

---

# Rapport Technique de clôture

---

Projet PUMAS

---

Fin du projet : 31 octobre 2012

---



**dgcis**

direction générale de la compétitivité  
de l'industrie et des services

# Table des matières

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	4
<b>1.1</b>	<b>OBJET DU DOCUMENT</b>	4
<b>1.2</b>	<b>LE PROJET PUMAS</b>	4
<b>1.2</b>	<b>APPORTS DE LA SOLUTION PUMAS</b>	4
1.2.1	LA SOLUTION CLASSIQUE DU RECUEIL DE DONNEES AU SOL POUR L'ESTIMATION DES TEMPS DE PARCOURS	4
1.2.2	LA SOLUTION INNOVANTE PROPOSEE PAR PUMAS	5
<b>1.3</b>	<b>EVOLUTION DU CONSORTIUM</b>	9
<b>1.4</b>	<b>LES RELATIONS AVEC LA CREA</b>	9
<b>1.5</b>	<b>RECRUTEMENT DE LA FLOTTE DE VEHICULES</b>	9
<b>2.</b>	<b>BILAN DU PROJET</b>	11
<b>2.1</b>	<b>MANAGEMENT DU PROJET</b>	11
2.1.1	LES OUTILS DE GESTION DE PROJET	11
2.1.2	COMMUNICATION	11
2.1.3	RESSOURCES HUMAINES ET CREATIONS D'EMPLOIS	13
<b>2.2</b>	<b>ALGORITHMES ET METHODES</b>	15
2.2.1	PRETRAITEMENT DES DONNEES	16
2.2.2	ALGORITHME DE PROPAGATION DES CROYANCES	22
2.2.3	ALGORITHME TRAFIC	24
<b>2.3</b>	<b>LE PUMAS SERVEUR</b>	30
<b>2.4</b>	<b>LA PUMAS Box</b>	30
2.4.1	MATERIEL PUMAS Box	30
2.4.2	LOGICIEL PUMAS Box	33
2.4.3	SERVEUR D'INSTALLATION ET DE MISE A JOUR	35
2.4.4	BILAN	36
<b>2.5</b>	<b>CARTOGRAPHIE ET MAP MATCHING</b>	37
2.5.1	TRAITEMENT CARTOGRAPHIQUE	37
2.5.2	GESTION D'ERREUR	38
2.5.3	RESULTAT DE VALIDATION	38
<b>2.6</b>	<b>TESTS ET EXPERIMENTATIONS</b>	40
2.6.1	EXPERIMENTATIONS SUR 3 VEHICULES INSTRUMENTES	40
2.6.2	EXPERIMENTATION DES BOITIERS PUMAS « PRE SERIE »	43
2.6.3	EXPERIMENTATION AVEC UNE FLOTTE DE VEHICULE	46
<b>2.7</b>	<b>EVALUATION ET ANALYSE DE DONNEES</b>	47
2.7.1	CALCUL DES ERREURS D'ESTIMATIONS	47
2.7.2	CONCEPTION DU SOUS-SYSTEME ÉVALUATION ET ANALYSE	47
2.7.3	CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES LOCALE	48
2.7.4	ENVIRONNEMENT DU DEVELOPPEMENT	50
2.7.5	LES FONCTIONS DU SOUS-SYSTEME ÉVALUATION ET ANALYSE	50
2.7.6	RESULTAT DE VALIDATION	54
<b>3.</b>	<b>BILANS FINANCIERS</b>	55
<b>3.1</b>	<b>ARMINES</b>	55

<b>3.2</b>	<b>EGIS FRANCE</b>	56
<b>3.3</b>	<b>IRSEEM – ESIGELEC</b>	57
<b>3.4</b>	<b>INDUCT</b>	58
<b>3.5</b>	<b>INRIA</b>	59
<b>3.6</b>	<b>INSA</b>	60
<b>3.7</b>	<b>INTEMPORA</b>	61
<b>3.8</b>	<b>BILAN GLOBAL</b>	62
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION</b>	64
<b>4.1</b>	<b>LES POINTS POSITIFS</b>	64
4.1.1	LES RELATIONS AVEC LA CREA	64
4.1.2	LES EXPERIMENTATIONS	64
4.1.3	PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES	64
<b>5.</b>	<b>SYNTHESE DES LIVRABLES</b>	65

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Objet du document

L'objet de ce document est de présenter les résultats finaux du projet PUMAS en date du **31 Octobre 2012**. Nous proposons donc ce troisième et dernier rapport permettant de présenter les derniers résultats techniques PUMAS ainsi qu'un bilan financier complet en date du 31 Octobre 2012.

## 1.2 Le Projet PUMAS

Le projet PUMAS, Plateforme Urbaine de Mobilité Avancée et Soutenable, co-labélisé par les pôles de compétitivité MOV'EO et Advancity a pour objectif de :

- ➔ 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.

Le projet valorise un brevet fondé sur la dématérialisation des capteurs de trafic, le recueil des données et leur traitement dans un logiciel de reconstruction de trafic, brevet déposé par ARMINES (Claude Lurgeau, Arnaud de la Fortelle, Bruno Steux) suite aux expériences acquises dans deux STREP européens REACT et COM2REACT.

## 1.2 Apports de la solution PUMAS

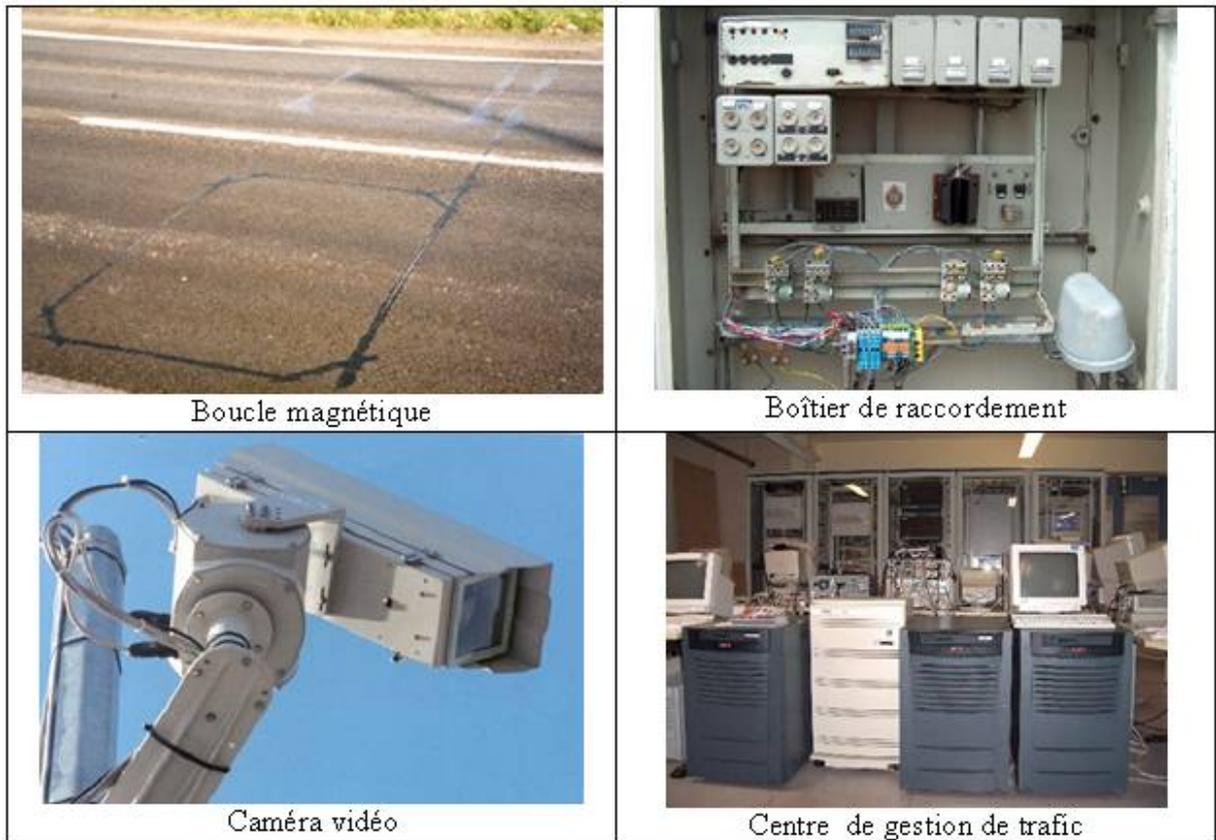
### 1.2.1 La solution classique du recueil de données au sol pour l'estimation des temps de parcours

La mesure du trafic routier s'effectue essentiellement par comptage des véhicules qui circulent sur une voie de chaussée. La principale technologie est la boucle magnétique qui est enfouie sous la chaussée et qui détecte le passage des véhicules. Les informations sont collectées localement dans un boîtier et acheminées vers un centre de gestion du trafic où elles sont agrégées. Les modèles d'exploitation s'appuient sur la mémorisation du passé de l'information.

Les technologies de calcul de temps de parcours à base de boucles magnétiques sont fiables mais elles correspondent à une technologie vieille de plus de cinquante ans et demeurent assez onéreuses car elles nécessitent des travaux de génie civil et d'entretien. Ainsi, elles ne sont présentes que dans les pays économiquement avancés et encore dans les seules grandes métropoles.

Signalons qu'une technologie alternative est la mesure du débit par caméra vidéo. La méthodologie d'exploitation reste la même car elle est basée sur des débits et les caméras sont positionnées sur l'infrastructure de manière définitive.

A l'exception du capteur, ces deux approches sont similaires car elles s'appuient sur l'infrastructure et non sur les véhicules. Lorsque le positionnement des boucles ou des caméras est fait, il est définitif et les mesures ne se feront que là où l'infrastructure est équipée.



Une technologie plus récente a été proposée à partir des travaux de l'Université de Berkeley et a donné naissance à une start-up, SENSYS Networks (<http://www.sensysnetworks.com/>), qui a industrialisé et commercialisé déjà la solution. Cette approche originale utilise des capteurs magnétiques enfouis dans la chaussée, les technologies RFID (Radio Fréquence Identification) et les réseaux de capteurs sans fil. Toutefois, si elle allège les travaux de génie civil et donc les coûts d'installation, elle reste liée à l'infrastructure et manque de flexibilité par rapport à la solution que nous proposons dans le projet PUMAS.

## 1.2.2 La solution innovante proposée par PUMAS

L'innovation proposée dans PUMAS se décompose en quatre parties :

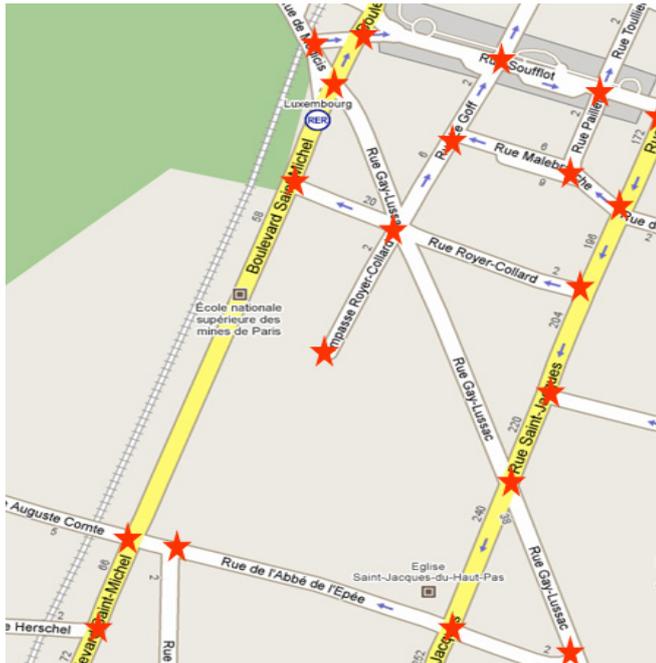
- ➔ Le point de référence : le PUMAS Point
- ➔ Le collecteur de temps de trajet : la PUMAS Box
- ➔ Les boîtes aux lettres virtuelles : le PUMAS Spot
- ➔ La modélisation de réseau urbain maillé par une approche temps de trajet : le PUMAS Serveur.

### 1.2.2.1 Le PUMAS Point

Le PUMAS Point est un point de coordonnées GPS sur une carte numérique. Les PUMAS Points peuvent donc être multipliés ou déplacés sans coût à l'infini, offrant ainsi une flexibilité totale pour mailler une agglomération ou un territoire en zone rurale. Ils seront placés a priori sur les routes au niveau de toutes les intersections. On construit ainsi une carte numérique en forme de graphe dont les boucles magnétiques virtuelles sont les sommets et les routes sont les arrêtes. Les arrêtes peuvent être parcourues dans les deux sens ou dans un seul sens dans le cas des sens interdits.

Les PUMAS Points sont des triplets (latitude, longitude, altitude) dans une carte numérique vectorielle. Elles constituent donc une représentation numérique allégée de la cartographie numérique classique ayant une faible empreinte mémoire. Par exemple la ville de Paris comptait 6088 rues en

1997, en comptant en moyenne trois intersections par rue et 6 octets par PUMAS Point cela ne fait que 110 Kilo octets pour 18264 boucles magnétiques virtuelles.



Maillage PUMAS – Points en zone urbaine à Paris



Maillage PUMAS – Points en zone rurales en Bretagne

### 1.2.2.2 La PUMAS Box

Le **collecteur de temps de trajet** correspond à un boîtier embarqué (PDA, ou ultérieurement à un équipement de série dans le véhicule...) assurant au minimum les fonctions **de localisation** et de **communication**. On les appelle le plus souvent OBU (On Board Unit) ou PUMAS box dans le cadre du projet.

La PUMAS box contient en mémoire les attributs de position des boucles magnétiques virtuelles. Le processeur de la PUMAS Box scrute les coordonnées GPS du véhicule quand celui-ci se déplace, réalise l'opération de mise en correspondance (« map matching ») et crée un tableau des temps de trajet  $TT(i,j)$  entre les boucles magnétiques virtuelles.

BMV(i)	1	2	3	.....	n-1	n
TT(i-1,i)		TT(1,2)	TT(2,3)			TT(n-1,n)
V(i)	V1	V2	V3		Nn-1	Vn

Ce tableau représente la connaissance de l'état du trafic sur le trajet emprunté par le véhicule au jour et à l'heure où celui-ci circule, dans la zone urbaine ou rurale considérée. On pourra aussi transmettre des données supplémentaires provenant de la géolocalisation continue du véhicule (par exemple, des vitesses, des positions à vitesse faible dénotant l'entrée dans une congestion, ...). Nous appelons cette information un **PUMAS message**. Chaque PUMAS message a un en-tête et un numéro.

### 1.2.2.3 Le PUMAS Spot

Les **boîtes aux lettres** ou **PUMAS Spots** sont des emplacements réels ou virtuels où les messages trafic sont collectés puis acheminés vers un serveur de gestion de trafic : le PUMAS Server.

Il sera déployé dans l'Agglomération un certain nombre de PUMAS Box sur des points fixes. Ces bornes fixes formeront un réseau mesh (réseau maillé). Ce réseau mesh comptera donc des points fixes et des points mobiles. Il sera relié en plusieurs points à des accès à des réseaux haut débit (de type ADSL simplement).

