

Méthodes de collecte de données trafic routier



Etudiants :

Geoffroy GUILLERME

Sicong TANG

Ruiwen ZHAO

Zoé TAIEB

Marion VOISIN

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : 18/06/2012

Référence du projet : STPI/P6-3/2012 – 29

Intitulé du projet : *Méthode de collecte de données trafic routier.*

Type de projet : *bibliographie*

Objectifs du projet :

S'initier aux véhicules autonomes

Apprendre les technologies de collecte de données trafic routier

Découvrir les projets existants en matière de collecte de données trafic

Mots-clefs du projet : *PUMAS, congestion, données trafic.*

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction.....	5
2.	Méthodologie et organisation du travail.....	6
3.	Travail réalisé	7
3.1.	Technologies de collecte de données trafic.....	7
3.1.1.	GPS ^{[1][2]}	7
3.1.2.	GPRS et Smartphones ^{[3][4][5]}	8
3.1.3.	Boucles magnétiques ^[6]	11
3.1.4.	Caméra ^[6]	12
3.1.5.	Radar ^[7]	13
3.1.6.	Autres technologies ^[6]	15
3.2.	Littérature.....	17
3.2.1.	Circulation en Belgique.....	17
3.2.2.	Projet du professeur CEO du VisLab Alberto Broggi.....	18
3.2.3.	Projets similaires à PUMAS ^{[8][9][10]}	20
3.3.	Lien avec PUMAS ^[11]	24
3.3.1.	Présentation de PUMAS.....	24
3.3.2.	Types de communications entre véhicules et serveurs.....	24
3.3.3.	Nature des données.....	25
3.4.	Application : logiciel RTMaps.....	26
4.	Conclusion et perspectives.....	28
5.	Bibliographie.....	29
6.	Crédits d'illustration.....	30
7 ;	Annexes.....	31
7.1.	Fonctionnement de l'effet Doppler-Fizeau ^{[12][13]}	31
7.2.	Conférences de Pierre Bourgeois.....	31
7.3.	Conférence PIC.....	35

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet physique P6-3, nous avons travaillé ce semestre sur le sujet « collecte de données trafic routier dans Rouen » avec l'aide de messieurs Abdelaziz Bensrhair et Amnir Hadachi.

Notre projet fait partie de la thématique de la gestion informatisée du trafic et des véhicules autonomes, et s'articule avec trois autres projets : prétraitement de données trafic, systèmes de transports intelligents aspects route et véhicule.

Pour nous permettre de mieux appréhender la collecte de donnée et les systèmes d'information trafic en général, notre projet se base sur l'étude du projet PUMAS, actuellement en cours de réalisation. Le projet PUMAS, actuellement testé sur l'agglomération de Rouen et labellisé par le pôle de compétitivité Mov'eo, doit accroître l'accessibilité des systèmes de transport intelligent. Sa principale innovation est que, pour recueillir des informations trafic, il ne s'appuie pas sur les infrastructures mais sur les véhicules eux-mêmes.

Nous avons aussi approfondi nos connaissances dans le domaine des STI par le biais de conférences données par des experts.

Ce projet a pour objectif de nous faire découvrir les différents moyens de collecter des données trafic et de les transmettre à leur lieu de traitement. Il a également pour but de nous permettre d'étudier un véritable projet dans le domaine de l'information trafic : PUMAS. De plus, il doit nous permettre d'apprendre à gérer un groupe de projet, ce qui est indispensable pour notre avenir professionnel.

Dans ce dossier, nous étudierons donc dans un premier temps les différentes technologies de collecte de données trafic et leur utilisation. Dans un deuxième temps, nous présenterons les différentes applications de ces technologies dans différents projets existants tel que le projet PUMAS.

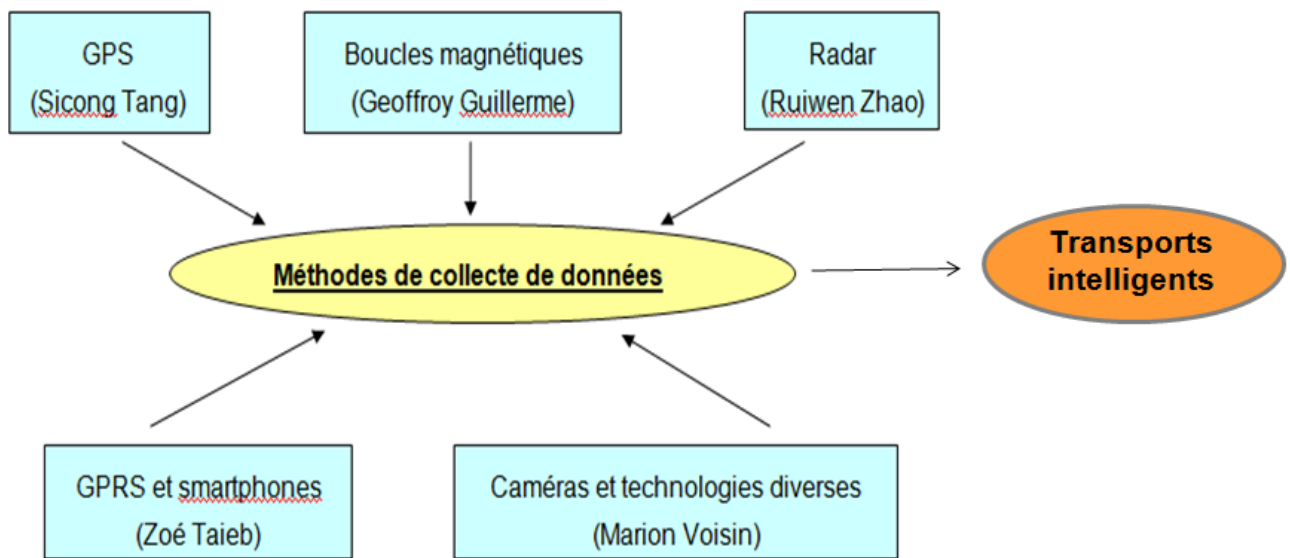


2. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

Ce projet s'est organisé en plusieurs types de séances :
 Durant les premières séances, nous avons assisté à des présentations théoriques du projet PUMAS (Plate-forme Urbaine de Mobilité Avancée et Soutenable). Puis, pendant les séances suivantes, nous avons fait beaucoup de recherches sur Internet, et nous récoltions des informations grâce aux documents données par les enseignants. Nous avons également assisté à des exposés d'intervenants extérieurs venant des laboratoires du LITIS et du VisLab.

Nous avons décidé de travailler chacun sur une technologie de collecte de données. Chaque semaine, nous nous sommes retrouvés afin de mettre en commun nos recherches. Le responsable de notre groupe devait présenter à notre tuteur et au groupe le travail réalisé pendant la semaine. Ainsi, nous avons assimilé au fur et à mesure les notions développées par nos camarades durant la semaine. Nous échangeons aussi nos notes par e-mail. Durant les dernières semaines, nous nous sommes retrouvés en dehors des heures de projet afin de finaliser le rapport et de préparer l'oral du 27 juin.

Ainsi nous avons abouti au projet sur les méthodes de collecte de données trafic routier.



3. TRAVAIL REALISE

3.1. TECHNOLOGIES DE COLLECTE DE DONNEES TRAFIC ROUTIER

On distingue parmi les différentes méthodes de collecte des capteurs intrusifs (les plus répandus), posés dans la chaussée comme les boucles magnétiques, des capteurs non intrusifs, sans installation de composants directement dans la chaussée tels que les caméras, et les FCD (Floating Car Data) qui sont embarqués dans les véhicules, par exemple les smartphones.

3.1.1. GPS

Le *Global Positioning System* (GPS) – que l'on peut traduire en français par « système de localisation mondial » est un système de géolocalisation par satellite fonctionnant au niveau mondial.

Le réseau de 24 satellites (plus 4 en réserve) actuellement en fonctionnement, développé par l'armée américaine, est mis à disposition des civils. Il permet de déterminer les coordonnées géographiques de n'importe quel point situé à la surface du globe. Sa précision peut atteindre 1 mètre. Le GPS s'utilise en association avec une carte pour se repérer et se positionner : randonnées, voile, trek...

3.1.1.1. Histoire.

À l'origine, le GPS était un projet de recherche de l'armée américaine. Il a été lancé dans les années 1960 et c'est à partir de 1978 que les premiers satellites GPS sont envoyés dans l'espace.

En 1983, le président Ronald Reagan, à la suite de la mort des 269 passagers du Vol 007 Korean Airlines a promis que la technologie GPS serait disponible gratuitement aux civils, une fois opérationnelle. Une seconde série de satellites est lancée à partir de 1989 en vue de constituer une flotte suffisante.

En 1995, le nombre de satellites disponibles permet de rendre le GPS opérationnel en permanence sur l'ensemble de la planète, avec une précision limitée à une centaine de mètres pour un usage civil. En 2000, le président Bill Clinton confirme l'intérêt de la technologie à des fins civiles et autorise une diffusion non restreinte des signaux GPS, permettant une précision d'une dizaine de mètres et une démocratisation de la technologie au grand public à partir du milieu des années 2000.

3.1.1.2. Fonctionnement du GPS

Le principe de fonctionnement du GPS repose sur la mesure de la distance d'un récepteur par rapport à plusieurs satellites (les satellites sont répartis de telle manière que 4 à 8 d'entre eux soient toujours visibles). Le GPS comprend au moins 24 satellites tournant à 20 200 km d'altitude. Chaque satellite émet un signal, capté sur Terre par le récepteur,



permettant ainsi de mesurer très précisément la distance séparant l'émetteur du récepteur grâce au temps de parcours.

Avec la réception des signaux de quatre satellites (trois pour obtenir le point d'intersection des trois sphères, un quatrième pour la synchronisation du temps), le récepteur mobile est capable de calculer sa position géographique par triangulation.

