes pour la gestion du trafic et les véhicules intelligents. Des sujets de recherche abordent également le développement et l'évaluation de fonctions et de concepts qui utilisent des informations provenant du véhicule et de l'infrastructure et qui ont le potentiel d'améliorer la sécurité et l'efficacité du trafic et l'impact environnemental. L'un des défis cruciaux de recherche aborde le rôle du conducteur et comprend les questions telles que l'interface homme-machine et le comportement du conducteur.

6.2 Conférence système stéréovision par Pierre BOURGEOIS

Introduction à la stéréovision

La stéréovision est une méthode de mesure qui consiste à se servir de la prise d'images sous différents angles de vue pour déterminer les dimensions, les formes ou les positions d'objets.

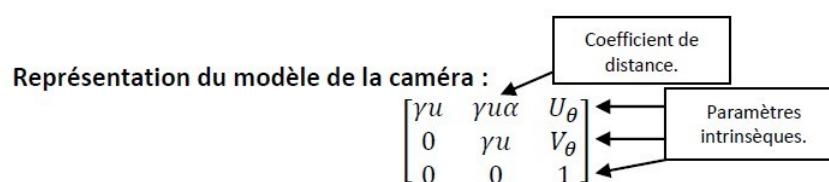
La stéréovision est un système utilisé dans divers domaines : Automobile (voir présentation d'Alberto BRODGGY), Industrie, Robotique, Cartographie, Kinect (Xbox 360 : capteur vidéo).

Elle est également utilisée pour la reconstruction 3D, la robotique articulée, les automobiles autonomes.

Pour faire de la stéréovision, on utilise des caméras.

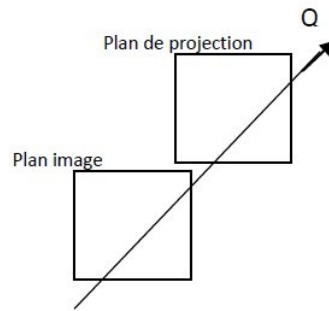
Une caméra se représente par un schéma avec deux types de paramètres :

- **Intrinsèques** : paramètres liés à la caméra.
- **Extrinsèques** : 3 translations et 3 rotations.



Dans cette matrice :

U_θ V_θ représente le point centre de l'image.



$(u), (v)$ représente le paramètre de la lentille.
 α représente le coefficient de distorsion.

Le α calcul du coefficient de distorsion permet de rectifier l'image (compenser la déformation de l'image) pour la rendre bien droite. Au départ, l'image est incurvée donc on la coupe afin de la rendre correcte et on retire donc de l'information.

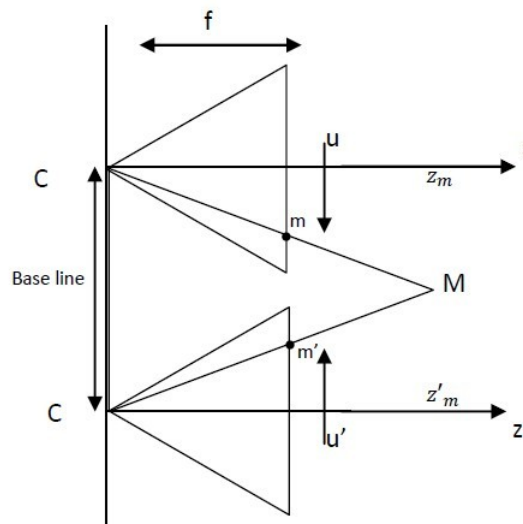
Cas parfait : Pour avoir de la stéréovision, il faut deux capteurs.

Le cas parfait est le cas « aligné » qui permet le calcul de la profondeur.

Pour faire de la stéréovision, il faut deux près requis : la synchronisation et l'alignement des caméras.

Un point 3D M aura pour projections :

- $m = (X_m, Y_m, Z_m)$ dans le repère caméra $(Cxyz)$
- $m = (X'_m, Y'_m, Z'_m)$ dans le repère caméra $(Cx'y'z')$
- X'_m est lié à X_m par la relation $X'_m = X_m - B$



La profondeur est inversement proportionnelle à la disparité $u - u'$:

Si le capteur est parfait, on a les mêmes points d'intérêts sur deux images différentes avec en plus une petite translation, les points sont sur la même horizontale.

$$\left\{ \begin{array}{l} u = \alpha(u) \frac{Xm}{Zm} + u(0) \\ u' = \alpha(u) \frac{X'm}{Z'm} + u(0) \end{array} \right. \text{ et } Zm = Z'm$$

$$u - u' = \alpha(u) \frac{Xm - X'm}{Zm} = \alpha(u) \frac{B}{Zm}$$

$$Zm = \alpha(u) \frac{B}{u - u'} \text{ avec } d = u - u' > 0$$

Si $d=0$ alors $Zm=\infty$

Capteur stéréo classique (jamais aligné) : On fixe un capteur comme référence et, grâce à une calibration, on vient chercher les caractères de rotation et de translation entre les deux capteurs pour rectifier l'image (comme si les capteurs étaient alignés) grâce à un mur de calibrage (un damier par exemple).

Cependant on rencontre des problèmes de vignetage. Les lignes sont droites mais on a une perte d'information à cause de la distorsion (notamment dans les coins).



Sujet de thèse

Reconstruction 3D appliquée à un véhicule en mouvement avec un réseau de caméras non synchronisées. Les 2 points clés pour pouvoir réaliser la reconstruction 3d sont l'estimation du mouvement des caméras entre elles et l'estimation de la position des objets mobiles.

Cela permet une reconstruction de l'image fictive avec seulement quelques points.

Méthode proposée : - Tracking de points clés.

- Estimation de points stéréo correspondants.
- Reconstruction 3D.

...

L'intérêt d'un tel système est de coupler différents types de capteurs avec une souplesse ajout/suppression du capteur très simple. Ceci est parfait pour des systèmes coopératifs.

6.3 Conférence de Alberto BROGGI

Dans ce séminaire, Alberto Broggi, a partagé avec nous cette belle aventure et nous a expliqué les différentes étapes du projet, notamment les difficultés rencontrées sur tous les plans (scientifique, technique, financier ou administratif...).



En 2010, le groupe Broggi se sont lancés dans la conduite de 4 véhicules autonomes de l'Italie à la Chine sans aucune intervention humaine. Ce défi est appelé VIAC , pour VisLab Intercontinental autonome Défi.



Le professeur Broggi nous a longuement raconté son voyage sans pour autant rentrer dans les détails techniques si ce n'est pour nous parler du problème de l'autonomie des voitures.

Il nous a néanmoins expliqué l'importance d'avoir une bonne organisation et de savoir gérer les imprévus. En effet, la caravane était précédée d'une première voiture conduite manuellement puis de la voiture autonome et enfin les différents camions comportant le staff les suivaient.