Bien que les PUMAS Box puissent communiquer avec les PUMAS Spot, les cartes embarquées contiendront la localisation des PUMAS Spots afin de préparer les PUMAS Box à déposer les messages de temps de parcours dans ces boîtes aux lettres. Les PUMAS Spots collectent ainsi les messages trafic de tous les véhicules qui passent dans leur voisinage immédiat. A intervalles de temps déterminés, chaque PUMAS Spot établit une liaison monodirectionnelle avec le PUMAS Server (centre de gestion du trafic) auquel il transmet les messages trafic qui seront agrégés dans les algorithmes de reconstruction et de prévision de trafic.

Une évolution ultérieure possible sera d'établir un lien descendant du PUMAS Server vers les PUMAS Spots permettant de diffuser directement des temps de parcours aux véhicules. Cette version du système n'est pas visée dans le présent projet (cf. § 2.5 Evolutions futures de PUMAS).

- ➔ NB1 : Pour pallier l'existence de zones où le maillage en PUMAS Spots ne serait pas suffisant (zones blanches), on examinera la possibilité d'une remontée directe des PUMAS Messages du véhicule vers le PUMAS Server via une liaison longue distance type SMS, GPRS ou 3G à partir d'une certaine durée d'absence d'émission de données par la PUMAS Box.
- ➔ NB2 : Une évolution du système pourra consister à permettre le partage des PUMAS Messages directement entre véhicules de façon à accélérer la transmission des informations des véhicules retardés dans leur approche de PUMAS Spots (mécanisme dit de « pollinisation », où certains véhicules jouent le rôle de « facteurs ») Cette évolution, qui sera possible, n'est pas visée dans le projet.



## 1.3 Evolution du consortium

Le consortium PUMAS, initialement composé de 8 partenaires a été restreint à 7 partenaires en raison du **départ de la société SODIT, en charge du PUMAS Serveur**. En effet, cette dernière a informé les partenaires du projet de son dépôt de bilan avec cessation d'activité le 28 Mars 2011.

Suite au **Comité de Suivi du 19 Mai 2011**, les partenaires ont convergé, en accord avec les organismes financeurs, sur la solution de remplacement suivante :

- ➔ La société Neavia Technologies intègre le consortium sur la base du financement accordé à la société SODIT par la Région Ile de France et reprend ainsi une partie des travaux.
- ➔ L'Inria accepte de reprendre la seconde partie des travaux de la société SODIT mais dans le cadre d'un contrat de sous-traitance avec la société Neavia Technologies sur la base du financement accordé par la DGCIS à la société SODIT.

Cependant, la société Neavia n'a pas été en mesure de démarrer ses travaux en raison d'un manque de retour officiel de la part d'un des organismes financeurs, malgré de nombreuses relances. Cette solution a donc été écartée par le comité de pilotage en septembre 2012.

## 1.4 Les relations avec la CREA

Peu développées au début du projet, les relations avec la CREA (Communauté de l'Agglomération Rouen Elbeuf Austreberthe) se sont nettement améliorées au cours de la seconde année du projet PUMAS avant de diminuer à nouveau lors de la dernière année. En effet, choisi comme site pilote lors du montage du projet, le territoire rouennais ne fait pas parti du consortium PUMAS et suite à de nombreuses réorganisations au sein de leur structure nous avons d'importantes difficultés pour interagir avec eux.

Ce problème a été solutionné au cours du printemps 2011. Un courrier officiel de demande de soutien leur a été envoyé, par Egis, le 22 Mai 2011. Un courrier de réponse positive nous a alors été retourné le 12 Juillet 2011, entérinant ainsi la décision de collaboration entre la CREA et le consortium PUMAS.

Des échanges réguliers ont donc eu lieu et deux documents ont été créés suite aux demandes de la CREA :

- ➔ Une fiche « grand public » de présentation du projet réalisée par Induct.
- ➔ Une « charte utilisateurs » initialisée par Egis.

Par ailleurs, un courrier de soutien de leur part visant à sensibiliser la Chambre de Commerce et d'Industrie de Rouen nous a été adressé afin d'aider Induct dans sa démarche de recrutement de la flotte de véhicules.

## 1.5 Recrutement de la flotte de véhicules

Induct est le partenaire en charge du recrutement de la flotte des véhicules traceurs ainsi que de l'implantation des boîtiers PUMAS (PUMAS box) dans chacun des véhicules.

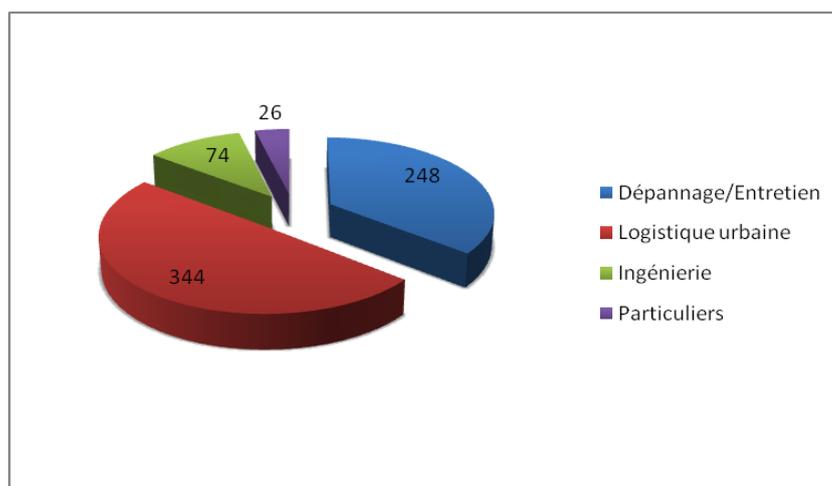
Induct a donc analysé la segmentation de ses clients équipés de systèmes de géolocalisation pour concentrer ses efforts sur des sociétés dont les véhicules sont la majorité du temps opérationnels en environnement urbain.

Par exemple l'analyse des bases de données de géolocalisation, (par filtrage géographique) met en évidence une flotte de 15 véhicules d'entretiens étanchéité, couverture qui réalise dans Rouen, 27.731 kilomètres sur un mois soit plus de 80 km par jour et par véhicule.

Le recrutement de véhicules a donc ciblé les sociétés d'intervention et d'entretiens-maintenance. Induct aussi demandé aux sociétés qui l'acceptaient de mettre à la disposition du projet des véhicules particuliers qui pourraient compléter le panel et les plages horaires (5 % des véhicules mis à disposition du projet).

L'accord de chaque entreprise a été obtenu après en moyenne 3 rendez-vous individuels de présentation du projet, et dans 30 % des cas l'accord définitif a été soumis à une maison mère ou aux comités d'entreprises, rendant le processus de signature des conventions extrêmement long.

Au total 618 véhicules ont été recrutés au 30 septembre 2012 dans 31 sociétés (soit une moyenne de 19 véhicules par flotte), dont 334 véhicules répartis sur 12 sociétés attendent la signature définitive des conventions (prévue au mois d'octobre 2012).



Initialement, le recrutement de la flotte de véhicules était prévu en 2 temps :

- ➔ Une première session pour le recrutement des 100 premiers véhicules avant fin Février 2012.
- ➔ Une seconde session pour le recrutement des 900 véhicules suivants avant fin Aout 2012.

Ces phases de recrutement, déterminantes pour les campagnes de tests, devaient permettre d'affiner l'exactitude des résultats obtenues sur les calculs de temps de parcours. **Malheureusement, aucune de ces deux phases n'a pût être réalisée dans les délais prévus par le comité de pilotage, mettant ainsi en péril les expérimentations PUMAS et l'évaluation des algorithmes.**

## 2. Bilan du projet

### 2.1 Management du projet

La tâche de Management du Projet englobe toutes les activités de gestion et de suivi du projet. Dans ce contexte, Egis intervient en tant que **Pilote** du projet, appuyé dans ses tâches par l'INRIA en qualité de **Program Management Officer**. Depuis le 1<sup>er</sup> Mai 2011, l'équipe de pilotage du projet PUMAS est composée principalement de **David CHOUVIN** (Egis) et **d'Anne-Charlotte NICOUD** (Inria).

#### 2.1.1 Les outils de gestion de projet

Les outils de gestion de projet utilisés dans le cadre du projet PUMAS sont principalement :

- ➔ Les fichiers de reporting : mis à jour mensuellement par les partenaires et regroupant une synthèse de l'avancement global, le suivi des risques et des travaux en cours.
- ➔ Les listes de diffusion (fui-pumas@inria.fr et fui-pumas-cp@inria.fr) et le site collaboratif de type wiki associé à un serveur SVN permettant l'échange d'information et de documentation entre les partenaires. Ces services pourront être maintenus pas l'Inria afin de faciliter les échanges d'information entre les partenaires même après la clôture du projet.
- ➔ Les fichiers de suivi des risques et des actions
- ➔ Un planning détaillé

Les outils de partage ont été utilisés quotidiennement par l'ensemble des partenaires du projet et les fichiers de suivi étaient parcourus et mis à jours à l'occasion de chaque Comité Technique (COTEC), planifié tous les mois.

#### 2.1.2 Communication

##### 2.1.2.1 Outils de communication externe

Afin de faciliter la communication autour du projet PUMAS, mais également aider au recrutement de la flotte de véhicules, un poster de présentation générale et un site web public ont été réalisés par l'Inria : **www.projet-pumas.fr**

Deux films promotionnels ont également été réalisés

- ➔ Par l'Université de Rouen à l'occasion des premiers essais sur véhicules, fin septembre 2011. Ce film est disponible sur la plateforme multimédia de l'université : <http://www.univ-rouen.fr/audio/2010/index.php?vid=225>.
- ➔ Par Intempora sur l'utilisation de RTMaps pendant les acquisitions (expérimentations) de septembre 2011.

Enfin, la « fiche grand publique » réalisée par Induct, sur demande de la CREA, a tenu le rôle de flyer pour l'ensemble des événements auxquels nous avons participé.

##### 2.1.2.2 Communications et publications scientifiques

Des actions de communication ont d'abord été lancées à Rouen par l'INSA à l'occasion de la **Fête de la Science** (22 Octobre 2010) et du **Forum Big Talent** (17 et 18 Novembre 2010). Ces actions ont pour objectif de promouvoir le projet tant au près du grand public qu'au près des pouvoirs publics et collectivités territoriales locales.

Par ailleurs, la présence de nombreux partenaires sur les salons, colloques, etc...a permis d'une part de promouvoir le projet au près des pôles de compétitivités, des instituts de recherches ainsi que des industriels potentiellement intéressés et d'autre part d'alimenter les activités de veille susceptibles de concerner les membres du consortium PUMAS. Le projet PUMAS a donc notamment été présenté à l'occasion des événements suivants :

- ➔ **Journée « véhicules traceurs » (LCPC/INRETS)** le 10 décembre 2010 à Toulouse, sous le titre « **Inférence espace-temps de données issues de véhicules traceurs** » par Jean-Marc Lasgouttes (Inria).
- ➔ **Carrefour de la Recherche**, organisé dans le cadre d'Advanticy, les 20 et 21 janvier 2011 à Noisy le Grand.
- ➔ **Congrès ATEC ITS France, les 2 et 3 février 2011 à Versailles**, sous le titre : « **Plateforme Urbaine de Mobilité Avancée et Soutenable : PUMAS** », par Jean-Marc MORIN (Egis) et Jean-Marc LASGOUTTES (Inria).
- ➔ **Congrès ITS Europe de Lyon**, le 7 juin 2011, sous le titre : « **PUMAS : road traffic estimation and prediction using probe vehicles in a city context** », par Jean-Marc MORIN (Egis) et Jean-Marc LASGOUTTES (Inria).
- ➔ **Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)**, Washington DC, USA du 5 au 7 Octobre 2011, sous le titre : « **Travel time estimation based on Monte Carlo method using a new kind of historical probe data and delay time** », par Amnir HADACHI (INSA Rouen).
- ➔ **Fête de la science**, Rouen, du 13 au 15 Octobre 2011 : le projet a été présenté par les intervenants de l'INSA de Rouen et Anne-Charlotte NICOU par l'intermédiaire du stand du LITIS permettant ainsi une communication locale et grand public. **Un reportage a été effectué à cette occasion par France 3 Haute Normandie** (« *Vue d'ici* », Emission du 12 Octobre 2011).
- ➔ **Rencontres « Recherche-Industrie : technologies numériques et robotique »**, le 17 Janvier 2012 au Ministère de la Recherche (présentation via le stand Inria et exposition d'un véhicule de la JRU LaRA équipé d'une PUMAS Box).



*Claude Laurgeau et un véhicule de la JRU LaRA au Ministère de la Recherche*

- ➔ **ATEXPO 2012, ITS France**, les 1<sup>er</sup> et 2 Février 2012 à Versailles (présentation via le stand Egis et exposition d'un véhicule de la JRU LaRA équipé d'une PUMAS Box).
- ➔ **2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium** June 3-7, 2012, Alcalá de Henares, Spain sous le titre : « **Practical Testing Application of Travel Time Estimation Using Applied Monte Carlo Method and Adaptive Estimation from Probes** », par Amnir HADACHI (INSA Rouen).

- ➔ **Colloque GISMU à Lille les 13 et 14 Juin 2012**, sous le titre « PUMAS, Plateforme innovante d'information sur la circulation et les temps de parcours » présenté par Cédric PEROT (Egis) et Jean-Marc MORIN (Egis)
- ➔ **Mobility and Alternative Transport Fuels Conference**, le 22 Juin 2012 à Dublin (Irlande), présentation par l'ESIGELEC d'un poster PUMAS.
- ➔ **The 6th International Symposium on signal, Image, Video and Communications**, à Valenciennes les 4 et 6 Juillet 2012 sous le titre : « Travel time estimation using cooperative probe vehicles », par Amnir HADACHI (INSA Rouen).
- ➔ **2<sup>nd</sup> Forum des Acteurs des ITS Coopératifs**, le 25 Septembre 2012 à Versailles Satory. Présentation du projet séance plénière par Martial Chevreuil (Egis).
- ➔ **ATEXPO 2013, ITS France, les 30 et 31 Janvier 2013 à Paris**, sous le titre : « PUMAS : Prédiction des temps de parcours en agglomération par fusion de données » par Cédric PEROT (Egis) et Jean-Marc MORIN (Egis)



*Une PUMAS Box intégrée dans un véhicule de la JRU LaRA*

Enfin, PUMAS a également été mentionné dans le livre « le siècle de la voiture intelligente » de Claude Lurgeau ainsi qu'au sein des projets européens ITSSv6 et Mobility 2.0.

### 2.1.3 Ressources humaines et créations d'emplois

L'équipe projet PUMAS était constituée d'environ 20 personnes à temps partiel afin de mener à bien le projet. Plusieurs emplois ou activités ont ainsi pu être créés :

- ➔ Embauche en CDD à l'Inria d'Anne-Charlotte NICOUD pour le management du projet et d'Arnaud LEWDEN pour la réalisation technique (spécifications et développements).
- ➔ Embauche en CDD à l'ESIGELEC de Lu WANG (spécifications et développements).
- ➔ Embauche d'Aboubakry Ndiaye (en 2010) et de Jean-Marie Bionda-Camana (en 2011) chez Induct pour les besoins du projet, dont notamment le recrutement de la flotte de véhicules.

→ Embauche de deux stagiaire Egis en 2011 :

- Grégory COUTANT, membre du 2nd PIC ASI de l'INSA a réalisé son stage de fin de 4ème année au sein d'EGIS pour intégrer les développements du PIC afin de créer le sous-système « Prétraitements » et pour développer la structure du sous-système « Algo. Trafic ».
- Guillaume BETIN a réalisé son stage de fin d'étude de l'IUT de VANNES – STID (STatistique et Informatique Décisionnelle) pour réaliser une 1ère étude d'intégration des Coyotes (statistiques descriptives, matching sur le référentiel cartographique OSM).