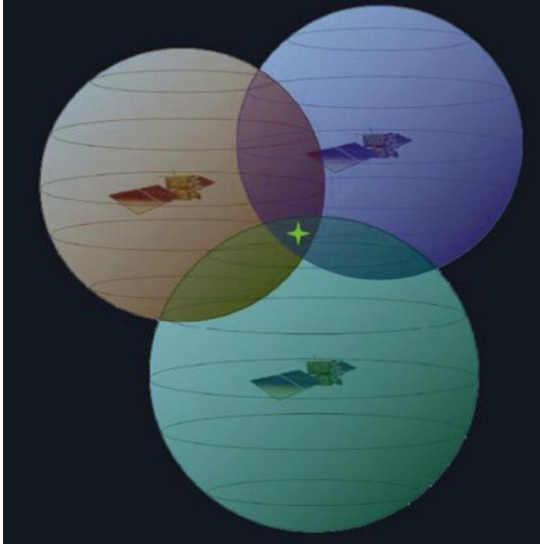


Fig 1 : principe de triangulation

Dégradée volontairement par l'armée américaine jusqu'en 2000, la précision du GPS est aujourd'hui de l'ordre du mètre, mais dépend du matériel utilisé et du nombre de satellites en visibilité.

L'association d'un récepteur GPS et d'un logiciel de cartographie permet d'obtenir un système de guidage routier efficace (affichage d'une carte avec les directions et guidage audio par synthèse vocale), développé sous différentes formes : système embarqué en voiture, boîtier autonome avec récepteur intégré, assistant personnel ou smartphone associé à un récepteur GPS.

Le GPS a connu un grand succès dans le domaine civil et engendré un énorme développement commercial dans de nombreux domaines : navigation maritime, sur route, localisation de camions, randonnée, etc. De même, le milieu scientifique a su développer et exploiter des propriétés des signaux transmis pour de nombreuses applications : géodésie, transfert de temps entre horloges atomiques, étude de l'atmosphère, etc.

3.1.2. GPRS et Smartphones

3.1.2.1. GPRS : Général Packet Radio Service

Fonctionnement

Il s'agit d'une extension de la transmission GSM (Global System for Mobile communication) qui permet le transfert de données par paquets. Il permet un débit de données plus élevé que le GSM et ne nécessite pas de connexion particulièrement stable ou continue



pour transmettre ses données. Les informations collectées par l'appareil de collecte sont transférées jusqu'au réseau qui rassemble les données par une technique de « tunneling » appelé protocole GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Ce dernier crée un « tunnel de communication » permettant le transfert des paquets.

Utilisable pour le grand public sur les téléphones portables, son utilisation est facturée au volume de données échangées et non à la durée de connexion. Concernant les tarifs en vigueur, les offres d'abonnement varient suivant les opérateurs. En moyenne, on peut constater que pour 10 € /mois, on nous offre un quota de 10 Mo, qui comprend l'envoi et la réception des données.

Débit théorique maximum : 171,2 kbit/secondes

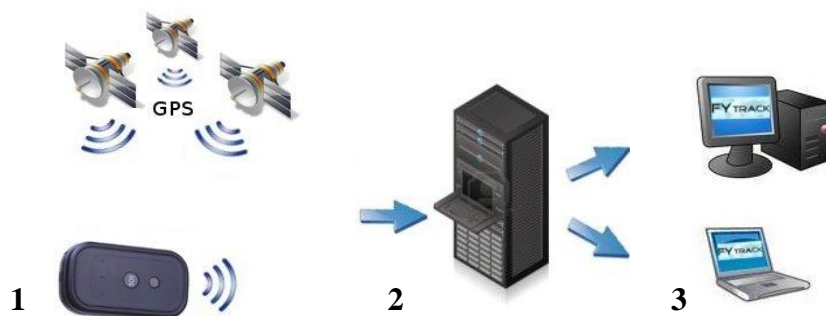
Débit usuel : 17,9 kbit/s,



Fig 2 : un module de communication GPRS

Le GPRS peut être utile pour relier les capteurs fixes installés dans l'infrastructure de transport (boucles électromagnétiques, des caméras, radars...) dans le cas où il est impossible ou trop coûteux de mettre en place un réseau filaire. Le transfert passera alors par un opérateur de téléphonie qui est lui-même interconnecté au réseau internet pour permettre les échanges avec les centres de données de trafic.

Il est également possible de combiner les systèmes GPRS et GPS pour connaître la position exacte d'un véhicule en temps réel, créant ainsi un collecteur de données embarqué. C'est le principe d'un traceur GPS/GPRS :



1. *Le traceur installé dans le véhicule calcule sa position grâce au GPS*
2. *La position est envoyée par le réseau GSM-GPRS Les données sont transmises au serveur de géolocalisation*
3. *Les données sont traitées et prêtes à être utilisées*



Avantages :

- Bonne couverture qui permet d'effectuer des communications sur de vastes étendues (c'est-à-dire pour des équipements répartis sur des centaines de kilomètres carrés où les solutions à bande passante étroite et spectre diffus ne peuvent fonctionner)
- Pas besoin d'investir dans des infrastructures coûteuses en érigeant des mâts et en installant des antennes.
- Rapide et simple d'installation si le service « GPRS » existe sur le lieu d'implémentation
- Idéal pour les systèmes où les données sont horodatées à la source et consultées périodiquement : en effet il n'est pas besoin de se préoccuper de la fiabilité de la communication en cours puisque les informations sont conservées jusqu'à la prochaine connexion réussie. Un logiciel adapté est indispensable pour gérer les données horodatées à la source et certaines solutions permettent d'intégrer ces données aux courbes de tendance sans programmation

Inconvénients :

- Nécessité de s'abonner. Le coût varie en fonction des fournisseurs et des pays
- Les débits de communication peuvent varier en fonction des supports de transmission utilisés. Ils peuvent devenir nuls en cas de saturation de leurs réseaux, n'étant en général pas garantis par les opérateurs de télécommunications. En effet la voix est généralement prioritaire par rapport au GPRS. C'est pourquoi les solutions de transmission apportant des garanties de débit et de disponibilité sont utilisées de préférence.
- La facturation en fonction de la quantité de données échangées peut poser problème car les variations de charge sont difficiles à prévoir et à contrôler (cependant l'utilisateur final peut négocier son contrat ou souscrire un contrat à coût fixe avec une quantité de données échangées illimitées)
- Le débit de la liaison diminue logarithmiquement avec l'éloignement de l'équipement de la cellule du réseau GSM la plus proche

3.1.2.2. Données smartphones ou FMD

Une des principales sources de données que transmet le système GPRS sont les téléphones mobiles et plus particulièrement les smartphones qui peuvent transmettre de nombreuses sortes d'informations.

Le principe est simple : chaque téléphone personnel adapté à ce système que l'on allume devient une « sonde de trafic » de manière anonyme. Les informations fournies par les smartphones peuvent être moins précises que le positionnement GPS. Cependant cette imprécision est corrigée si les téléphones pistés sont nombreux. Donc, plus le trafic est dense plus les données extraites seront proches de la réalité.



Ces données sont appelées FMD (Floating Mobile Data) et permettent de recueillir des renseignements tels que la localisation, la vitesse et le sens de déplacement d'un véhicule. Chaque opérateur a sa propre façon de collecter les données. Cependant cette solution reste toutefois coûteuse bien qu'elle ne nécessite aucun matériel.

3.1.3. Boucles magnétiques

3.1.3.1. Principe de fonctionnement.

La plupart des mesures effectuées pour la gestion du trafic routier sont réalisées par le comptage des véhicules qui circulent sur les routes. La principale de ces mesures est réalisée par les boucles magnétiques. Elles sont enfouies dans la chaussée et permettent grâce à des capteurs de détecter le passage de véhicule. Ensuite les données reçues sont collectées dans un boîtier et envoyées vers un centre de gestion du trafic où elles sont agrégées. Parfois des modèles d'exploitation peuvent se servir de la mémorisation du passé de l'information. Aujourd'hui il existe plusieurs types de capteur allant de la vidéo au simple capteur basique.



Fig 3 : Des boucles magnétiques dans une chaussée

Des boucles à induction sont placées sous la chaussée pour détecter les véhicules qui passent sur la boucle en mesurant le champ magnétique créé par le véhicule. Les capteurs insérés dans la chaussée détectent un changement d'inductance qui représente le passage d'un véhicule (voir principe ci dessous). Les plus simples des détecteurs comptabilisent le nombre de voitures qui passent au-dessus de la boucle pendant un intervalle de temps donné (souvent 60 secondes) tandis que les capteurs plus sophistiqués estiment également la vitesse, la longueur et le poids

des véhicules ainsi que la distance qui les séparent. Les boucles peuvent être placées sur une simple voie ou au travers de plusieurs voies et fonctionnent aussi bien pour des véhicules très lents ou à l'arrêt que pour des véhicules se déplaçant à grande vitesse.

Principe de fonctionnement issu du site transport-intelligent.net :

« Un capteur intrusif est composé d'une ou de plusieurs boucles inductives, généralement composé d'un rectangle ainsi que d'une queue de boucle. Chaque boucle est constituée de plusieurs spires de fil de cuivre multibrins étamé d'une section de l'ordre de 1 à 2 mm². Le fil utilisé présente un revêtement PVC hautement isolant. Suivant la forme de la boucle, ses dimensions, le nombre de spires, sa profondeur d'enfouissement et la section du fil utilisé, les résultats des détections seront différents. La queue de boucle est la portion de la paire de fils située entre l'extrémité de la boucle et l'unité de détection. Cette paire de fils est torsadée et blindée à raison de 10 spires au mètre pour éviter les champs magnétiques perturbant. La boucle est placée en chaussée à environs 7 cm en dessous de l'enrobé ou de la



dalle béton. Un signal électrique sinusoïdal de quelques dizaines de mV est appliqué aux bornes de la boucle électromagnétique à une fréquence entre 50 et 150kHz. Cette tension induit un champ magnétique rayonnant autour la boucle et au dessus de la chaussée (circuit résonnant).