De plus, le projet PUMAS a permis, pour la JRU LaRA (équipe IMARA de l'Inria et le Centre de Robotique de l'Ecole des Mines de Paris) de développer l'activité en reconstruction de trafic et ainsi de soutenir l'activité d'une équipe de 7 personnes dont 5 chercheurs permanents.

Par ailleurs, afin de compléter de leur formation, des groupes d'étudiants de 4ème et 5ème année de l'INSA doivent travailler sur un projet R&D sous l'encadrement d'un professeur de l'INSA et un cadre de l'industrie (Projet PIC). Dans ce cadre, une quarantaine d'étudiants de l'INSA de Rouen ont participé aux travaux du projet PUMAS, pendant toute la durée du projet, sous la responsabilité d'un enseignant de l'INSA et d'un représentant d'Egis. L'objectif de ce projet PIC est de contribuer au développement ainsi qu'à la validation du processus de prétraitement du système final PUMAS, ce travail d'ingénierie vient en soutien aux travaux de thèse d'Amnir Hadachi. Ce doctorat, financé dans le cadre du projet PUMAS a permis de développer plusieurs systèmes de pré-traitement originaux qui ont l'objet de plusieurs communications dans des congrès internationaux de rang A sur les ITS.

Cette équipe dynamique et motivée a ainsi développé des briques logicielles importantes pour le projet ayant permis d'obtenir les résultats décrits dans les sections suivantes.

## 2.2 Algorithmes et méthodes

Les algorithmes décrits ici forment le « cœur » de Pumas. Il s'agit, à partir des données recueillies en temps réel, de fournir une image de l'état global du réseau en termes de charge et de temps de parcours des sections, ainsi que des prédictions pour un horizon proche.

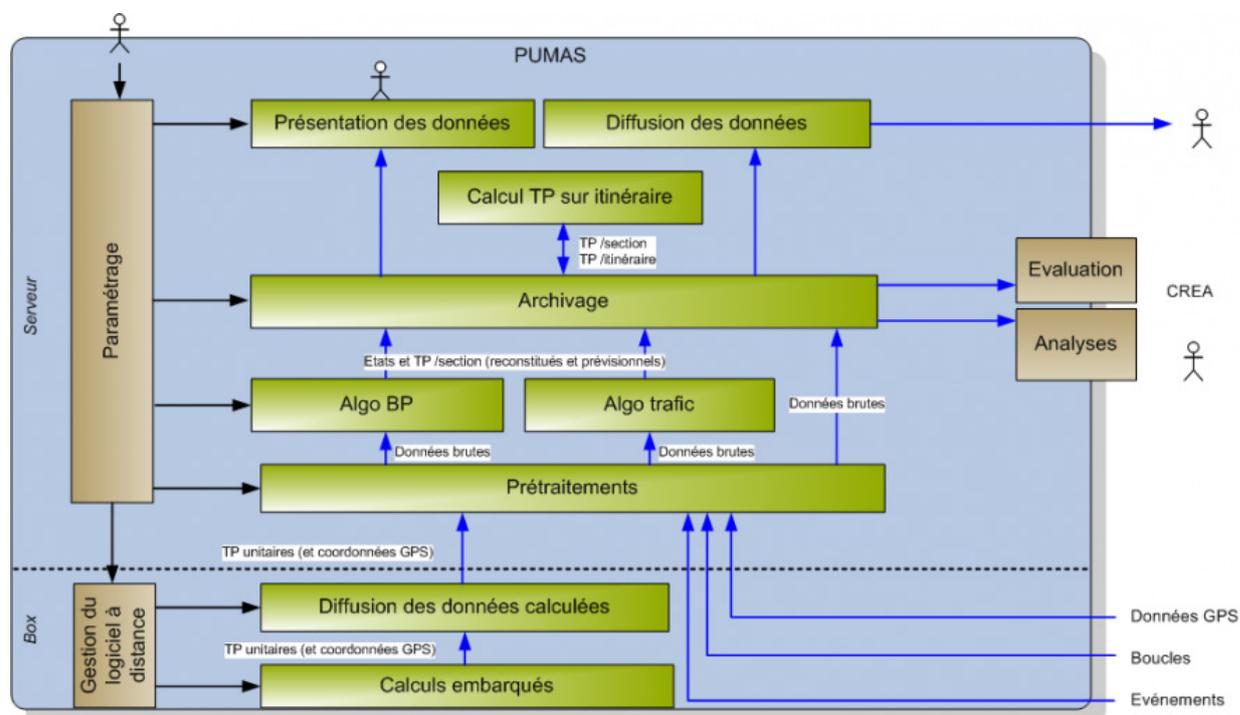
L'algorithme dit de « propagation des croyances », proposé par l'Inria, procède d'une approche purement statistique. Il est *a priori* adapté à la prévision sur des situations connaissant une certaine récurrence.

Egis a pour sa part développé un autre algorithme, dit « Trafic », qui utilise des techniques de modélisation du trafic en termes de flux. L'algorithme Trafic intègre une nouvelle approche par fusion des données de comptages et d'événements, traditionnellement utilisées, avec les données issues des véhicules traceurs : VTS (Véhicules Traceurs Spécialisés), comme les véhicules PUMAS, et VTB (Véhicules Traceurs Banalisés), comme les véhicules Coyote. Cette approche utilisant la « physique du phénomène trafic » est *a priori* mieux adaptée à des situations d'incidents.

Une fusion « en sortie » de ces algorithmes devrait permettre de choisir à tout moment celui qui est le mieux adapté à la situation courante.

L'exécution de ces algorithmes passe par une première étape qui consiste à générer les données d'entrée sous la forme d'un fichier qui soit lisible par chacun des deux algorithmes : c'est le module de prétraitement des données.

Le diagramme ci-dessous précise l'architecture générale du système PUMAS et présente la place qu'y occupe le noyau algorithmique du serveur.



Dans ce qui suit, nous présentons successivement :

- ➔ Le module de Prétraitement
- ➔ L'algorithme de Propagation des croyances
- ➔ L'algorithme Trafic

Le module de prétraitement reçoit en entrée :

- ➔ Les données issues des boîtiers PUMAS. Ces données sont élaborées par les algorithmes présents dans le boîtier : géo-référencement à partir des données de position GPS toutes les secondes et de la cartographie OSM du réseau embarquée et temps de parcours des sections PUMAS, principalement. Au passage de chaque Pumas Point, chaque boîtier envoie le temps de parcours mesuré de la section qu'il quitte. Les autres éléments comprennent des temps de parcours intermédiaires interzones et intra-zones (dans les sections munies de PUMAS Zones), la position des extrémités de bouchons dans la section et la vitesse instantanée au moment de l'émission du message (cf. Chapitre 2.4 infra).
- ➔ Les données issues des boîtiers Coyote. Ces données sont la position GPS (latitude, longitude, altitude), le cap et la vitesse instantanée, sur une base de la minute (réception toutes les 5 minutes, pour un boîtier donné, des 5 dernières positions minute).
- ➔ Les données issues des stations de comptage : débit, vitesse et taux d'occupation toutes les 3 minutes.
- ➔ Les données d'événements saisies par les opérateurs du PC de Régulation de Trafic de la Ville de Rouen : localisation, instant d'occurrence, type

Concernant les données des boîtiers PUMAS, les données trafic et les données événementielles, s'agissant de données déjà élaborées, le module de prétraitement se contente de les acquérir et de les mettre à disposition dans le fichier produit en sortie pour les algorithmes (hormis les contrôles de cohérence qu'il exerce sur les données trafic).

Nous présentons dans ce qui suit le contenu principal du module de prétraitement, qui concerne le traitement des données Coyote pour en extraire les temps de parcours sur les sections PUMAS. Ce travail a été encadré par Egis et réalisé par les diverses équipes d'étudiants du PIC ASI de l'INSA (PIC : Projet Insa Certifié ; ASI : Architecture et Systèmes Informatiques) qui se sont succédés le long du projet.

### 2.2.1.1 Le géo-référencement des Coyote

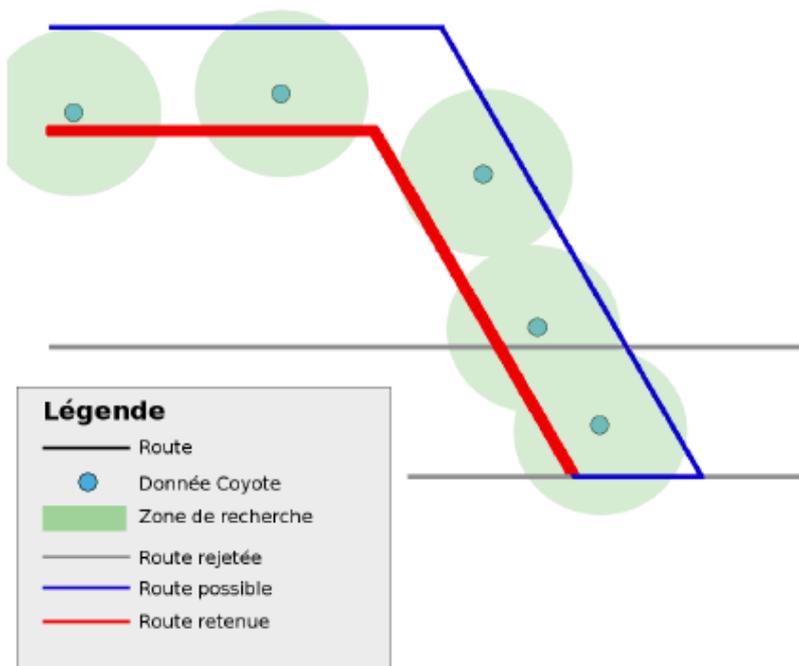
Plusieurs étapes ont été suivies dans la recherche d'un calcul optimal de la position des boîtiers Coyote sur le réseau OpenStreetMap (OSM) de l'agglomération de Rouen. A chaque étape on a évalué la performance de la méthode au regard de la proportion de positions rejetées en distinguant autant que possible ce qui était imputable à l'imprécision de la données GPS, à l'imprécision de la carte OSM et à l'imprécision de la méthode elle-même. Il faut noter que la méthode utilisée est assez différente de celle présente dans les boîtiers PUMAS, car cette dernière est basée sur des remontées de positions GPS toutes les secondes, et non toutes les minutes.

Un premier « matching » a consisté en une simple projection orthogonale de la position GPS sur la section la plus proche parmi les sections interceptées par un cercle de rayon 30 m centré sur cette position (sections « candidates »), en tenant compte de la valeur du cap de manière à filtrer les sections dont l'orientation était trop différente et à résoudre les incertitudes de chaussée dans les sections à double sens. On obtenait, ce faisant, un fort taux de rejet et de nombreuses incohérences.

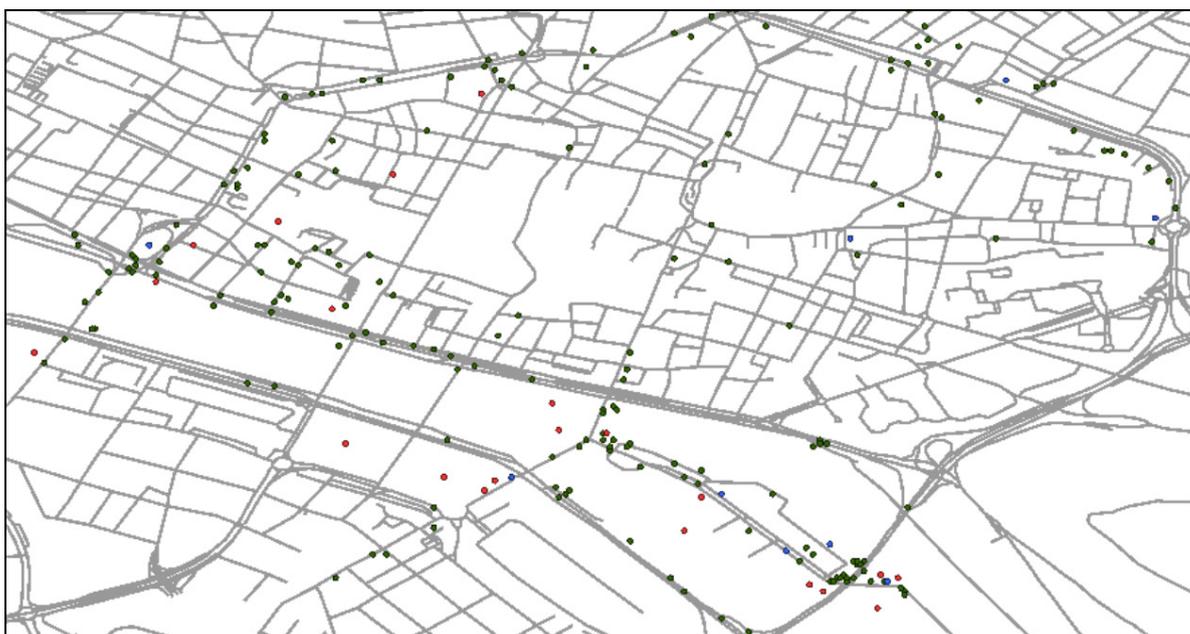
Une deuxième amélioration, pour filtrer les sections candidates, a consisté à utiliser la vraisemblance des positions consécutives du boîtier Coyote considéré grâce à la notion de vitesse linéaire et au calcul de l'itinéraire reliant deux positions consécutives. En effet, en 1 minute le véhicule peut avoir traversé plusieurs PUMAS Points ; il faut donc mettre en œuvre un calcul de « plus court chemin » dans le réseau local pour déterminer sa trajectoire (la connaissance de l'itinéraire suivi par le véhicule sert également à générer les estimations des temps de parcours expérimentés par le véhicule dans chacune des sections qu'il a traversées). Ce calcul permet de déterminer une « vitesse linéaire » réalisée sur le trajet : cette vitesse est égale à la longueur du trajet divisée par 1 minute. Sont alors écartées comme incohérentes les sections candidates qui donnent lieu à des trajets dont la vitesse linéaire est supérieure à un seuil réaliste.

Cette méthode conduisait à des choix « à l'avancement », ce qui écartait des solutions possibles et donnait encore lieu à des rejets trop nombreux. La dernière phase a consisté à conserver sur 3 points Coyote successifs les sections candidates, à calculer les vitesses linéaires sur chaque itinéraire donné par la combinatoire de ces sections, et à choisir l'itinéraire final dans cet ensemble. Les positions d'un boîtier Coyote étant reçues sur un cadencement de 5 minutes (5 dernières positions connues), cette méthode ne ralentit pas les performances temps réel.

La figure ci-dessous présente une illustration de la logique suivie :

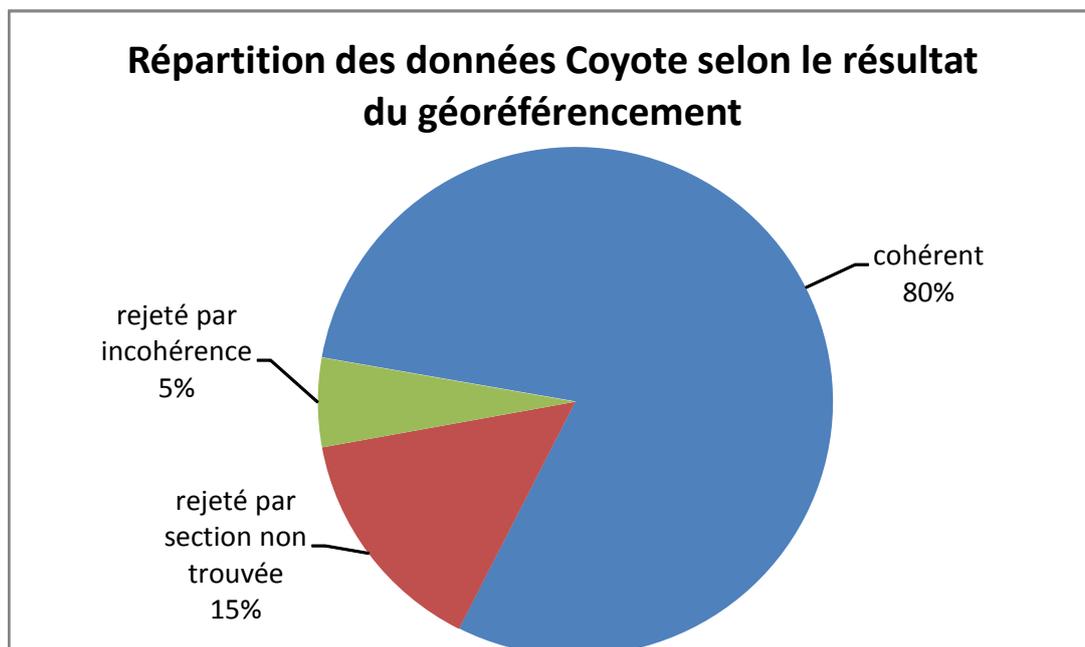


Pour illustrer les résultats obtenus, nous présentons ci-dessous un exemple d'itinéraire obtenu pour un Coyote embarqué dans un véhicule équipé d'un boîtier PUMAS (l'itinéraire PUMAS est réputé sans erreur en raison de la fréquence de ses données GPS). Il existe un très bon accord entre les positions Coyote et l'itinéraire suivi par le véhicule.



**Légende :** en vert les données cohérentes, en rouge les données non matchées et en bleu les données incohérentes.

Les performances obtenues à l'issue de ce processus sont résumées dans le graphique ci-dessous :



80 % des positions Coyote sont donc correctement positionnées sur la carte OSM. Les raisons de rejet sont l'incohérence (5 % : inexistence d'un trajet vraisemblable reliant la position considérée avec les positions voisines) et l'impossibilité de trouver une section sur laquelle projeter la position Coyote (15 %). L'imprécision des données GPS (effets de canyon, etc.) et les imprécisions de la carte OSM (sections manquantes, imprécision des vitesses limites qu'utilise l'algorithme de plus court chemin, ...) expliquent ces divers rejets.

Cette phase du prétraitement a permis d'obtenir directement des éléments intéressants :

➔ **Elaboration d'une base de données historique de temps de parcours sur les sections**

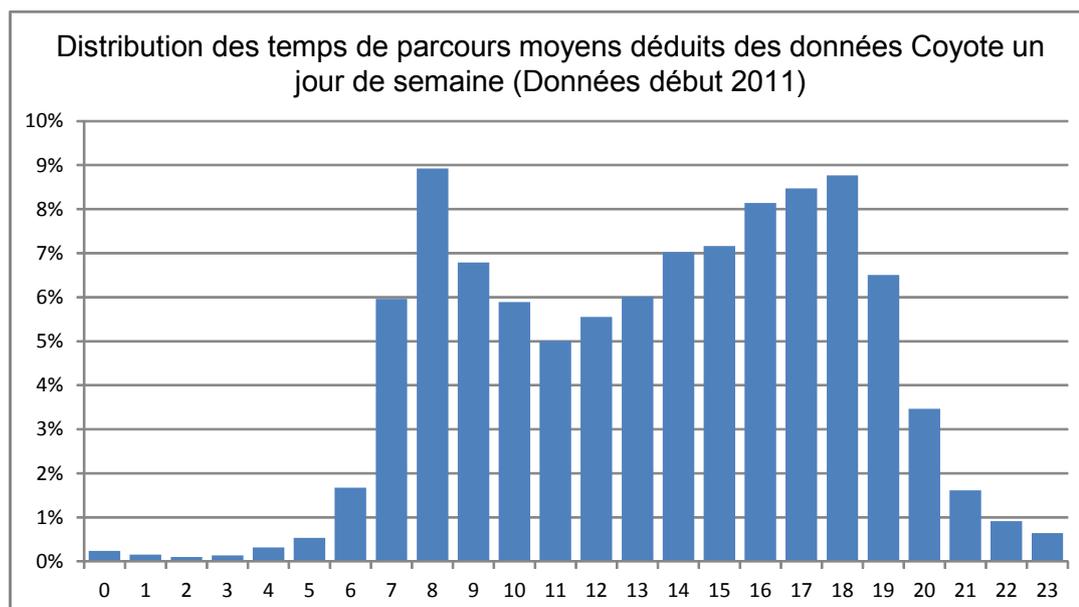
Les données Coyote sur une base d'1 an (57 millions de remontées) mises à disposition par la Société Coyote, une fois géo-référencées, ont permis d'élaborer une base de temps de parcours modaux moyens 6 minutes sur l'ensemble des sections de la CREA. Une vingtaine de modalités ont été définies (exemple : lundi ordinaire, mardi ordinaire, veille de grands départs, congés scolaires etc...) couvrant l'ensemble d'une année. Pour chaque section PUMAS, pour chaque modalité, et pour chacune des 240 tranches 6 minutes de la « journée-type » de la modalité, on a calculé la moyenne et l'écart-type de l'ensemble des temps de parcours estimés à partir des passages de Coyotes dans la section. Cette base est utilisée par l'algorithme trafic pour élaborer ses prévisions.

Les temps de parcours ont été estimés en combinant deux calculs : la moyenne des vitesses instantanées des boîtiers Coyote passés sur la section et les temps de parcours générés par l'estimation des instants de passage aux PUMAS Points (cf. plus loin).

Il était intéressant d'évaluer la pertinence de la source de données constituées par les traceurs Coyote pour la représentation du trafic dans l'agglomération rouennaise. Voici quelques éléments :

▸ *Couverture dans le temps*

Le graphique ci-dessous permet d'estimer l'homogénéité dans le temps de la répartition des véhicules équipés de boîtier Coyote.



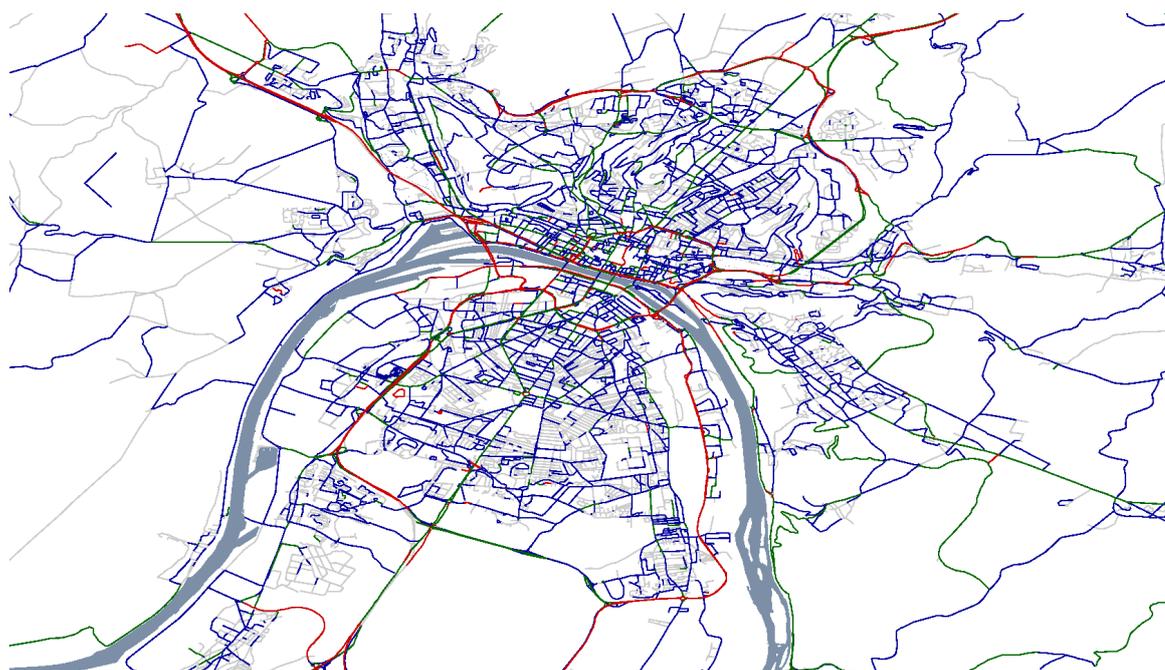
Ce graphique fait apparaître une répartition des données Coyote dans le temps épousant nettement la forme de la demande tout au long de la journée :

Près de **400 000 temps de parcours** sont générés chaque jour en semaine (lundi à vendredi), soit en moyenne **1300 valeurs par minute**.

- ➔ 26% des données sont disponibles en heures de pointe du matin (8h-9h) et du soir (17h-19h).
- ➔ 52% des données sont disponibles en heures creuses de journée (9h-17h).
- ➔ 1% des données concernent la période minuit et 6h.

#### ▸ Couverture dans l'espace

La carte ci-dessous illustre la fréquence des remontées de données Coyote selon la section considérée en moyenne en heure de pointe (mardi ordinaire entre 17h et 18h).



### Légende (fréquences de passage par section) :

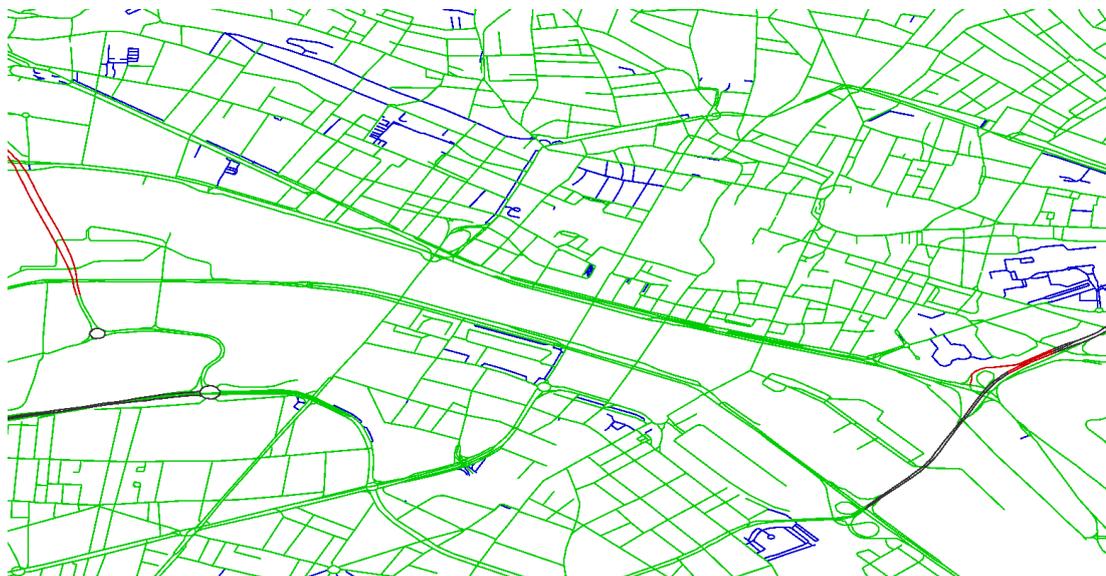
Gris = Aucune  
Bleu = 1 passage toutes les 30 min et +  
Vert = 1 passage toutes les 6 à 30 min  
Rouge = 1 passage toutes les 6 min et –

On observe une fréquence de passage importante (rouge) sur les pénétrantes autoroutières et leurs prolongements urbains : grandes avenues, quais, boulevards périphériques, et une fréquence convenable (vert) sur une partie des itinéraires menant aux traversées de la Seine. En revanche, les sections de statut inférieur (rues du tissu d'alimentation des quartiers) sont faiblement informées. Les sections non renseignées appartiennent logiquement aux zones résidentielles.

Les algorithmes prendront en compte cette fréquence de passage (qu'il s'agisse du passage d'un boîtier Coyote ou de celui d'un boîtier PUMAS) en « rafraîchissant » les temps de parcours sur les sections correspondantes lorsqu'une donnée temps réel leur parvient ; à défaut, ils se baseront sur les données de temps de parcours modales historiques sur les sections non traversées par un véhicule traceur.

### ➔ Mise à jour des vitesses limites et meilleure précision des vitesses prises en compte

Les vitesses instantanées relevées sur une section donnée en situation fluide donnent une indication sur les vitesses d'usage de la section. Cette indication peut servir à compléter les données de vitesse limites des sections présentes dans la carte OSM (un certain nombre de sections sont affectées d'une vitesse par défaut). Pour illustrer ce résultat, nous présentons ci-dessous deux cartes du réseau dans le centre de Rouen : l'une représentant les vitesses limites présentes dans OSM et l'autre les vitesses d'usage calculées :



Vitesses limites dans OSM



### Vitesses d'usage calculées à partir des données Coyote

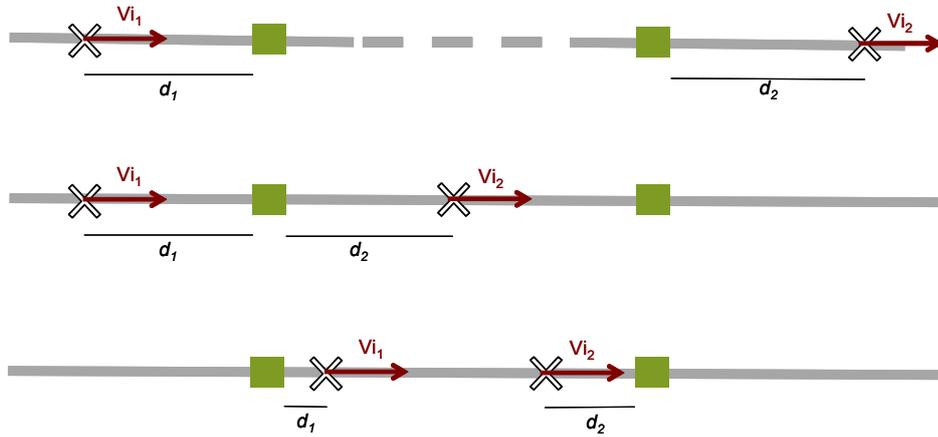
#### Légende :

- Bleu : de 0 à 30 km/h
- Vert : de 30 à 60 km/h
- Rouge : de 60 à 100 km/h
- Noir : plus de 100 km/h

On constate qu'il existe de nombreuses différences entre les vitesses limites figurant dans la carte OSM et les vitesses d'usage effectives. Ceci peut traduire des erreurs d'attributs de vitesses limites dans la carte (certaines vitesses limites sont définies par défaut), mais aussi des comportements d'usagers non cohérents avec la vitesse limite, et ceci, dans les deux sens : usagers dépassant la vitesse limite, ou caractéristiques de route ne permettant pas d'atteindre celle-ci (petites rues de faible longueur dans l'hyper-centre, par exemple).