A chaque passage d'un véhicule au dessus de la boucle, la masse métallique en mouvement du véhicule perturbe le champ magnétique rayonnant, ce qui a pour effet de modifier le courant induit de la boucle et donc la fréquence du signal électrique émis. Ce décalage de fréquences est converti en tension à l'aide d'une boucle à verrouillage de phase. Cette dernière est seuillée pour fournir un signal « tout ou rien » directement lié à la présence du véhicule. A l'aide de deux boucles inductives, il est possible de déduire la vitesse du véhicule ainsi que sa longueur. Des boucles plus étroites permettent de déduire la silhouette de chaque véhicule en détectant leurs essieux. »

3.1.3.2. Avantages et inconvénients.

Les données fournies par les boucles magnétiques sont fiables mais elles correspondent à une technologie assez vieille et demeurent assez chères vu le coût des travaux de construction lié au génie civil. C'est pourquoi on trouve des boucles magnétiques essentiellement dans les métropoles et les pays les plus riches.

Notons quelques limites dans le fonctionnement des capteurs. Certains facteurs perturbent les détections : champs magnétiques, véhicules circulant à basse vitesse (inférieure à 5km/h), véhicules très proches les uns des autres et remorques, véhicules présentant une garde au sol importante, très petit gabarit de véhicules.

Par ailleurs, les boucles magnétiques restent liées à l'infrastructure et manque de flexibilité. Une fois positionner les boucles sont fixes. Les mesures s'effectuent seulement à l'endroit équipé. Ce qui est différent avec le projet PUMAS qui utilise des capteurs embarqués dans les véhicules.

3.1.4. Caméra

Il s'agit d'un type de systèmes de collecte de données non intrusif et fixe. Les capteurs vidéo mesurent la vitesse, le débit, l'intervalle entre véhicules et de détecter les piétons.

3.1.4.1. Principe de fonctionnement

Ce procédé est plus complexe car il utilise différentes données qu'il faut fusionner. Ainsi des techniques de traitement d'image sont appliquées afin d'éliminer le bruit dans l'image, mais surtout de déterminer les mouvements des groupes de pixels, d'extraire les contours des objets, les reconnaître et les classer via des processus de reconnaissance des formes.

Au début, il est nécessaire de configurer le système de détection pour « apprendre » au processeur l'image de fond de référence. Pour cela, différentes mesures sont renseignées telles que les distances entre les lignes de la chaussée ou la hauteur à laquelle la caméra est placée. Puis on paramètre sur l'image de la route des boucles virtuelles qui fonctionnent comme des boucles électromagnétiques classiques. Ici, ce n'est pas la masse métallique qui est détectée mais la présence de groupes de pixels. Grâce à des algorithmes de détection du mouvement,



des processeurs analysent les changements de caractéristiques de l'image vidéo.

Les capteurs peuvent être de type CCD (Charge Coupled Device. Le transfert des informations s'effectue en décalant la charge électrique de l'image de photosite en photosite - élément actif à qui un photon incident peut arracher un électron) ou CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor. La charge générée quand la lumière frappe le photosite est convertie directement en tension utilisable.) et peuvent être avec ou sans filtre infra-rouge si le système doit fonctionner de nuit.

Selon la marque et le modèle, un seul processeur de détection vidéo peut détecter le trafic en simultané pour 4 à 8 caméras, en fonction de la complexité des algorithmes qui lui sont associés. La caméra peut collecter des données de plusieurs voies dans les deux sens.

3.1.4.2. Limites de fonctionnement et types de capteurs vidéo.

Limites de fonctionnement.

Une maintenance est nécessaire, puisqu'il faut nettoyer la vitre ou le caisson de la caméra. Néanmoins, elle est plus simple que sur les autres systèmes de collecte de données, car il n'y a pas de contact répété entre le capteur et les roues.

Le capteur vidéo est aussi sensible aux conditions météorologiques, à la forte lumière, aux obstacles (végétations, gros véhicules).



Fig 4 : des caméras routières

Capteurs vidéo de Lecture Automatique de Plaques d'immatriculation.

Les systèmes de LAPI peuvent aussi être utilisés pour recueillir des temps de parcours, le débit et la vitesse des véhicules, mais leur principale fonction est l'identification des véhicules volés pour la police. Ils ne filment qu'un seul sens de circulation et sont soumis aux mêmes contraintes que les autres types de capteurs vidéo.

Détecteurs Automatiques des Incidents (DAI)

Ils détectent les ralentissements brusques, les véhicules arrêtés, l'apparition de fumée... et peuvent être utilisés pour la collecte de données trafic routier en informant d'accidents et permettant donc par la suite de conseiller un autre itinéraire aux usagers.

3.1.5. Radar

Le radar est un système qui utilise les ondes radio pour détecter et déterminer la distance et/ou la vitesse d'objets tels que les avions, les bateaux, ou encore la pluie. Un émetteur envoie des ondes radio, qui sont réfléchies par la cible et détectées par un récepteur. La position est estimée grâce au temps de retour du signal, ce qui indique la distance, et la position angulaire de l'antenne. La vitesse est mesurée à partir du changement de fréquence du signal par effet Doppler (Annexe 1).



Les radars ont aujourd'hui une très grande variété d'applications dans de nombreux domaines :

- militaire: radars de détection et de surveillance aérienne au sol ou embarqués ;
- aéronautique : contrôle du trafic aérien ; guidage d'approche d'aéroport ;
- météorologie : détection de précipitations (pluie, neige, grésil, grêle, etc.) et de formations nuageuses.
- circulation et sécurité routière : contrôle de la vitesse des automobiles. Ils sont placés sur les autoroutes, dans les zones où les véhicules peuvent rouler à une vitesse supérieure à la vitesse maximale autorisée.



Fig 5 : Des radars routiers

- systèmes de sécurité (anti-intrusion) fonctionnant par l'évaluation de la présence d'un objet en mouvement par effet doppler.

3.1.5.1. Principe de fonctionnement.

Un radar de contrôle routier est un instrument servant à mesurer la vitesse des véhicules circulant sur la voie publique à l'aide d'ondes radar.

Ces radars utilisent le principe de l'effet Doppler-Fizeau pour mesurer la vitesse. Ils émettent une onde continue, de 10 à 25 GHz, qui est réfléchiée par toute cible se trouvant dans la direction pointée. La forme et l'amplitude du signal reçu sont directement liés à la forme du véhicule et à sa surface de réflexion. Par effet Doppler, l'onde réfléchiée possède une fréquence légèrement différente de celle émise : plus grande fréquence pour les véhicules s'approchant du radar et plus petite pour ceux s'éloignant. En mesurant la différence de fréquence entre l'onde émise et celle retournée, on peut calculer la vitesse de la cible. Ceci se fait en trouvant le battement entre les deux ondes.

Les données ainsi obtenues ne montrent que la vitesse radiale entre le radar et le véhicule. Il faut donc que le sens de déplacement de la cible soit en ligne directe vers le radar. Si la cible se déplace avec un angle par rapport à cette direction, la vitesse notée n'est que la projection sur la radiale au radar, soit la vitesse réelle fois le cosinus de l'angle (facteur variant de 0 pour un déplacement perpendiculaire au radar à 1 pour celui vers le radar).



La valeur de la SER (Surface Équivalente Radar exprimée en m²) analysée permet de distinguer la silhouette des véhicules. Le capteur peut aussi estimer la longueur du véhicule. Pour analyser le trafic sur plusieurs voies simultanément, il est nécessaire de choisir un matériel disposant de plusieurs « canaux » radars.

3.1.5.2. Types de radars.

Pistolet radar

Il s'agit d'un radar portatif ayant la forme d'un tube monté sur une poignée qui le fait ressembler à un pistolet. Le policier pointe directement dans la direction d'où viennent les véhicules et après un temps de prise de données, obtient une lecture de la vitesse. On utilise également ce type de radar pour mesurer la vitesse dans certains sports.

Radar embarqué dans un véhicule

En France, des radars équipés d'appareils photo numériques sont embarqués dans plusieurs types de véhicules : des breaks Renault Mégane et Laguna, Ford Mondeo, Opel Mérida et Peugeot 306 banalisés.

Radar automatique fixe

Bien connus, les radars automatiques fixes sont situés sur le bord de la route. Signalés par un panneau, leur situation peut également se trouver sur des sites internet.

3.1.6. Autres technologies

3.1.6.1. Capteurs intrusifs

Il existe d'autres capteurs intrusifs comme les capteurs à effet « Piézo-électrique ». Ces capteurs ont des propriétés physiques qu'ont certains matériaux diélectriques, comme les polymères ou les céramiques. Ces matériaux génèrent une tension sous l'effet d'un déplacement de charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique (ici force d'impact des pneus). Ce capteur est conditionné sous la forme d'un câble entouré de cuivre. Ce câble est inséré transversalement dans la chaussée.

On trouve aussi les capteurs à tubes pneumatiques. Ceux sont des tuyaux attachés à la chaussée. Ces tuyaux transmettent des variations de pression d'air provoquées par le passage d'un véhicule. Un détecteur pneumatique transforme ces variations en signaux électriques. Ces informations sont transmises à un compteur qui les filtre, les compte et les date. L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans la faible durée de vie des capteurs qui est d'environ deux mois.

Pour finir, parlons rapidement des capteurs à « Fibres optiques ». C'est un dispositif composé de fibres qui permettent de recueillir des informations représentatives de grandeurs



mesurées sans apport d'énergie autre que les ondes lumineuses circulantes dans les fibres. On rajoute une gaine mécanique pour protéger les fibres. Un détecteur récupère l'information soit par transmission ou par réflexion avec une source et un détecteur côte à côte. L'onde varie selon le capteur (modulation d'intensité, de phase, de polarisation et de fréquence). L'insensibilité aux perturbations électromagnétiques, le temps de réponse rapide, l'absence d'alimentation au point de mesure constituent les principaux avantages de cette méthode. Les mesures peuvent aussi être sans contact et effectuées sur de longues distances. Il y a néanmoins quelques inconvénients comme la fragilité et le coût des connecteurs ainsi que les pertes dues par la courbure de la fibre.