#### ➔ Estimation des instants de passage aux PUMAS Points

Chaque couple de positions successives d'un même boîtier Coyote donne lieu au calcul d'une estimation des instants de passage du véhicule sur les PUMAS Points qu'il a traversés. Cette estimation tient compte à la fois de la vitesse linéaire entre ces positions, de la vitesse instantanée attachée à chaque position et de la configuration traitée (cf. les diverses configurations ci-dessous). Par exemple, on utilisera la position aval d'un PUMAS Point pour estimer l'instant de passage sur ce PUMAS Point en reconstituant « en arrière » la trajectoire du véhicule à partir de cette position et de la vitesse instantanée. La reconstitution « en avant » à partir de la position amont et de la vitesse instantanée est en effet moins précise en raison de l'arrêt possible, ou du retard, du véhicule au feu.



La précision de ce calcul est en moyenne de **6,5 secondes** (valeur obtenue à partir du véhicule PUMAS équipé d'un Coyote).

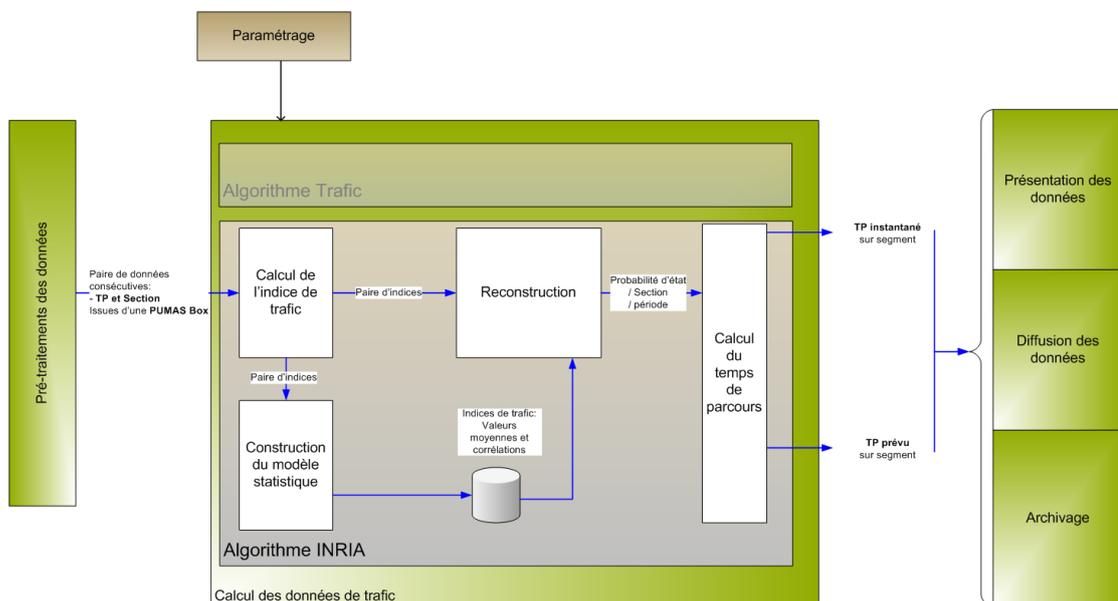
## 2.2.2 Algorithme de propagation des croyances

L'équipe-projet IMARA de l'Inria s'appuie dans le cadre de PUMAS sur un algorithme dit de « propagation des croyances » dont le versant théorique est le sujet du projet ANR Travesti (TRaffic Volume Estimation by Space-Time Inference), mené en collaboration avec l'équipe-projet TAO de l'INRIA et Armines du 1/1/2009 au 30/6/2012.

Cet algorithme travaille au niveau de la PUMAS section et ne cherche pas à donner une information à un niveau spatial plus fin. Il repose sur deux outils mathématiques:

- ➔ Un modèle aléatoire markovien en espace-temps, qui encode :
  - Les temps de trajet moyens sur chaque section en fonction du temps;
  - Les corrélations entre les temps de trajet sur les sections adjacentes en espace et en temps.
- ➔ Un algorithme (propagation des croyances) utilisant ce modèle en temps réel pour propager les données envoyées par les véhicules participant à PUMAS et obtenir une reconstruction (ou une prédiction si on se situe dans le futur) du trafic là où l'information manque.

Un schéma général du fonctionnement de l'algorithme est donné ci-dessous. Pour une description sommaire des différents éléments, se reporter aux spécifications générales.



Par rapport à la version initiale de l'algorithme<sup>1</sup>, plusieurs changements d'importance ont été réalisés pour prendre en compte les spécificités de PUMAS :

- L'algorithme cherche à estimer des temps de parcours, alors que la version originale estimait des niveaux de congestion ;
- L'algorithme repose sur des données envoyées par les véhicules en des endroits déterministes en espace (les Pumas points), alors que la version originale prévoyait un déterminisme en temps (messages à dates fixes). Ceci est lié au point précédent ;
- Dans le cadre du projet Travesti, a été mise au point une méthode pour encoder des données réelles (temps de parcours) dans un champ de vecteurs markovien à variables binaires. Ces études théoriques ont été faites pour subvenir aux besoins de Pumas et sont utilisées ;
- Dans le cadre du projet Travesti, a été définie une méthode pour prendre en compte dans les données « fraîches » du jour les temps de parcours constatés ; cela revient à conditionner le champ de vecteur markovien par des données incertaines, par une méthode qui a été publiée par ailleurs<sup>2</sup> ;
- Une méthodologie d'agrégation des données a été mise au point afin de permettre d'établir un modèle statistique fiable dans les périodes de temps où peu de véhicules circulent.

L'Inria a choisi d'implémenter cet algorithme aussi rigoureusement que possible l'algorithme décrit dans les spécifications générales :

- Document d'architecture ;
- Document de conception du module BP ;
- Dossier de test et de validation ;
- Implémentation totale du logiciel « BPstruction » (reconstruction par belief propagation) ;
- Implémentation des tests unitaires correspondants au dossier de tests et validation ;
- Mise à jour des spécifications détaillées afin de suivre les modifications intervenues en cours de développement.

Bpstruction a été conçu dès le départ manière portable, afin de pouvoir fonctionner indifféremment sous MS Windows et Linux. Un soin particulier a été porté aux problèmes de vitesse de calcul (Bpstruction utilise plusieurs threads) et à l'utilisation mémoire (seule une partie du graphe sous-jacent est en mémoire à un instant donné).

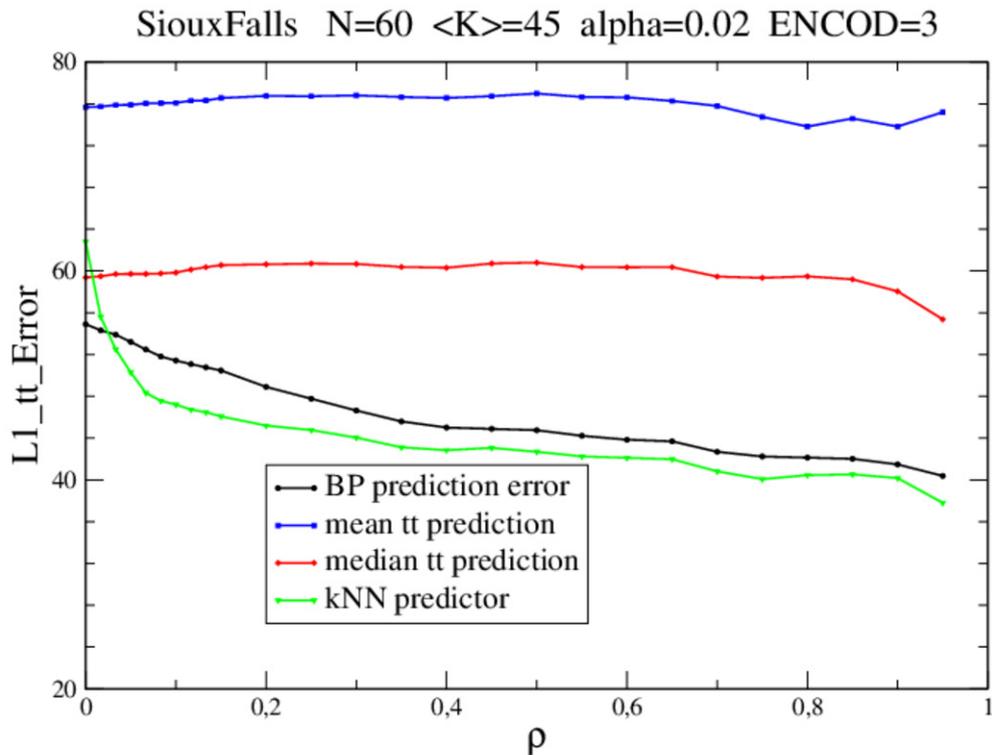
Il n'a bien sûr pas été possible de tester l'efficacité de notre algorithme, à défaut d'avoir une quantité de données suffisante. Toutefois, dans le cadre du projet Travesti, le logiciel BPstruction a été mis en œuvre sur des données synthétiques afin de valider son fonctionnement.

Les résultats obtenus sur le réseau classique SiouxFall montrent que la reconstruction des données se compare très bien à des méthodes qui ne seraient pas applicables à Pumas comme « *k* nearest neighbors » (*k*NN).

---

1 Furtlehner, C., Lasgouttes, J.-M., & de La Fortelle, A. (2007). [A Belief Propagation Approach to Traffic Prediction using Probe Vehicles](#). Paper presented at the IEEE 10th Int. Conf. Intel. Trans. Sys.

2 Furtlehner, C., Han, Y., Lasgouttes, J.-M., Martin, V., Marchal, F., & Moutarde, F. (2010). [Spatial and Temporal Analysis of Traffic States on Large Scale Networks](#). Paper presented at the IEEE 13th Int. Conf. Intel. Trans. Sys.



*Erreur de prédiction en valeur absolue quand une proportion  $\rho$  des variables est connues. La reconstruction faite par BP est comparée à la valeur moyenne du temps de trajet (bleu), sa médiane (rouge) et à l'algorithme kNN.*

### 2.2.3 Algorithme Trafic

EGIS applique au domaine urbain, avec les adaptations qui s'imposent, un algorithme dit « Algorithme Trafic » basé sur la physique du phénomène de trafic en utilisant ses compétences de développement d'outils de gestion de trafic et sa maîtrise de la fusion des données comptages, événements et véhicules traceurs acquises sur infrastructures autoroutières. En conséquence, cet algorithme se veut plus réactif aux situations non récurrentes par son utilisation de la méthode de stock (pilotee par les traceurs) qui permet de produire des prévisions robustes sur événements aléatoires.

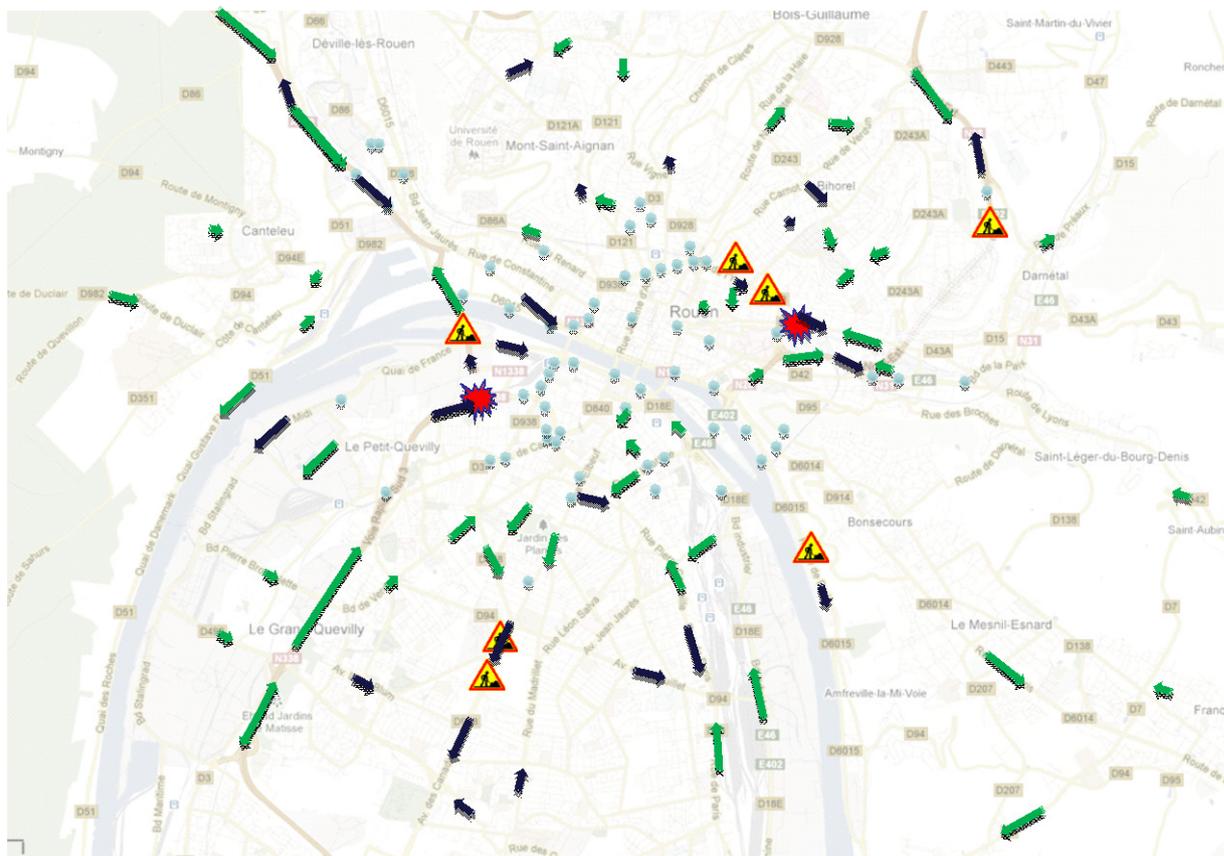
Le principe de l'algorithme Trafic est de modéliser les flux à partir de toutes les données disponibles : à la fois des données classiques telles que les comptages sur boucles magnétiques et les événements renseignés par la main courante des PC de gestion du trafic, mais aussi les véhicules traceurs (véhicules dotés d'un équipement GPS émettant leur position en temps réel ou dotés d'un téléphone GSM, ou véhicules détectés par un équipement au sol, type badge de télépéage, Bluetooth, lecture de plaques, ...)