Fig 6 : Une fibre optique

3.1.6.2. Capteurs non intrusifs

On voit aussi apparaître depuis ces dernières années des réseaux de capteurs sans fil. Constitués de petits capteurs utilisant la technologie sans fil pour communiquer, ces réseaux semblent adaptés au cas de la gestion du trafic routier urbain. Outre leur réactivité et leur logique de conception naturellement distribuée, ces réseaux possèdent l'avantage d'être facilement intégrables à l'infrastructure urbaine et à faible coût, en comparaison aux boucles électromagnétiques dont le prix et l'installation sont moins accessibles.

Il existe aussi des méthodes de collecte de données utilisant des lasers, des ondes acoustiques ou encore l'infrarouge.

L'infrarouge est un rayonnement électromagnétique (invisible à l'œil humain). On distingue les capteurs passifs ($3\mu\text{m} < \lambda < 15\mu\text{m}$) et les capteurs actifs ($0,8\mu\text{m} < \lambda < 3\mu\text{m}$).

Les capteurs passifs sont composés d'un capteur pyroélectrique (sensible aux infrarouges), d'une lentille de Fresnel (fais converger les rayons sur le capteur) et d'une partie électronique (traite signal). Le véhicule est détectable par une émission de chaleur importante avec le moteur et le pot d'échappement. Cette chaleur dégage une énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. La cible est détectée quand elle émet une longueur d'onde incluse dans la plage de sensibilité du capteur. Ce type de capteur peut servir à la commande de feux tricolores. En général les capteurs sont installés en accotement ou en surplomb des voies de circulation.

Les capteurs actifs sont composés d'une partie émettrice et d'une partie réceptrice. L'émetteur est une diode électroluminescente (DEL) qui émet un pinceau lumineux plus ou



moins fin selon son application. L'émetteur est souvent un laser dont l'avantage est de pouvoir travailler dans un domaine proche du visible (facilite les réglages). On distingue trois modes de détection : le mode vis à vis, le mode réflex et le mode de proximité. L'ensemble émetteur/récepteur est dissocié en deux modules en mode vis à vis, ou combiné dans un même boîtier en mode réflex (utilisation d'une surface réfléchissante) et en mode de proximité (réflexion du faisceau sur le véhicule). Ces capteurs actifs sont fréquents dans la réalisation de barrières optiques, de télémètres, et de cinémomètres laser de contrôle routier.

L'inconvénient majeur est la faible précision des mesures de vitesse et de débit. De plus, les véhicules à deux sont parfois difficilement détectables et la pluie peut nuire aux mesures.

L'Université de Berkeley se démarque en proposant une approche originale qui utilise des capteurs magnétiques enfouis dans la chaussée, les réseaux de capteurs sans fil, et les technologies RFID (Radio Fréquence Identification). Celles-ci sont jusqu'à présent utilisées pour le télépéage.

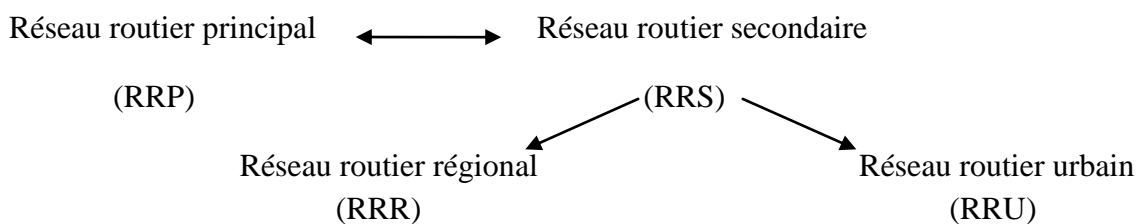
On remarque aussi l'essor des systèmes coopératifs qui reposent sur des communications de véhicule à véhicule (V2V), notamment dans le cadre de la réalisation d'assistance à la conduite (alerte anticollision, ...), et des communications de véhicule à infrastructure (V2I), qui permettent une continuité des informations transmises entre véhicules en passant par les unités bord de route.

3.2. LITTERATURE

3.2.1. Circulation en Belgique

La congestion de la circulation routière constitue un défi d'importance capitale pour notre mobilité étant donné l'augmentation du trafic prévue dans les prochaines années. C'est pourquoi de nouvelles technologies se développent pour lutter contre ce problème. Ce phénomène de congestion est très sérieux en Belgique. Ainsi, nous avons étudié un document sur la circulation routière en Belgique. En pratique, il existe plusieurs solutions comme l'amélioration des infrastructures routières, du système des signaux de trafics, etc.

Recueil des mesures:



La mesure du réseau routier principal (RRP) se fait principalement grâce à des détecteurs de véhicules simples inductifs intégrés dans la chaussée. Il s'agit de boucles rectangulaires de fil de cuivre qui détectent les véhicules lors de leur passage. Cette méthode permet d'enregistrer chaque minute la vitesse et le nombre de véhicules qui passent, en distinguant voitures particulières des camions, à partir du poids et de la longueur détectés. Ces données sont ensuite envoyées à une unité de traitement locale.

Sur les autoroutes, il y a un détecteur par voie de circulation. Lorsqu'il y a un groupe de détecteurs de véhicules voisins, c'est-à-dire sur les voies de circulation adjacentes, on parle de poste de mesure. Un complexe de mesure est un groupe de postes de mesure situé avant et après une bretelle d'autoroute. Néanmoins, Les détecteurs de véhicules simples ont une marge d'erreur assez élevée en ce qui concerne la vitesse moyenne.

Quant au réseau routier secondaire (RRS), la mesure du trafic routier est assurée par la communication mobile, notamment par les GSM. La carte routière est divisée en hexagones, au centre desquels se trouve une antenne radio. Chaque cellule représente le rayon d'action de l'antenne. Lorsque l'on appelle avec un GSM, celui-ci est en contact avec l'antenne de l'hexagone dans lequel se trouve le véhicule. Quand ce dernier traverse dans une cellule voisine, le GSM établit une nouvelle connexion avec l'antenne suivante : c'est un « handover ». Lorsque deux traversées de cellules, deux « handovers » ont lieu, on peut calculer le temps qu'il aura fallu pour aller du premier au second et ainsi déterminer la durée du voyage.

Outre le GSM, on peut également utiliser le GPS pour collecter des données : on parle alors de « floating car data », FCD.

Le système de mesure lié au GSM est généralement plus utilisé pendant les embouteillages que durant un trafic fluide. De plus, il comporte une certaine marge d'erreur due aux mesures.

3.2.2. Projet du professeur CEO du VisLab Alberto Broggi

Le 15 mars 2012, nous avons assisté à une conférence donnée par le professeur Alberto Broggi, directeur général du VisLab. VisLab est une filière de l'Université de Parme, en Italie, qui recherche et développe des algorithmes ainsi que des systèmes intelligents, principalement pour le domaine de l'automobile.

Le professeur Broggi nous a parlé d'un projet sans précédent : le VIAC, VisLab Intercontinental Autonomous Challenge.

Après s'être préparée pendant plus d'un an, une équipe de 32 personnes a parcouru pendant 100 jours 15 926 kms avec quatre véhicules sans conducteurs. Le 20 juillet 2010, le convoi est parti de Parme et est arrivé, après avoir traversé 9 pays, le 28 octobre à Shanghai.

La principale innovation de ce projet était de faire rouler des véhicules sans conducteur sur un trajet totalement inconnu (aucune carte GPS n'est disponible pour certaines zones traversées), avec des conditions climatiques et de route extrêmes comme variées. Par



exemple, durant cette expédition, des températures allant de 0 à 44 °C ont été enregistrées, et le convoi a roulé jusqu'à 2900 m d'altitude.

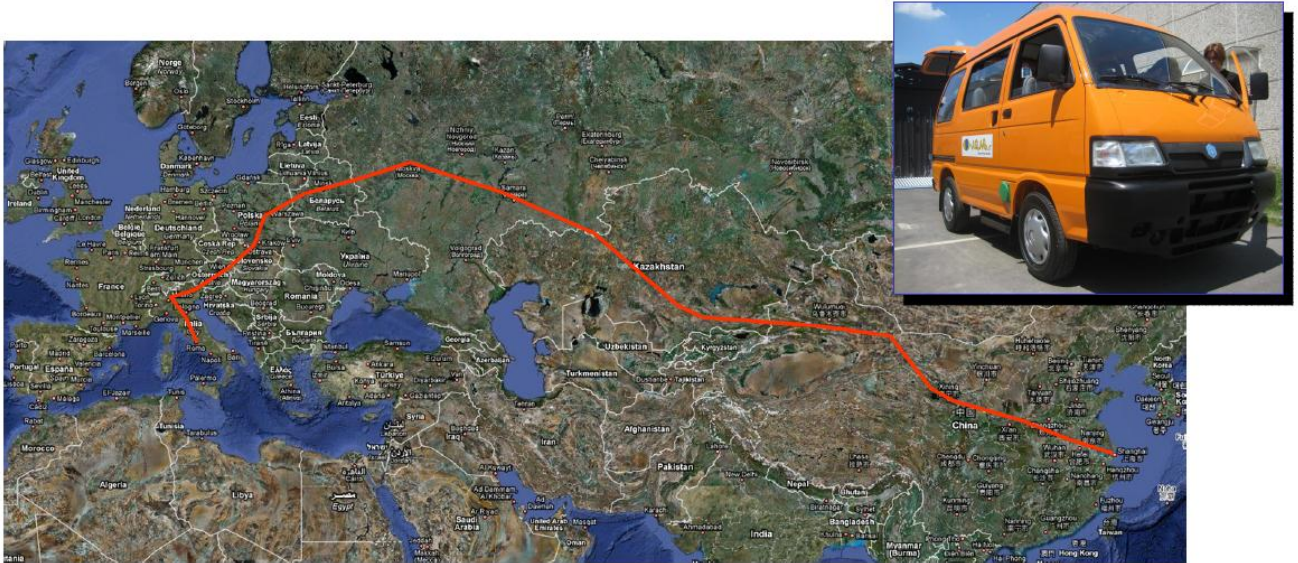


Fig 7 : L'itinéraire du VIAC.