Chacune de ces sources de données apporte une vision partielle de la réalité. Le tableau suivant synthétise ces apports et limites, et met en valeur leurs complémentarités :

Type de données	Exhaustivité	Couverture géographique de l'information	Couverture temporelle de l'information	Fiabilité de l'information	Actualisation de l'information	Adaptation aux situations anormales
<b>Comptages</b>	Forte : tous véhicules	Faible : un point par équipement	Forte : 24/24 hors maintenance	Moyenne : imprécision des comptages	Forte : données instantanées indépendantes de la situation	Moyenne : manque l'information de l'évolution de la situation
<b>Evénements</b>	Moyenne : selon la saisie opérateur	Moyenne : selon la saisie opérateur	Moyenne : selon la saisie opérateur	Moyenne : selon la saisie opérateur	Moyenne : dépend du temps d'acquisition de l'information	Forte : permet de prévoir la situation et son évolution
<b>PUMAS Box</b>	Faible : uniquement sur les véhicules équipés	Moyenne : uniquement sur les trajets des véhicules équipés	Moyenne : dépend de la circulation des véhicules, faible la nuit	Forte : temps de parcours sur section en natif	Moyenne : temps de parcours constaté	Faible : constate la situation avec un délai
<b>Véhicules<sup>3</sup> traceurs banalisés</b>	Moyenne : uniquement sur les véhicules équipés	Forte : sur tous trajets des véhicules équipés	Moyenne : dépend de la circulation des véhicules : faible la nuit	Moyenne : estimation de la localisation et des instants de passage aux PUMAS Points	Moyenne : temps de parcours constaté	Faible : constate la situation avec un délai

Nous présentons dans la carte ci-après les divers types de données disponibles sur le réseau rouennais :

<sup>3</sup> Par hypothèse nettement plus nombreux que les véhicules de la flotte PUMAS



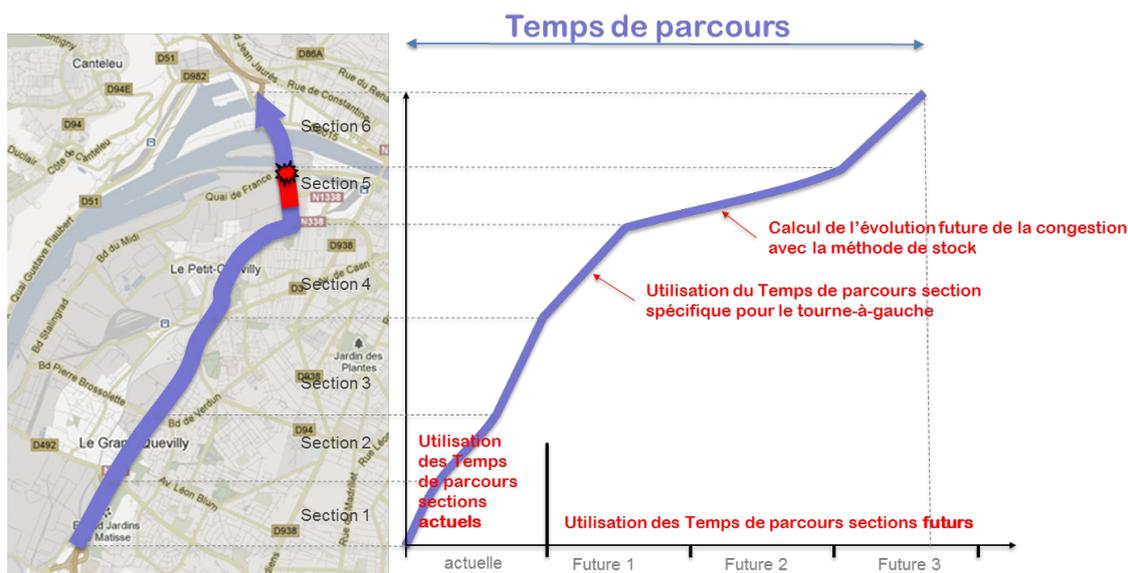
Légende :  = travaux  = accident  = traceur PUMAS  = traceurs Coyote  = comptage

L'algorithme Trafic applique la fusion à plusieurs niveaux. Par exemple, les données issues des véhicules traceurs permettent d'avoir des temps de parcours « constatés », le temps de parcours d'un véhicule n'étant connu que lorsque celui-ci a traversé l'ensemble de la section. Un véhicule entrant dans la section au même instant va expérimenter un temps de parcours différent, la situation ayant évolué entre les deux véhicules. Si l'on utilise uniquement les véhicules traceurs, les temps de parcours proposés ne tiendront pas compte des dernières évolutions ; en revanche, si ces données sont fusionnées avec les données de comptages et événementielles, la situation calée dans le proche passé peut être projetée pour estimer un temps de parcours prévu pour le véhicule entrant dans la section.

Cette fusion est d'autant plus intéressante qu'il existe une congestion importante dans la section, le retard de l'information sur le temps de parcours du véhicule entrant étant égal au temps de parcours du véhicule sortant. Par ailleurs, la fusion avec les données « traceurs » permet de rendre le modèle de stock plus robuste aux imprécisions des comptages.

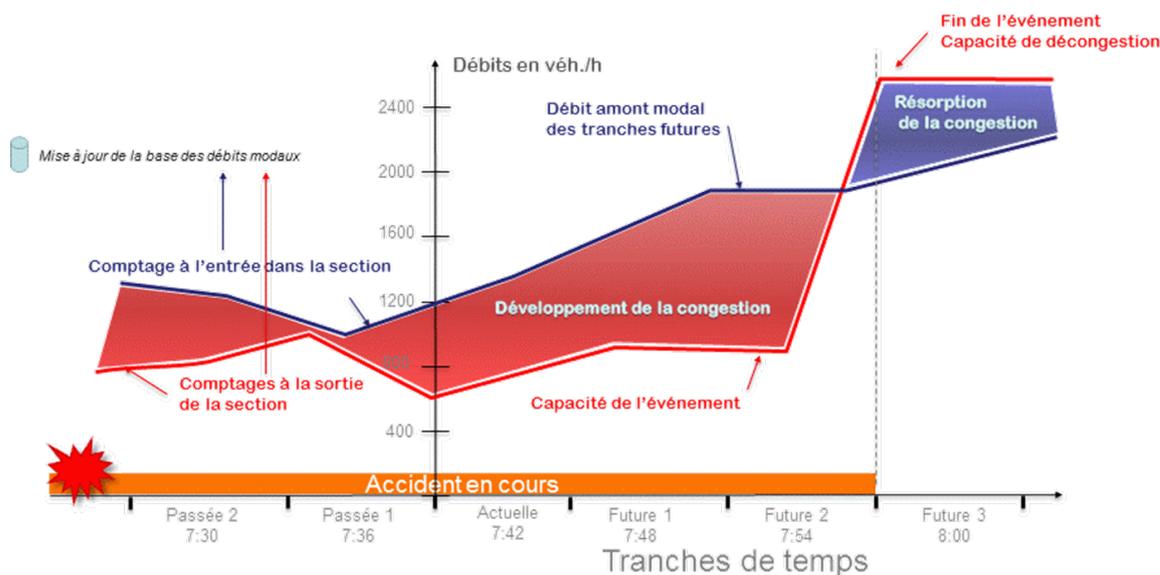
L'algorithme Trafic propose des temps de parcours actuels et prévus à court terme (30 minutes par défaut), avec différenciation selon le mouvement tournant en fin de section.

L'exemple suivant met en exergue l'ensemble des qualités de l'algorithme :

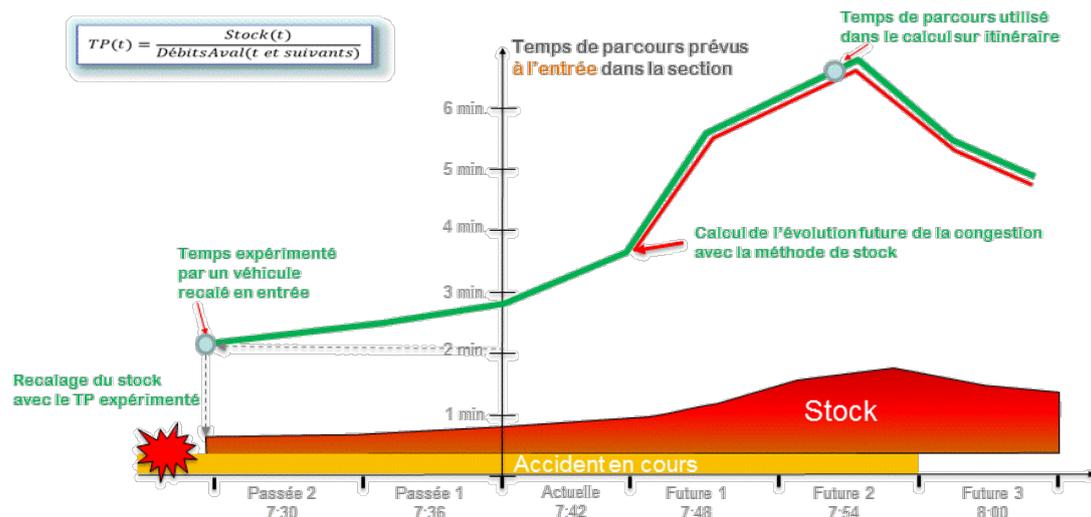


A gauche : itinéraire considéré, avec incident sur le pont. A droite : trajectoire d'un véhicule fictif démarrant au début de l'itinéraire : d'abord animé avec les temps de parcours constatés (tranche actuelle), puis avec les temps de parcours prévus (tranches futures)

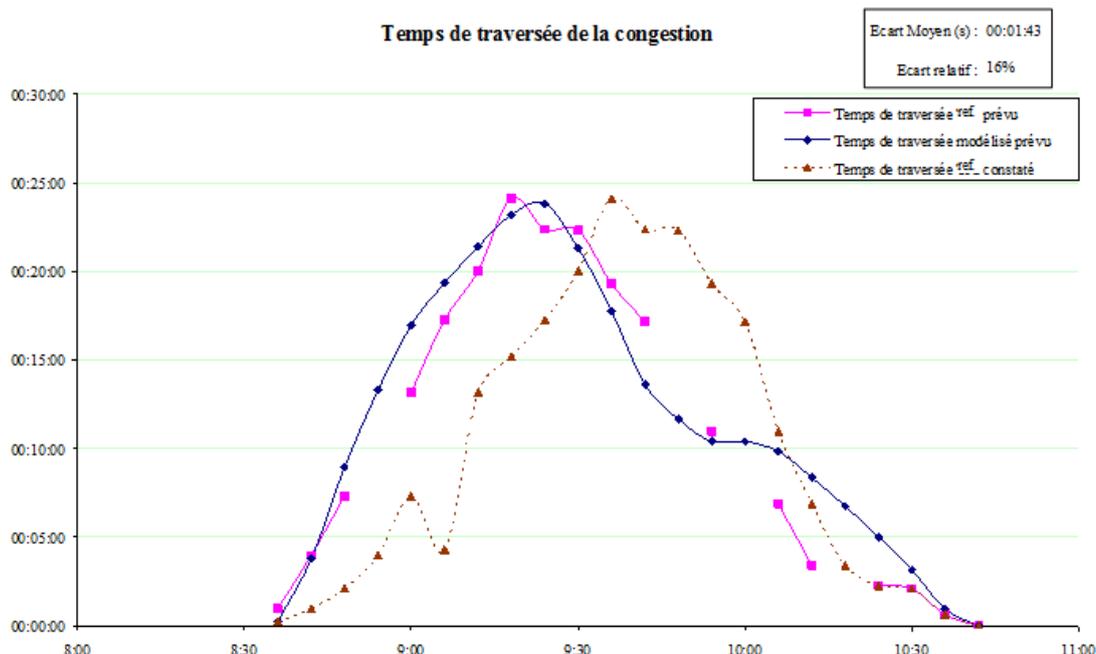
Dans cet exemple, la section 5 est congestionnée par un événement qui restreint la capacité et dont la durée probable est connue (via la saisie par l'opérateur du PC de Circulation). Le passage d'un véhicule traceur permet de recalculer le stock de véhicules dans la section, stock calculé à partir des données des stations de comptage de la section (plus de 120 stations de comptage sur le réseau, utilisées pour la micro- et la macro-régulation des carrefours). En effet, la connaissance du temps de parcours du traceur dans la section et celle des débits de sortie passés permet de calculer la valeur du stock à l'instant d'entrée du véhicule. Il suffit ensuite de tenir compte des débits entrants et sortants depuis cet instant du passé pour recalculer le stock à l'instant actuel. Les comptages passés, les comptages modaux prévus et les caractéristiques de l'événement générateur de la congestion permettent ainsi de mettre à jour ce stock :



En effectuant le rapport entre le stock actualisé et les débits aval nécessaires à son écoulement, on obtient des temps de parcours prévus actualisés dans la tranche actuelle et dans les tranches futures :



Cette actualisation est importante en temps réel car elle permet de rester au plus près des conditions de circulation pour le véhicule qui entre dans la section. Le graphique suivant illustre le retard pris par le temps de parcours constaté par rapport au temps de parcours prévu en entrée dans la section :



La courbe bleue représente les temps de parcours calculés toutes les 6 minutes au départ de l'itinéraire ; il s'agit de temps de parcours prévus, calculés sur la base des temps de parcours des sections de l'itinéraire prévus au moment où le véhicule y entrera.

La courbe marron représente les temps de parcours constatés par des traceurs au moment où ils sortent de l'itinéraire. Pour connaître les temps de parcours expérimentés selon l'heure de départ des véhicules traceurs, il faut recaler ces points dans le passé en reculant de la valeur du temps de parcours. On obtient ainsi la courbe rose qui représente le temps réellement mis par un véhicule en fonction de son heure de départ.

L'observation de ces 3 courbes amène les constatations suivantes :

- La comparaison des courbes marron et rose fait apparaître l'importante erreur que l'on fait en affichant au véhicule qui rentre ... le temps de parcours de celui qui sort à cet instant !
- La comparaison des courbes bleue et rose souligne la précision de la prévision que permet le recours à la méthode de stock.

EGIS a implémenté l'algorithme selon une logique industrielle rigoureuse :

- Spécifications générales et détaillées intégrant la totalité de l'algorithme ;
- Document d'architecture et de conception;
- Dossier de test et de validation ;
- Implémentation des tests unitaires correspondant au dossier de tests et validation ;
- Mise à jour des spécifications détaillées afin de suivre les modifications intervenues en cours de développement.

## 2.3 Le PUMAS Serveur

Suite au départ de SODIT, tous les travaux relatifs au PUMAS Serveur ont dû être arrêtés. Les partenaires ont ainsi défini **les principes de haut niveau concernant l'architecture du serveur**. Cela inclut l'architecture complète avec le découpage en sous-systèmes ainsi que l'ensemble des points liés aux fonctionnalités du serveur (Affichage web, archivage des données).

Le PUMAS serveur est un élément fondamental du système PUMAS puisqu'il intègre un ensemble de modules et d'algorithmes développés par les partenaires permettant d'exploiter l'ensemble des informations émanant des PUMAS Box. Cependant, ce serveur n'ayant pu être réalisé pendant le projet, une solution alternative a été proposée par l'INSA de Rouen.

En effet, l'INSA de Rouen en collaboration avec Intempora a installé sur son réseau un serveur, permettant de recevoir les PUMAS Messages, d'effectuer des sauvegardes et ayant un accès à distance pour qu'il puisse être contrôlé par les différents partenaires du projet. Ce serveur a fonctionné correctement, sauf durant 3 semaines entre juillet et août suite à des coupures d'électricité.

## 2.4 La PUMAS Box

### 2.4.1 Matériel PUMAS Box

La PUMAS Box développée dans le cadre de ce projet est construite autour d'un microcontrôleur ARM9 de la société Samsung. Il dispose d'une mémoire SDRAM de 64 Mo et d'une mémoire flash de 64Mo. Il possède une mémoire FRAM de 8 Ko (64 Kbits) pour stocker des informations sans consommer de l'énergie. Il possède aussi un lecteur de carte microSD pour stocker une quantité d'informations importantes. Le système d'exploitation utilisé sur ce système est un linux optimisé pour cette plateforme de version 2.6.25.

Autour de ce système, différents modules sont placés en statique :

- ➔ Récepteur de signaux GPS : UBLOX (LEA 5)
- ➔ Modem utilisé en GSM / GPRS et en SMS : iWOW, TR900
- ➔ Microcontrôleur : Microchip, PIC18. Il gère :
  - La lecture / écriture sur le bus CAN
  - La lecture d'un accéléromètre 3 axes.
  - La lecture du niveau de la batterie interne (3,7V ; 1,3 Ah)
  - La lecture du niveau de l'alimentation externe
  - Le contrôle d'entrées et de sorties numériques
  - Le réveil des différents modules du système.