Le convoi était constitué de deux véhicules roulant sans conducteurs, de camions servant à la logistique et au ravitaillement, ainsi que de deux autres véhicules autonomes de remplacement placés dans les camions.

Les véhicules fonctionnaient à l'énergie solaire, avec une autonomie de 400 kms. Ils pouvaient rouler jusqu'à 70 km/h, et sont munis notamment de 7 caméras, d'un GPS et d'un système de communication V2V (véhicule à véhicule). Ils possédaient un système de détection des obstacles et de perception 3D pour lequel les distances sont représentées par des couleurs.



Fig 8 : L'emplacement des capteurs (caméras, radars, lasers...) sur un véhicule autonome du VIAC.



En l’absence de cartographie, les véhicules avaient besoin de repères pour rouler de manière autonome. Le véhicule de front, avec des personnes à son bord, ouvrait la route au second véhicule. Son rôle était de collecter des données et de définir l’itinéraire. Le deuxième véhicule suivait alors en repérant grâce aux caméras le premier véhicule et roulait de façon entièrement autonome sans aucune intervention humaine. Si le premier véhicule n’était pas visible, le second suivait des points GPS créés par le premier.

Les véhicules étaient parfois conduits manuellement dans certaines situations, telles qu’une météo trop mauvaise, ou un intense trafic où les comportements humains sont imprévisibles.

Dans l’ensemble, l’équipe a surtout rencontré des problèmes aux frontières : douanes, visas, permis de conduire, ainsi que quelques soucis de maintenance et de logistique. Toutefois, il est clair que le projet VIAC a été un succès.



Fig 9 : Le convoi du VisLab Intercontinental Autonomous Challenge.

3.2.3. Projets similaires à PUMAS

3.2.3.1. TrafficScan

Le projet a été conçu dans le but de donner en temps réel des informations aux automobilistes sur le trafic. Les données sont collectées puis mises en ligne pour indiquer les conditions de circulations aux automobilistes qui peuvent ainsi planifier leur trajet.

Apparu en 1999 à Singapour, ce projet est constamment modernisé afin de donner des informations plus précises sur la fluidité du trafic.

Avant 1999, la LTA (Land Transport Authority) de Singapour collectait les données propres à la circulation de deux façons différentes : grâce à des détecteurs fixés sur la voie ou par le biais d’enquêtes sur le temps de trajet. Ces deux anciennes méthodes avaient deux



inconvénients majeurs : la rapide détérioration des capteurs, ainsi que le fait qu' ils fournissent des données ponctuelles et locales et non globales.

Pour collecter les données, TrafficScan utilise est le FCD (Floating Car Data), réalisé à partir de véhicules équipés de sondes. Ces véhicules sont le plus souvent équipés d'un système GPS.

La méthode du FCD consiste à:

- Collecter automatiquement des données à partir de véhicules individuels.
- Envoyer les données vers un processeur central
- Extraire les données utiles et les redistribuer aux automobilistes.

Les européens ont utilisé la méthode dans plusieurs pays. On peut mentionner OPTIS en Suède ou bien encore et le projet FCD-Taxi en Allemagne. Cependant, cela concerne essentiellement des projets pilotes avec des petits budgets (220 véhicules en suède en 2001 et 2200 taxis à travers 5 villes en Allemagne en 2002).

Plus récemment, en Chine, un projet pilote de grande envergure a vu le jour dans la ville de Guangzhou. Ce projet s'est effectué avec la collaboration de Siemens Mobile. Les données de plus de 17.000 taxis sont analysées et les informations collectées sont envoyées aux automobilistes sur le net ou bien par texto.

À Singapour, le projet TrafficScan utilise 11.000 taxis équipés de dispositifs GPS grâce auxquels on capture la position, la vitesse et la direction du taxi. Les données sont ensuite mises en ligne sur le site www.onemotoring.com.

On y retrouve également les informations concernant la vitesse en temps réel, les travaux en cours, les incidents et aussi les accidents sur les routes Singapouriennes.

L'algorithme utilisé a plusieurs fonctions, tout d'abord il convertit les données du type WGS84 (format mondiale) au type SVY21 (format locale à Singapour). Il effectue ensuite un map-matching afin de situer précisément les taxis. Enfin, il calcule les vitesses moyennes sur les segments de route car elle est plus représentative des conditions de circulation.

3.2.3.2. Mobile Millennium

Mobile Millennium est un système pilote de collecte, de traitement et de diffusion des conditions de circulation en temps réel grâce à l'utilisation de Smartphones équipés de GPS. Deux algorithmes utilisent ces données GPS pour estimer les conditions de trafic. Les algorithmes sont respectivement basés sur la méthode de régression logistique et la méthode STARMA (Spatio-Temporal Auto Regressive Moving Average). Chaque algorithme contient un élément d'apprentissage, qui produit une estimation des paramètres spatio-temporels pour décrire les interactions entre les différents états des routes du réseau. En outre, chaque algorithme contient un élément de déduction, qui traite ces données en temps réel et fait des prévisions à court terme en utilisant ces paramètres. Les algorithmes sont testés avec des données de simulation obtenues à partir de logiciels Paramics, et d'un essai sur le terrain à New York. Les deux méthodes donnent des résultats encourageants dans la prévision des conditions de circulation en utilisant des données GPS éparses.

Une première implémentation au sein du système mobile du Millénaire démontre la capacité de deux algorithmes à prévoir les temps de trajet lorsqu'il y a suffisamment de données disponibles. En résumé, ce travail a obtenu les résultats suivants:



1. Etablissement de la validité d'un paradigme de la collecte de nouvelles données sur des artères moyennes, à savoir l'utilisation de lignes de parcours virtuels pour l'estimation de temps de trajet et la prévision à faible taux de pénétration.
2. Création des méthodes d'agrégation des données pour avoir des tendances sur l'évolution de la durée des temps de parcours.
3. Application de la régression logistique et les méthodes d'apprentissage STARMA pour acquérir des paramètres spatiaux temporels utilisés pour prévoir les temps de trajet.
4. Validation des deux modèles en utilisant une partition d'obtention / validation des données, y compris une base de données de simulation Paramics et les résultats de trois essais sur le terrain à New York.

Le trafic est affiché directement sur l'écran du téléphone, des informations de trafic (constructions, accidents, etc.), et des rapports audio sur le trafic. Pour les conducteurs qui veulent participer au programme, le téléphone peut également envoyer des informations au système (mesures de Lagrange).

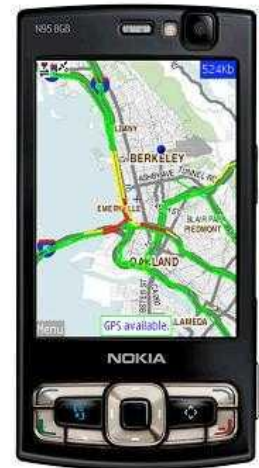


Fig 10 : L'état du trafic routier visible sur téléphone
(vert : fluide ; jaune : ralenti ; rouge : congestionné)

3.2.3.3. INRIX

Fondée en 2005, INRIX est basé à Kirkland, Washington ayant des bureaux à l'échelle internationale au Royaume-Uni et en Allemagne.

INRIX est un fournisseur d'informations de trafic haute précision et de services au conducteur de premier plan comptant plus de 100 clients et partenaires industriels (Ford Motor Company, TomTom, MapQuest, Microsoft..) dans les secteurs de l'automobile, des télécommunications mobiles et du secteur public. Les partenariats stratégiques qu'INRIX a noués à travers l'Europe lui permettent de fournir de manière élargie des données de la plus haute qualité et la couverture la plus vaste disponible pour la navigation personnelle, la cartographie, la télématique et d'autres applications de services de localisation, en ligne et sur des appareils mobiles.

INRIX fournit aux automobilistes des éléments d'information fiables sur les itinéraires les plus rapides, les temps de parcours les plus brefs et d'autres services au conducteur qui font économiser du temps et de l'argent tout en réduisant la consommation de carburant. Par exemple, en France, The INRIX France Traffic Scorecard fournit une analyse détaillée de l'état du trafic en période d'engorgement. Cette étude a été réalisée en Europe au cours de l'année 2009. Les résultats proposés varient en fonction de jour, de l'heure, du moment de la conduite en matinée ou en soirée et propose des analyses globales.





Fig 11 : Une carte routière fonctionnant avec INRIX

Les avantages des solutions INRIX pour l'Europe incluent :

- **Simplicité.** Un seul accord commercial, une seule interface technique, un seul format de données, un seul ensemble de services connectés homogènes à travers l'Europe et l'Amérique du Nord
- **Informations précises de trafic en temps réel pour 18 pays européens**, couvrant plus de 500000 kilomètres de routes à travers l'Europe
- Une **plateforme de services d'info-traffic de classe automobile** sur laquelle les clients peuvent compter à tout moment et en tout lieu
- **Evolutivité** entre plates-formes de véhicule et d'appareils mobiles
- **Innovations technologiques de pointe comme XD Traffic** qui aident les clients à conserver leur avance et étendent la durée de vie de leurs produits
- **Prise en charge de tous les protocoles de diffusion standard** : TPEG sur IP, RDS-TMC, VoiceXML ou XML

INRIX combine de façon unique les données en temps réel des capteurs traditionnels, des réseaux de collecte mutualisée des informations comptant plus de 2,5 millions de véhicules et appareils équipés de GPS, d'une base de données historique des vitesses de trafic et des centaines d'autres facteurs ayant un impact sur la circulation comme les accidents, les travaux et autres variables locales telles que les rencontres de football, les concerts et les conditions météo. Les utilisateurs peuvent ainsi connaître les historiques, la circulation en temps réelle et les prévisions sur les autoroutes, les routes, et les routes secondaires, y compris les artères et les rues secondaires.

Les services routiers INRIX utilisent des techniques d'analyse statistique sophistiquées, développées à l'origine par Microsoft Research, pour cumuler et améliorer les informations routières extraites afin d'avoir d'une grande précision.

Les données brutes proviennent de la banque de données historique d'information trafic du réseau INRIX Smart Driver. Depuis 2008, INRIX a fait l'acquisition de milliards de rapports distincts de véhicules d'étude équipés de GPS représentant des véhicules et des appareils mobiles circulant sur les routes européennes, notamment des taxis, des navettes



d'aéroport, des camionnettes de livraison, des poids-lourds, des applications de Smartphone et des véhicules de particuliers. Les données provenant de ces véhicules et appareils mobiles équipés de GPS comprennent la vitesse, la localisation et la direction de chaque véhicule anonyme à une date et une heure précises.

INRIX a développé des méthodes performantes d'interprétation des rapports de ces véhicules d'étude, qui sont fournis en temps réel afin d'établir une estimation actualisée des tendances de circulation dans les principales villes européennes. Ces mêmes méthodes peuvent rassembler des données sur certaines périodes (par année pour le présent rapport) afin de fournir des informations fiables sur les vitesses et les niveaux d'encombrement de tronçons routiers. Avec le réseau de véhicules d'étude le plus hétérogène et riche d'Europe, INRIX génère les analyses du trafic les plus complètes, actualisées et cohérentes à ce jour pour plusieurs pays européens.

3.3. LIEN AVEC PUMAS



3.3.1. Présentation de PUMAS

Fig 12 : Le logo de PUMAS

PUMAS (Plate-forme Urbaine de Mobilité Avancée et Soutenable) est un projet de recherche dans un but d'application industrielle qui développe une plate-forme logicielle de mobilité durable et la met en application sur le réseau urbain de l'agglomération de Rouen. Le but de cette plate-forme logicielle est de fournir aux collectivités territoriales une connaissance précise en temps réel de l'état du trafic sur tout le maillage urbain et périurbain. Elle propose également une évaluation heure par heure des émissions de gaz à effet de serre.

Les objectifs principaux de ce projet sont :

- ⤴ La mise sur le marché d'un logiciel évaluant un temps de parcours dans une certaine zone plus performant et répondant mieux aux attentes des utilisateurs
- ⤴ La création d'emplois à haute valeur ajoutée
- ⤴ Permettre aux réseaux de transport publics de rivaliser avec les réseaux routiers dans le domaine de l'information sur les conditions de circulation

Les moyens mis en œuvres pour réaliser ce projet sont le comptage des véhicules et l'estimation de la vitesse sur différentes portions de route, le tout organisé par un système de maillage virtuel du réseau routier.

3.3.2. Types de communications entre véhicules et serveurs

Les données sont collectées par des boîtiers embarqués dans les véhicules (Boîtier spécial ou intégré dans un smartphone) appelés PUMAS Box. Le réseau routier est organisé en un maillage de routes dont les intersections sont marquées par des points de références ou PUMAS Point. Les PUMAS point ont des coordonnées GPS précises et sont placés sur une carte virtuelle du réseau.



Les informations sont recueillies dans des « boîtes aux lettres virtuelles », les PUMAS Spot. Il s'agit de bornes réelles qui transmettent les données rassemblées via une connexion haut débit de type ADSL. Les données forment ensuite la base historique COYOTE.

Les communications entre les PUMAS Spot et les appareils de collecte se font par le biais des technologies WIFI (grande portée d'environ 5km) et GPRS.

L'ensemble des données collectées est ensuite traité et organisé par le PUMAS Server. Son rôle est de les filtrer, les enregistrer sur les bases de données, les organiser de façon lisible et de les transmettre au client, c'est à dire à l'agglomération.



Fig 13 : La ville de Rouen avec des PUMAS points et des PUMAS spots.

3.3.3. Nature des données

Les données échangées par les boîtiers et bornes PUMAS sont des positions GPS horodatées. Collectées en nombre suffisant elles permettent de connaître la vitesse des véhicules sur une portion de route.

Des informations sont également transmises au serveur par des systèmes externes à PUMAS. D'autres données GPS sont issues des boîtiers COYOTE pour compléter celles des PUMAS Box. COYOTE transmet à PUMAS :

- ⤴ l'identifiant de l'équipement
- ⤴ les coordonnées du véhicule
- ⤴ la direction
- ⤴ l'horodatage
- ⤴ la vitesse

Enfin PUMAS reçoit des données supplémentaires du système de régulation du trafic de Rouen. Elles sont issues des boucles magnétiques déjà présentes sur le réseau. Les informations transmises sont les suivantes :

- le débit
- le taux d'occupation
- la vitesse des véhicules



3.4. APPLICATION : LOGICIEL RTMAPS

Créé en 1998 au Centre de Robotique de l'École des Mines de Paris, Real Time Multisensor Advanced Prototyping Software, commercialisé par Intempora, est un logiciel qui permet l'acquisition de données de différents types et leur traitement en temps réel. Dès lors qu'un appareil est connectable à un système informatique, il est possible d'échanger des informations. Toutes les informations sont alors datées et synchronisées, même si elles proviennent de capteurs multiples, puis stockées dans des BDDS, Base de Données Datées Synchronisées. Les données peuvent aussi bien provenir d'une caméra, d'un GPS que d'un laser. RTMaps est utile dans de nombreux domaines, comme la robotique, l'aérospatial, la marine, et aussi pour les véhicules autonomes. En effet, ce logiciel permet de recueillir de précieuses données en temps réel telles que la position ou la vitesse.

La construction des applications se fait sous forme de diagrammes, ce qui rend RTMaps facile à utiliser (par exemple pour des constructions complexes il y a possibilité de changer la couleur des fils entre composants pour rendre le diagramme plus lisible). Les diagrammes sont créés à partir de composants, qui représentent les blocs fonctionnels utilisés pour construire n'importe quelle application. Ce sont des capteurs, des algorithmes... , et ils sont reliés entre eux par des fils.

Malheureusement, nous n'avons pas eu l'occasion de travailler sur ce logiciel. Néanmoins, nous nous y sommes initiés grâce aux tutoriels du site Intempora. Nous avons donc appris à créer quelques diagrammes, et à traiter des données issues de vidéos ou de webcam. Notamment, nous avons traité des images webcam en temps réel pour les mettre en négatif, ou pour avoir le suivi d'un point particulier de l'espace.

Les années précédentes, plusieurs groupes de projet physique ont pu travailler sur RTMaps et notamment traiter des données acquises à partir d'un véhicule Lara à l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et Automatique). Ils ont ainsi pu connaître la position, la vitesse et l'accélération à tout instant du véhicule. Pour cela, le composant « Player », les données de capteurs, est une ou plusieurs caméras, puis on a besoin d'un « GPS Trimble », un algorithme qui va traiter les données, et enfin d'un « viewer », qui lit la vidéo traitée.

Ci-après, le diagramme du groupe n°1 ayant fait l'année dernière le sujet *Contribution à l'acquisition de données trafic sur véhicules instrumentés*. On remarque également des composants pour lire la vidéo en négatif et pour donner le gradient de chaque pixel.



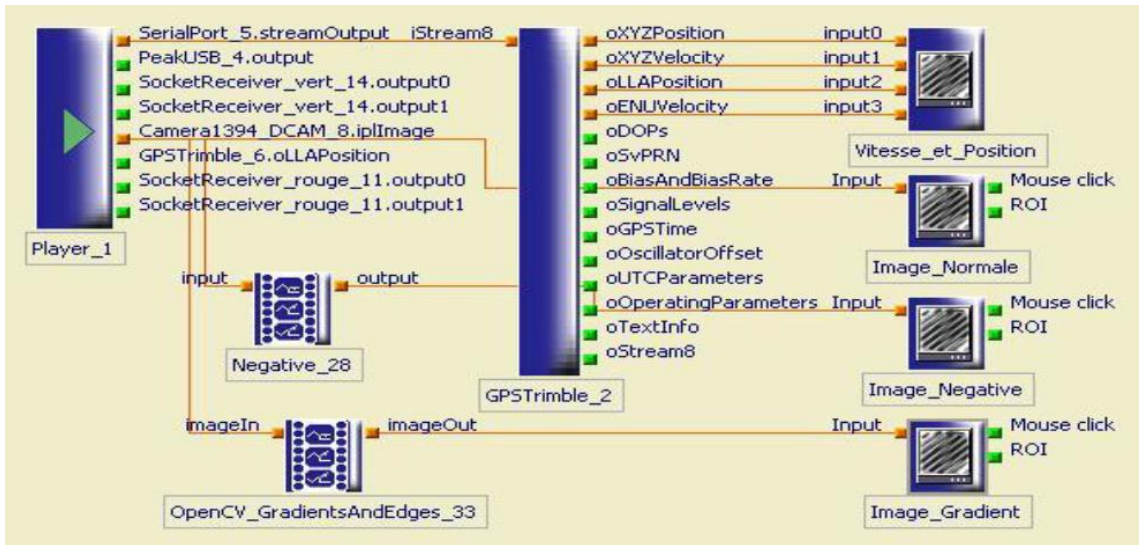


Fig 14 : Le diagramme RTMaps du groupe n°1 2011.