Ce système possède aussi des interfaces pour connecter d'autres modules externes :

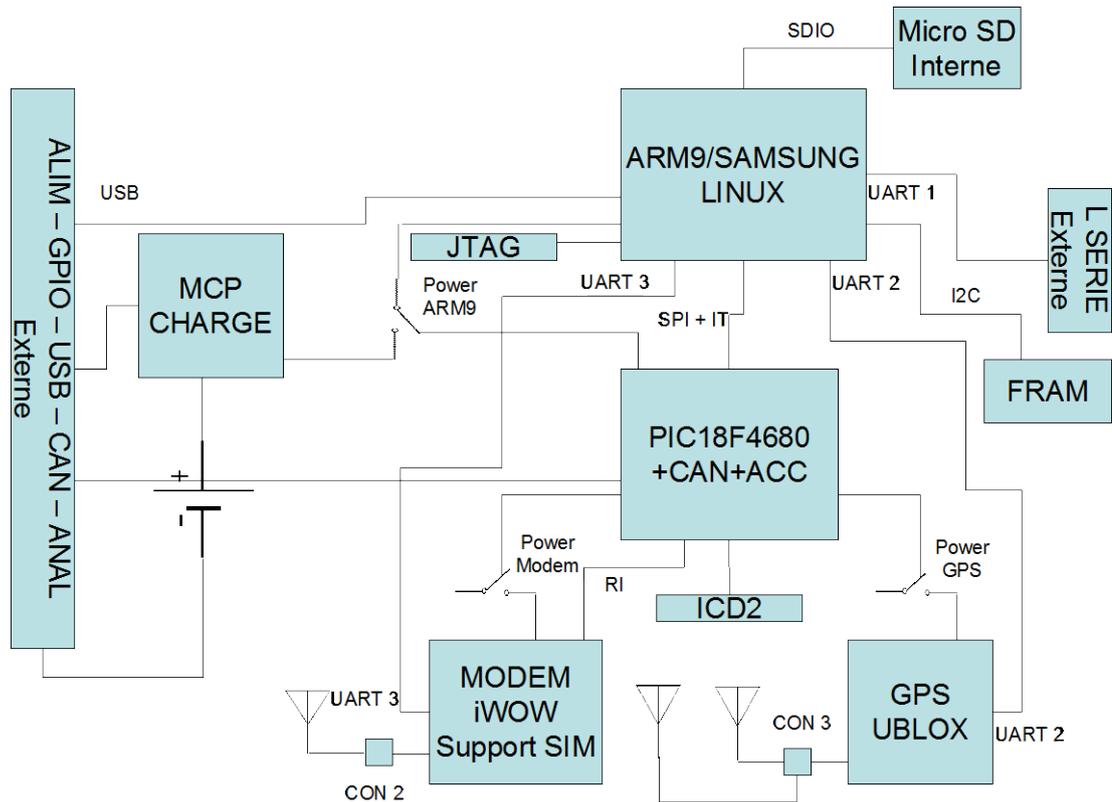
- ➔ Une interface USB Host
- ➔ Une interface USB Device (alimentation du système)
- ➔ Un port série RS232
- ➔ Entrée / sortie numérique : simulation d'un port SPI par exemple
- ➔ Un port bus CAN

Ces différents ports pourront recevoir des cartes filles pour avoir des interfaces :

- ➔ Bluetooth
- ➔ Wifi 802.11a,g
- ➔ Wifi 802.11n
- ➔ Si disponible un jour : Wifi 802.11p
- ➔ Zigbee

La connexion wifi est assurée par l'intermédiaire d'une clé USB/Wifi b,g,n (TRENDnet TEW-649UB)

Le principe de fonctionnement du matériel embarqué par sur cette plateforme est décrit par le schéma bloc suivant :



La liste des principaux composants électronique se trouve dans le tableau ci-dessous.

Module	Référence
ARM9 Samsung	S3C2440X
Flash Memory Samsung	K9F1208
Mémoire SDRAM Samsung x2	K4S561632
FRAM RAMTRON	FM25CL64
Modem GSM/GPRS (iWOW)	TR900 - CH
U-blox 5 GPS/GALILEO	LEA-5H
Microcontrôleur 8 bits	PIC18LF4680
Transceiver CAN	MCP2551
Chargeur batterie (I max=2A)	LTC4090-5
Accéléromètre	MMA7361L

La connectique de cette carte a été étendue pour répondre aux modifications susceptibles d'avoir lieu pendant la durée du projet. Cette carte comporte 4 connecteurs :

- ➔ Un connecteur JTAG (interne à la carte)
- ➔ Un connecteur ICD (interne à la carte)
- ➔ Un connecteur Mini USB Host (externe, et à dupliquer en interne)
- ➔ Un connecteur de batterie (interne)
- ➔ Un connecteur I/O (externe) : 16 fils
  - Port série : 2 (RSTXD0, RSRXD0)
  - CAN : 2 (CANH, CANL)
  - Entrée Analogique : 2 (EXTANA1, EXTANA2)
  - Entrée Numérique : 2 (IN1, IN2)
  - Sortie Numérique : 2 (TOR1, TOR2)
  - USB Device : 2 (USBD\_DN, USBD\_DP)
  - Entrée Alimentation > 7V et < 36V : 1 (Vin)
  - Entrée Alimentation 5V : 1 (USBD\_VCC)
  - Masse : 2

Elle possède aussi une IHM :

- ➔ 3 LEDs programmables
- ➔ 1 Bouton pour le reset

Elle contient une antenne GSM interne au boîtier, et une antenne GPS pouvant être montée en interne ou en externe suivant les environnements.

La plateforme fonctionne avec un noyau LINUX 2.6.25. Elle a deux modes de fonctionnement ; un mode de programmation, de mise à jour, de maintenance et un mode de fonctionnement exécution d'une application bouclée. La communication avec la plateforme est assurée par un shell sécurisé en utilisant un transport TCP/IP. On utilise SSH. Chaque plateforme contient un serveur SSH et ainsi, il est possible de s'y connecter pour exécuter n'importe quelle commande linux. Elle possède deux canaux de communication (GPRS, RS232). L'exécution d'un programme en boucle est faite par la plateforme logicielle RTMaps comme expliqué dans le paragraphe suivant.

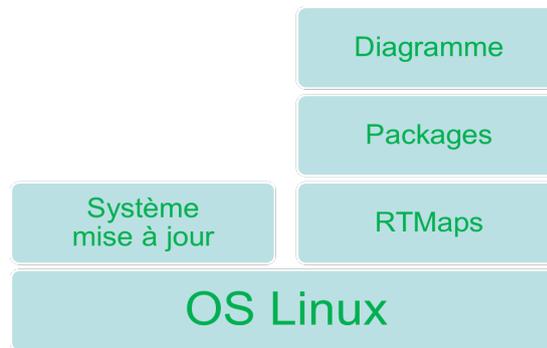
Le programme peut communiquer en utilisant deux modes pour le transfert de données :

- ➔ A travers la liaison GPRS, on utilise le protocole TCP / IP
- ➔ L'utilisation des SMS en mode PDU ou TEXT

La communication de ces informations est faite à un serveur dénommé « gateway ».

Il se charge de faire la communication entre les systèmes embarqués et les programmes qui exploitent les données recueillies.

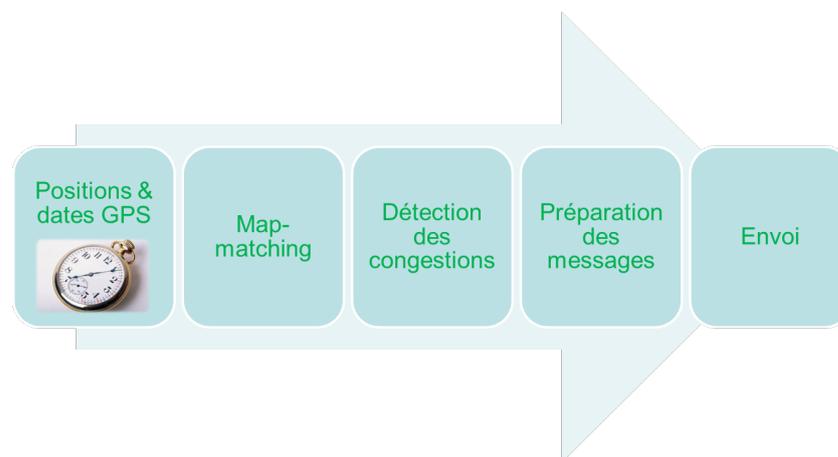
L'architecture logicielle de la PUMAS Box est résumée sur le schéma ci-dessous, dans lequel chaque élément repose sur ceux qui sont situés en-dessous de lui.



Cette architecture comprend :

- le système d'exploitation Linux adapté par Induct ;
- le système de mise à jour logicielle, réalisé par Induct et décrit dans le paragraphe suivant ;
- le moteur RTMaps, porté sur la PUMAS Box par Intempora, qui permet l'acquisition et le traitement de données multicateurs temps réel ;
- les packages RTMaps, développés par Armines et Intempora, qui comprennent les différents modules ou composants de l'application de génération des messages PUMAS ;
- le diagramme RTMaps qui décrit les données échangées entre les différents composants et leur paramétrage afin de réaliser l'application PUMAS.

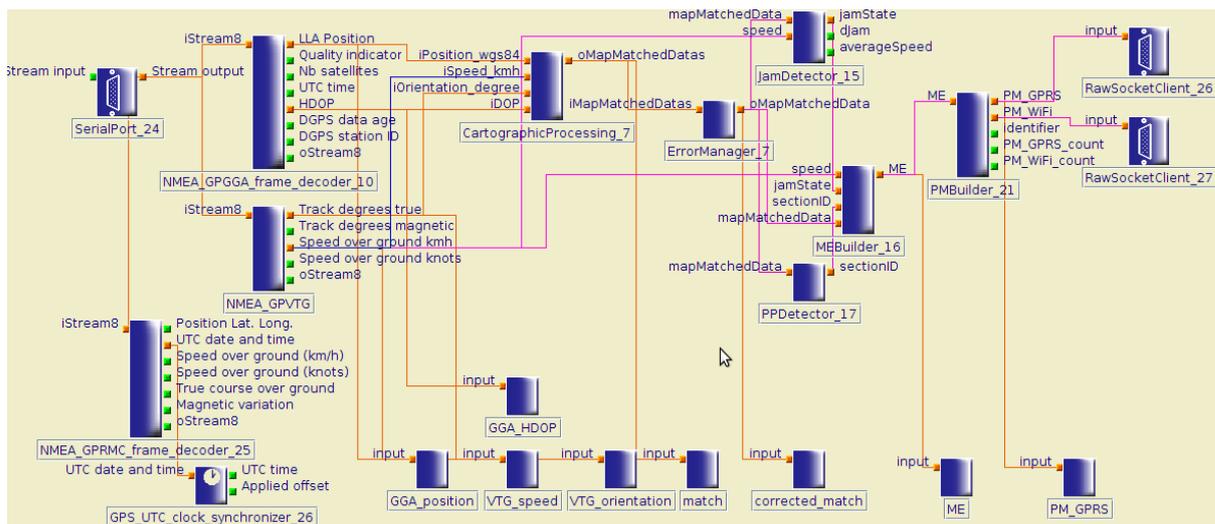
La suite de ce paragraphe s'attache à décrire le fonctionnement de l'application de génération des messages PUMAS. Cette application acquiert les positions et dates GPS et effectue une série de manipulations afin de générer et envoyer au serveur central les « PUMAS messages » en question, tels que décrits au début de ce document. Le schéma ci-dessous explique les opérations principales effectuées.



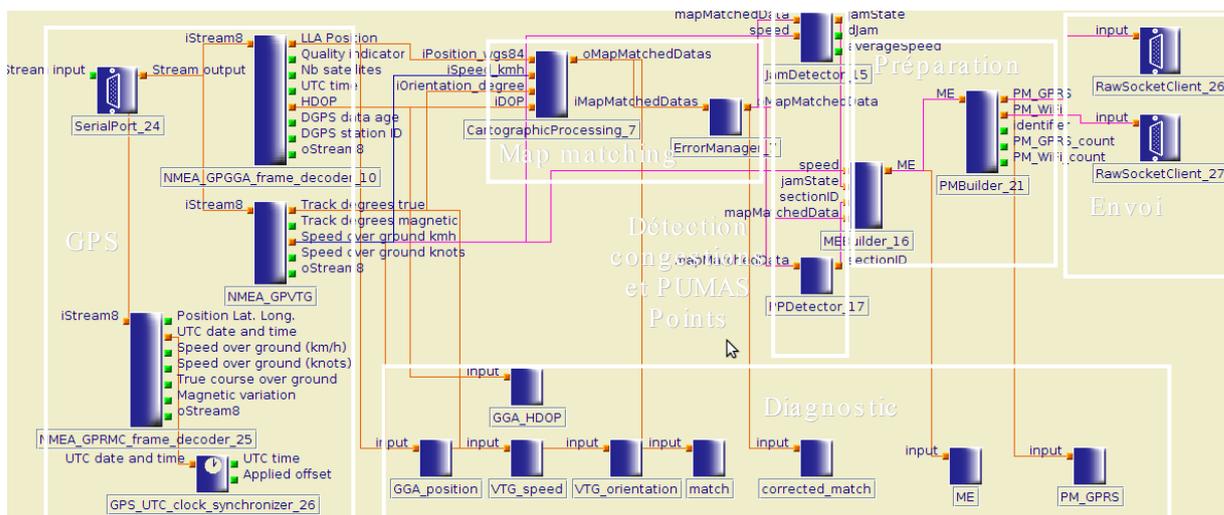
Ces opérations consistent à :

- acquérir les données GPS de position et de datation ;
- effectuer les traitements cartographiques de map matching décrits dans le paragraphe « Cartographie et Map Matching » de ce document afin de transformer les coordonnées GPS longitude-latitude en position sur une route ;
- déterminer si le véhicule se trouve dans une congestion ;
- générer les PUMAS messages dans le formalisme partagé avec le serveur PUMAS ;
- envoyer les messages.

L'image ci-dessous est une capture d'écran du Studio RTMaps, l'environnement de développement des diagrammes RTMaps. Elle montre le diagramme de l'application PUMAS embarqué sur la PUMAS Box.



Ce diagramme met en œuvre les différentes opérations décrites ci-dessus et on peut y retrouver des ensembles qui correspondent aux opérations :



Voici quelques précisions sur les composants essentiels :

### GPS

Les composants de l'ensemble GPS réalisent l'acquisition des trames GPS brutes et leur décodage pour extraire les informations utiles.

### Map Matching

Les composants Cartographic Processing et Error Manager, développés par Armines, réalisent les traitements cartographiques décrits dans le paragraphe « Cartographie et Map Matching ».

### Détection congestions et PUMAS Points

Le composant jamDetector se charge de détecter les congestions en analysant la vitesse du véhicule. Une congestion est détectée lorsque la vitesse moyenne du véhicule sur quelques minutes reste pendant un certain temps très inférieure à la vitesse limite sur la route.

Le composant PPDetector détecte les PUMAS Points, au passage desquels l'application doit générer des messages.

### Préparation

Le composant MEBuilder collecte les informations cartographiques et les détections de congestion et PUMAS Points pour générer des « Messages Élémentaires » selon une régularité spatiale et temporelle.

Le composant PMBuilder agrège les Messages Élémentaires pour en faire des PUMAS Messages.