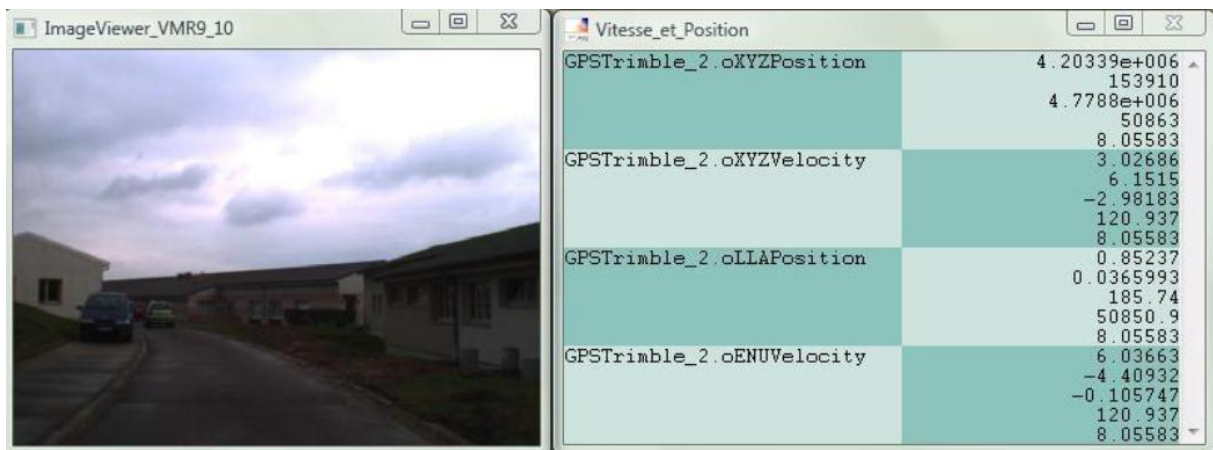


Fig 15 : Le résultat après traitement sur RTMaps des données vidéo



4. Conclusion et perspectives

Grâce à ce projet P6-3, nous avons découvert les différentes méthodes de collecte de données trafic routier, et développé une certaine culture générale de ce qui se faisait à ce jour dans le monde en matière de transports intelligents et d'étude de congestion routière.

Nous avons approfondi nos connaissances sur les technologies de collecte de données, surtout le GPS, le GPRS, les boucles magnétiques, les caméras, le radar et les smartphones. Nous avons réalisé qu'il existait de nombreuses méthodes de collecte afin d'améliorer la circulation routière, chacune adaptée au type de route, de climat, de trafic, d'infrastructures ou de coûts. Grâce à certaines séances, comme celle consacrée à la circulation en Belgique, ou au projet VIAC du VisLab, et grâce à l'étude de projets similaires à PUMAS, nous avons mieux compris le fonctionnement d'une application de collecte de données.

Par ailleurs, nous avons eu l'occasion d'étudier un exemple concret d'étude de congestion et de recherche de solution avec le projet PUMAS qui, en plus, est proche de nous, puisqu'il concerne l'agglomération de Rouen.

Finalement, d'un point de vue plus personnel, nous avons trouvé ce projet intéressant. Il nous a permis d'apprendre à gérer un projet, et à travailler en équipe avec des personnes que nous ne connaissions pas au début. Ainsi, nous avons tenté d'exploiter au mieux les compétences de chacun. En plus, nous avons pu approfondir nos connaissances sur le sujet des technologies liées à la gestion du trafic routier, et aux transports intelligents.

En ce qui concerne les perspectives d'avenir du projet, nous pensons que le principal problème des systèmes de transports intelligents qui pourrait se poser est la protection de la vie privée des usagers de la route, puisqu'il s'agit de transmettre des informations personnelles à des systèmes informatisés. Il pourrait donc être intéressant de connaître ce qui est fait dans ce domaine. D'un autre côté, pour ce projet physique en particulier, nous pensons qu'il faudrait encourager les simulations et les expérimentations, notamment sur le logiciel RTMaps et avec la participation de l'INRIA.



5. Bibliographie

- [1] **Wikipédia.** http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System (valide au 10/04/2012)
- [2] **Futura sciences.** http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/technologie-2/d/gps_1897/ (valide au 06/04/2012)
- [3] **Wikipédia.** http://fr.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service (valide au 12/04/2012)
- [4] **TopKapi Vision.** http://www.areal.fr/Supervision/CO_GPRS-Wireless-Solutions-F.htm (valide au 12/04/2012)
- [5] **Wikipédia.** http://fr.wikipedia.org/wiki/Floating_Car_Data (valide au 21/05/2012)
- [6] **Transport intelligent.** <http://www.transport-intelligent.net/technologies/capteurs-77/> (valide au 13/04/2012)
- [7] **Wikipédia.** http://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_transport_intelligent (valide au 10/04/2012)
- [8] **One motoring.** http://www.onemotoring.com.sg/publish/onemotoring/en/on_the_roads/traffic_management/intelligent_transport_systems/traffic_scan.html (valide au 27/05/2012)
- [9] **Mobile Millenium.** <http://traffic.berkeley.edu/> (valide au 28/05/2012)
- [10] **INRIX.** <http://www.inrix.com/> (valide au 27/05/2012)
- [11] **PUMAS.** <http://pumas.inria.fr/public/document> (valide au 10/04/2012)
- [12] **Wikipédia.** http://fr.wikipedia.org/wiki/Radar_Doppler (valide au 15/06/2012)
- [13] **Techno science.** <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3272> (valide au 15/06/2012)



6. Crédits d'illustration

- **Page de couverture :** 123RF. http://fr.123rf.com/photo_6027948_nuit-de-la-ville-avec-traffic-belle-echangeur-routier.html
- **Fig 1 :** GPS auto : fonctionnement du GPS. <http://www.gps-auto.org/fonctionnement-gps.html>
- **Fig 2 :** GSM GPRS EDGE 3G etc. http://www.gsm-gprs-edge-umts-hsdpa.at/gsm_gprs_edge_umts_hsdpa_modem_router/gsm_gprs_edge_umts_hsdpa_modem_router/mbus_easy_cme8.htm
- **Fig 3 :** Transport intelligent : capteurs. <http://www.transport-intelligent.net/technologies/capteurs-77/>
- **Fig 4 :** Terre d'Israël. <http://www.terredisrael.com/infos/?p=47432>
- **Fig 5 :** CPS. <http://www.cps.com.cn/detail.php?catid=1270>
- **Fig 6 :** Usine nouvelle. <http://www.usinenouvelle.com/expo/fibres-optiques-synthe-p1122.html>
- **Fig 7 :** VIAC : About Viac. <http://viac.vislab.it/>
- **Fig 8 :** VIAC : Vehicules details. http://viac.vislab.it/?page_id=159
- **Fig 9 :** VIAC : About Viac. <http://viac.vislab.it/>
- **Fig 10 :** Génération nouvelles technologies. <http://www.generation-nt.com/mobile-millennium-nokia-pilote-info-traffic-mobile-gps-actualite-186591.html>
- **Fig 11 :** INRIX. <http://www.inrix.com/directions-driverservices.asp>
- **Fig 12 :** PUMAS. <http://pumas.inria.fr/public/document>
- **Fig 13 :** PUMAS. <http://pumas.inria.fr/public/document>
- **Fig 14 :** Projet P6 2011 sujet n°1 : Contribution à l'acquisition de données trafic sur véhicules instrumentés Figure 12: aperçu de RTMaps 1 Page 19
- **Fig 15 :** Projet P6 2011 sujet n°1: Contribution à l'acquisition de données trafic sur véhicules instrumentés Figure 14: aperçu de RTMaps 3 Page 21



7. Annexes

7.1. Principe de fonctionnement de l'effet Doppler-Fizeau

L'effet Doppler a été découvert en 1842 par le physicien autrichien Christian Doppler. C'est ce phénomène qui explique la variation du son d'une voiture qui passe devant un observateur : le son monte (plus aigu donc fréquence plus élevée) quand le véhicule approche et descend (plus grave donc fréquence plus faible) lorsque le véhicule s'éloigne. Pour visualiser facilement le phénomène, prenons une personne, sur une plage par exemple, qui a les pieds dans l'eau. Des vagues arrivent sur lui à intervalle régulier. Si la personne avance pour rentrer davantage dans l'eau, elle va à l'encontre des vagues, donc ces dernières l'atteindront plus souvent, avec une fréquence plus élevée. Par contre, si la personne marche pour sortir de l'eau, les vagues l'atteindront moins souvent, avec une fréquence plus faible.

Un radar à effet Doppler fonctionne selon ce principe :

Le radar émet à intervalle régulier un signal micro-onde d'une fréquence F_i vers la cible en mouvement qui réfléchit le signal avec une fréquence F_r . Le radar mesure la différence F_d de fréquence afin de calculer la vitesse de la cible.

$$F_r = F_i \left(\frac{1+v/c'}{1-v/c'} \right)$$

Avec v : vitesse de la cible et c' : vitesse de la lumière dans l'air, qui est légèrement inférieure à celle dans le vide

La variation de fréquence est donc :

$$F_d = F_r - F_i = 2v \frac{F_i}{(c' - v)}$$

Comme $v \ll c'$, on peut simplifier :

$$F_d = 2v \frac{F_i}{c'}$$

Ce qui permet de mesurer v la vitesse de la cible.

7.2. Conférences de Pierre Bourgeois

Durant ce projet, nous avons assisté à deux conférences donnée par Monsieur Pierre Bourgeois, membre du LITIS (laboratoire d'informatique, de traitement de l'information et des systèmes). Elles avaient pour sujet le traitement de l'image.

- Cartographie sig (système d'information géographique)

Un système d'information géographique est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. Ces cartes ont été initiées au XIXe siècle à Paris lors de l'épidémie de choléra. La



première couche de la carte devait montrer quel vecteur propageait la maladie. Il s'agissait de l'eau des puits.

Le mode de représentation de l'information dans un sig est une carte en plusieurs couches :

Tout d'abord, on a une approche vectorielle avec des points et des polygones représentant les routes, les sections.

- Les points définissent des localisations ou des phénomènes géographiques petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces.
- Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrits par une surface.
- Les polygones représentent la forme et la localisation d'objets homogènes.

L'approche raster décompose la carte en une grille de pixels qui ont chacun une couleur.

• **Les filtres usuels en traitement d'images**

Il existe plusieurs conventions de représentation :

- L'image à niveaux de gris (NDG) où la valeur du pixel est un entier représentant l'intensité de gris, variant de 0 (noir) à 255 (blanc).
- L'image à couleurs alternatives (RGB) : la valeur du pixel est un triplé d'entiers représentant les intensités des 3 couleurs primaires (bleu, rouge et vert) de 0 à 255.

Le traitement d'image consiste à supprimer les principaux bruits de l'image. Par exemple, le bruit gaussien que l'on peut avoir lors des mesures et que l'on résout avec la formule :

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} \times \exp\left(-\frac{x+y}{2} \times \sigma\right)$$

ou encore le bruit poivre et sel qui rend un pixel noir ou blanc, et qui est dû à la transmission wifi.

Pour résoudre ces problèmes, on utilise différents filtres :

- Le filtre moyenneur qui permet de calculer la moyenne arithmétique des valeurs des pixels voisins de celui que l'on traite pour atténuer les changements brusques d'intensité. Il sert

notamment pour atténuer le bruit poivre et sel : $\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$

- Le filtre gaussien rend l'image moins floue : $\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

- Le filtre isobel détecte les contours : $\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

- Le filtre médian consiste à remplacer la valeur d'un pixel par la médiane des pixels voisins. Toutefois ce filtre ne marche pas si la corruption de l'image est supérieure ou égale à 50%.

- On peut aussi citer le filtre par la méthode de la variation totale.



• **Capteur véhicule intelligent**

Nous nous sommes intéressés au lidar : light detection and ranging.

Il s'agit de la méthode la plus répandue pour déterminer la distance à un objet et elle est basée sur le laser à impulsions. La différence avec le radar est que cette technologie utilise la lumière et pas sur les ondes radio.

Ici l'odométrie repose sur la mesure individuelle des déplacements des roues pour reconstituer le mouvement global du véhicule. En partant d'une position initiale connue et en intégrant les déplacements mesurés, on peut ainsi calculer à chaque instant la position courante du véhicule.

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y} = v \cdot \sin(\theta) \\ \dot{\theta} = v \cdot \tan(\varphi) / L \end{cases}$$

• **Présentation du système de stéréovision**

Introduction à la stéréovision

La stéréovision est utilisée dans de nombreux domaines : l'automobile (par exemple pour Vislab), l'industrie, la robotique (bras articulé), la cartographie, les jeux vidéos (kinect)...

Les paramètres intrinsèques de la caméra sont $\begin{bmatrix} \gamma(u) & \gamma(v)\alpha & Uo \\ 0 & \gamma(v) & Vo \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$. Soit un point M de

coordonnées x_m, y_m et z_m projeté dans un plan normalisé :

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Z_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix}$$

Quand le champ est large, on a une distorsion : les lignes sont courbées. On peut calculer un coefficient de distorsion : $\alpha_1 K_1 + \dots + \alpha_4 K_4$

La rectification de la distorsion lors du prétraitement rend l'image incurvée.

Un point 3D M a pour projection : $m = (x_m \ y_m \ z_m)$ dans le repère caméra (Cxyz)

$M = (x'_m \ y'_m \ z'_m)$ dans le repère caméra (C'x'y'z')

X'_m est lié à x_m par la relation $x'_m = x_m - B$

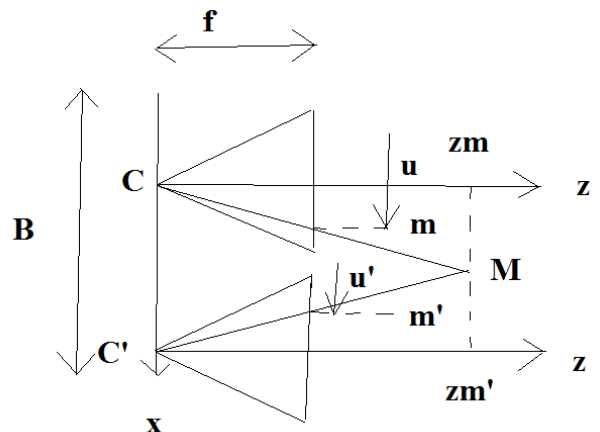
Il faut deux pré requis : les caméras doivent être synchronisées et alignées.

La profondeur est inversement proportionnelle à la disparité.

$$\begin{aligned} d &= u - u' = \alpha(u) \times (x_m - x'_m) / z_m \\ &= \alpha(u) \times B / z_m \end{aligned}$$

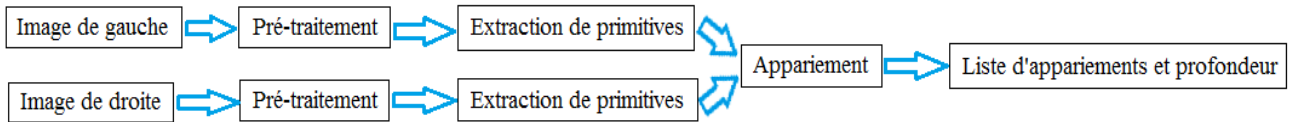
$d > 0$

Si $d=0 \Leftrightarrow z_m = \infty$



La mire de calibrage permet le calcul de l'homothétie entre les prises de vues.

On doit prendre en compte des caractères intrinsèques liés à la réalité : 3 translations et 3 rotations qu'on estime d'un capteur par rapport à un autre.



• **Présentation de la thèse**

Il s'agit de reconstruction 3D appliquée à un véhicule en mouvement avec un réseau de caméras non synchronisé.

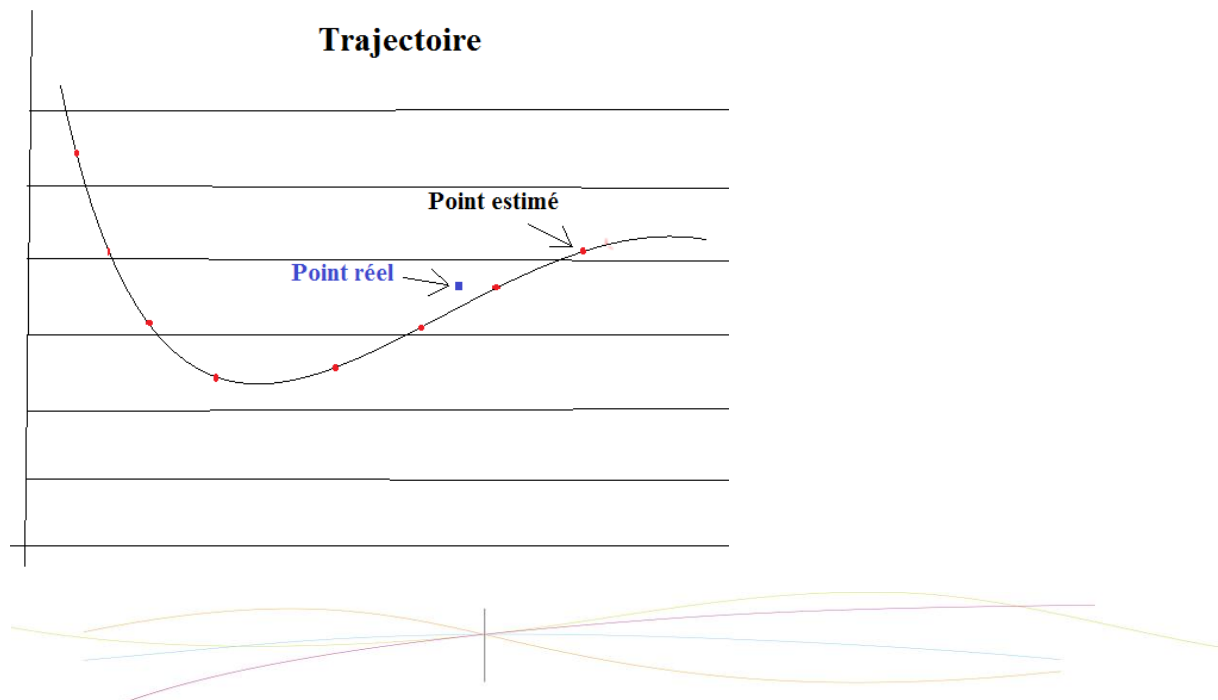
Nous souhaitons réaliser la reconstruction 3D d'un environnement dynamique autour d'un véhicule en mouvement avec un réseau de caméras synchronisées (deux images prises à deux instants différents : image virtuelle.)

Il y a deux points clefs : l'estimation du mouvement des caméras entre elles et celle de la position de l'objet.

Méthode proposée :

- Tracking des points clefs
- Estimation des points stéréo correspondants
- Reconstruction 3D éparses des points 3D
- Ajustement des faisceaux locaux
- Estimation du déplacement inter caméra
- Reconstruction 3D dense de l'environnement

Ainsi on obtient la modélisation suivante :



- **Conclusion**

Les intérêts d'un tel système sont multiples : il permet de la souplesse pour l'ajout ou la suppression d'un capteur de façon simple, et il est parfaitement adapté pour des systèmes coopératifs et de surveillance.

7.2. Conférence PIC sur PUMAS

Le projet PUMAS est sponsorisé par des laboratoires et des industriels, comme Induct, Intempora, l'INRIA ou INSA de Rouen.

La raison de la mise en œuvre d'un projet comme PUMAS est le problème de circulation congestionnée dans les grandes agglomérations.

Processus de fonctionnement :

Données GPS => traitement => temps de parcours

Données Coyote (boitiers) => prétraitement => algorithme BP (believe propagation) et algorithme trafic => données sur le trafic.

Le problème est que les données gps coyote sont peu fiables car les rues sont proches. Une des méthodes utilisées par PUMAS est le géo référencement des données (mapmatching) : on vérifie que le temps d'effectuer le parcours modélisé est réalisable, c'est-à-dire égal ou plus long que le temps de parcours du chemin le plus court entre les deux points.

Voici quelques propositions afin d'améliorer le projet :

- Amélioration de la gestion temporelle du mode rejeu
- Intégration de l'indice de qualité des données Coyote en temps réel
- Matching intelligent
- Détermination de la vitesse d'usage d'une section