### Envoi

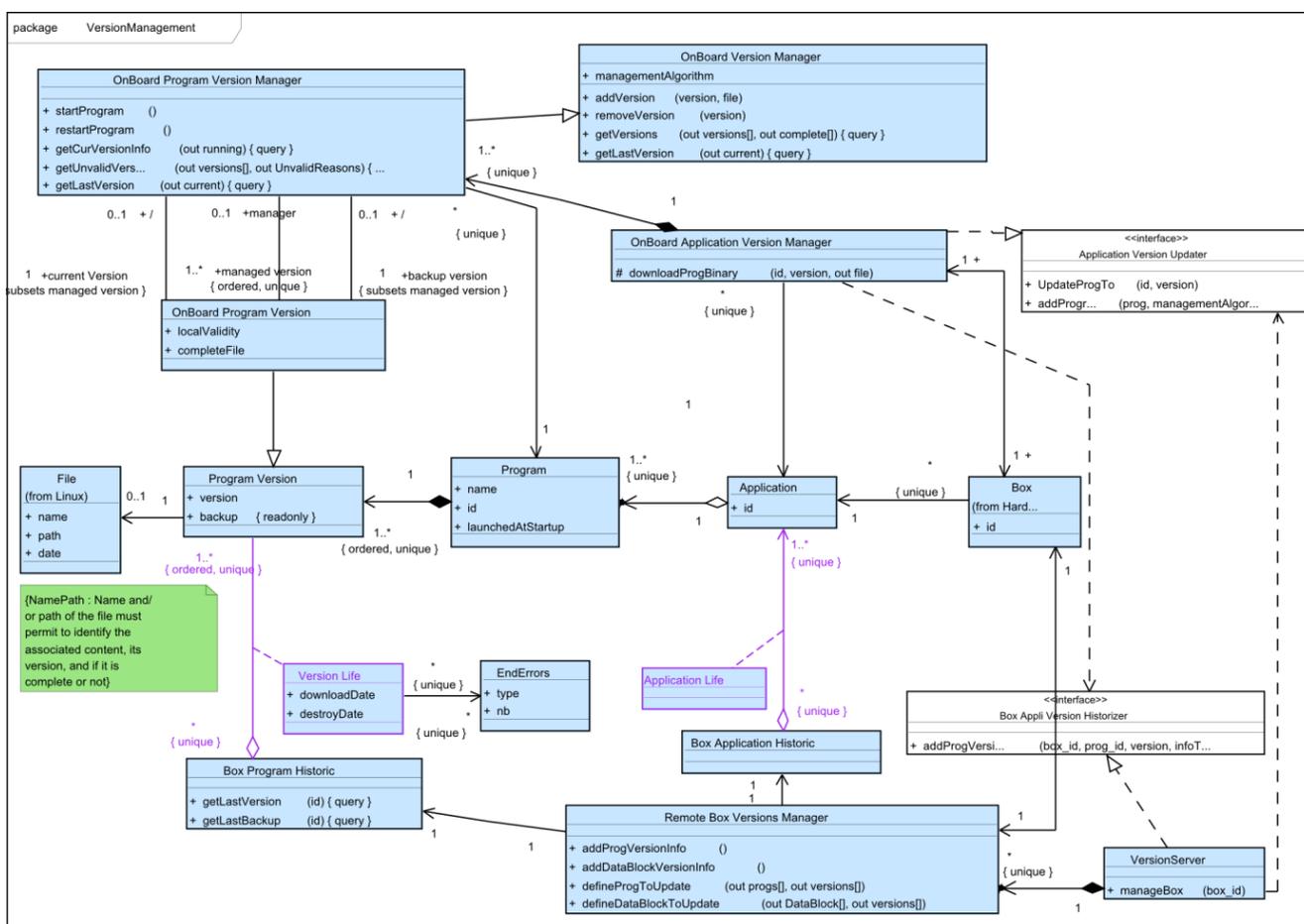
Les deux composants envoient les PUMAS Messages à travers le réseau Wi-Fi ou de téléphonie mobile.

### 2.4.3 Serveur d'installation et de mise à jour

Dans le cadre de l'utilisation des PUMAS Box, Induct a mis à disposition des équipes de développement, un serveur de mise à jour de l'application RTMaps, ainsi que les packages composant cette application. Avec ce système, l'application au sein des PUMAS Box est entièrement reconfigurable et permet la mise au point des différents algorithmes sans intervenir directement sur les véhicules déjà installés. Le principe de fonctionnement de la mise à jour est que, chaque jour les PUMAS Box se connectent sur le serveur Induct et vérifient son niveau de version par rapport à la dernière disponible que le serveur et réalise la mise à jour automatiquement si nécessaire.

Le serveur est hébergé sur matériel disponible dans les locaux d'INDUCT sous Linux.

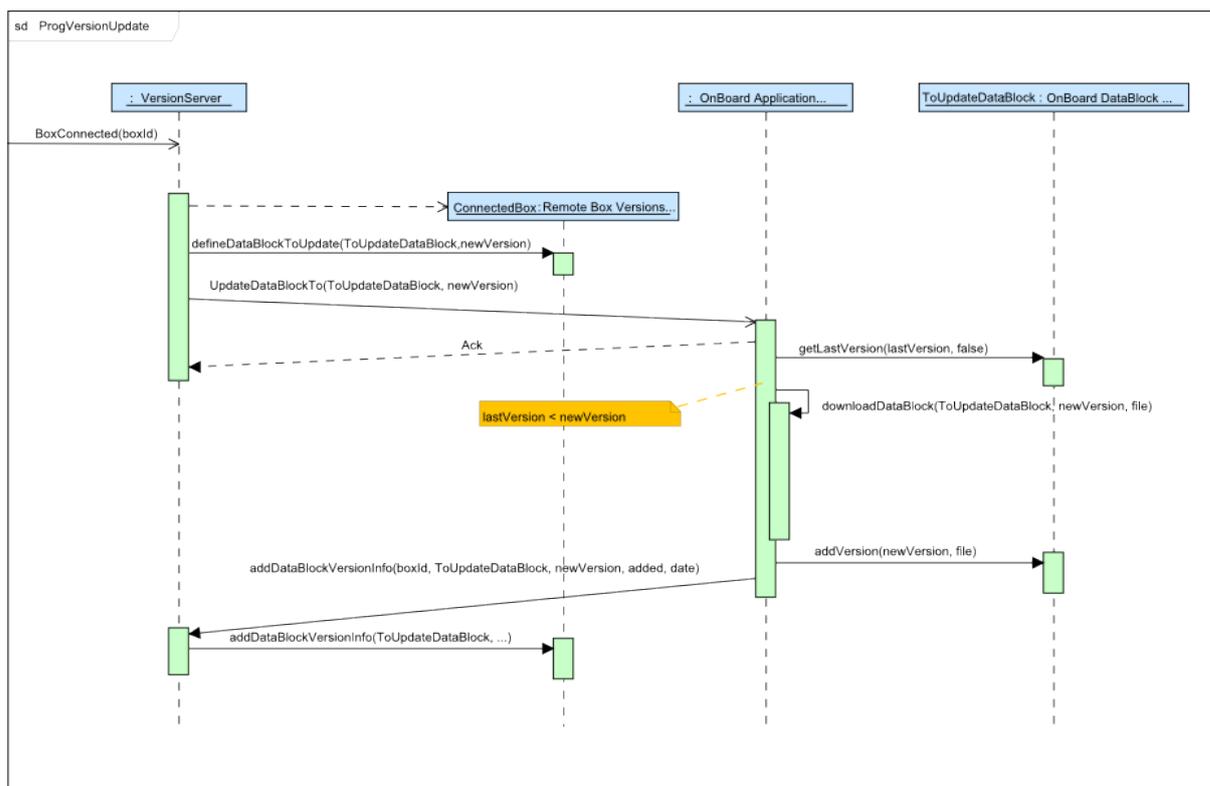
Le fonctionnement complet de l'application est illustré à travers le datagramme suivant :



Le client embarqué sur les PUMAS Box traite du chargement des mises à jour. Il s'assure que le chargement est complet. Après le téléchargement, le client embarqué, ferme l'application, repositionne les nouveaux fichiers dans les différents répertoires, et relance l'application.

Le gestionnaire des applications doit placer les applications à mettre à jour dans l'arborescence du serveur et l'application autorise les PUMAS Box à se mettre à jour.

Le diagramme suivant illustre le protocole de mise à jour d'une PUMAS Box :



#### 2.4.4 Bilan

Les premiers tests effectués avec les pumasBox ont permis de faire évoluer la vision sur le matériel dans le projet. En effet, après trois jours d'expérimentations dans les véhicules du consortium en septembre 2011, la PUMAS Box a pu en 2012 être testée dans les conditions réelles d'une flotte de plusieurs dizaines de véhicules hors consortium (ainsi que 4 véhicules personnels des membres de l'équipe, servant de témoins). Si les tests de 2011 ont permis de valider le comportement des algorithmes de la PUMAS Box, les nouvelles expérimentations ont surtout mis à l'épreuve le système de communication. En effet, dans ces nouvelles expérimentations, les Box exportent leurs données via le réseau de téléphonie mobile qui n'est pas partout disponible. Ainsi les données sur le serveur ont révélé des fragments d'itinéraires manquants. Des pistes ont été proposées pour résoudre ces problèmes, consistant par exemple à réduire la taille des paquets envoyés.

Comme rappelé au début de ce document, il était initialement prévu que le système PUMAS comprenne des Spots se comportant comme des boîtes aux lettres collectant les données des Box et les relayant vers le serveur par Internet. L'intérêt était que les Box pouvaient communiquer avec les Spots en WiFi et cela levait la contrainte de l'utilisation du réseau de téléphonie mobile cellulaire. Ces Spots ont été mis de côté pour plusieurs raisons. D'abord, le coût des communications cellulaires a chuté de manière très importante. De plus, le raccordement des Spots à Internet et surtout leur installation dans l'infrastructure routière est toujours aussi complexe et coûteux, tandis que des réseaux WiFi ouverts ne sont pas encore fortement déployés. Enfin, la technologie WiFi 802.11p, développée en particulier pour les applications automobiles, n'est pas encore mature : les équipements sont volumineux, très coûteux, et encore au stade de prototypes. Au passage, ceci nous a amené à ne pas développer de méthodologie pour le placement des PUMAS Spots.

Nous avons tout de même tenu à valider la possibilité que la PUMAS Box communique en WiFi, car il est envisageable que les infrastructures soient de plus en plus équipées de tels réseaux dans le futur. Nous avons utilisé la technologie 802.11n, bien plus mature et accessible que le 802.11p. Les tests de transmission de données entre une PUMAS Box dans une voiture en mouvement et un point d'accès WiFi fixe ont montré que cette connexion était suffisante, ce qui laisse espérer de très bonnes performances avec le 802.11p, théoriquement plus adapté.

## 2.5 Cartographie et Map Matching

Le développement « cartographique et map matching » est le premier traitement de la PUMAS Box. Il a pour objectif de localiser la PUMAS Box sur une cartographie routière numérique. Ce traitement est crucial pour la suite du traitement car il permet la géolocalisation cohérente (dans un référentiel cartographique commun) des données de trafic et autorise ainsi la mise en œuvre des traitements spécifiques à PUMAS (p. ex. PUMAS Points).

Ce traitement va être présenté en trois sous chapitres, premièrement le « Traitement cartographique » puis la « Gestion d'erreur » et enfin les résultats de validation du traitement.

### 2.5.1 Traitement cartographique

Le module « Traitement Cartographique » produit des hypothèses de localisation en fonction des informations données par le GPS (position, vitesse et cap) et avec la cartographie embarquées CAORTO. Le module applique à ces informations l'algorithme nommé « map-matching », décrit précisément dans les spécifications détaillées

Afin de bien illustrer le résultat produit par l'algorithme, ci-dessous nous observons sur un exemple, deux hypothèses de localisation affichées, l'une en bleu et l'autre en rouge, puis, symbolisées en vert, trois informations données par le GPS : la position, le cercle d'erreur d'incertitude et le vecteur direction/vitesse. Nous remarquons bien que le vecteur représentant la vitesse à la même orientation que les deux routes hypothétiques. Ainsi les deux résultats semblent a priori corrects.

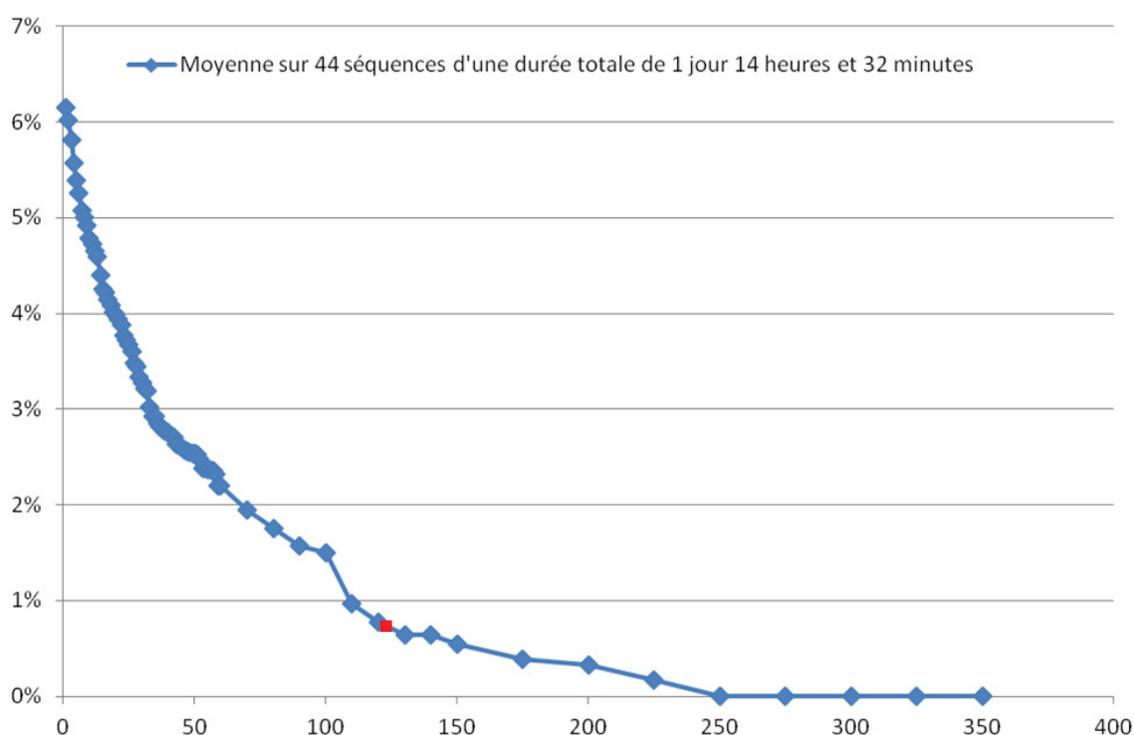


*Illustration d'un résultat de localisation avec deux hypothèses de map-matching.*

Pour remédier à cette incertitude entre plusieurs hypothèses nous allons utiliser un module en aval nommé « gestion d'erreur ».

Le module « gestion d'erreurs » a pour objectif de trouver la bonne hypothèse par rapport à l'historique des positions précédentes. Ce module repose donc sur la conservation d'un historique des matching hypothétiques pendant une durée maximale. Lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté, la fonction renvoie directement la bonne hypothèse et n'introduit pas de latence. S'il y a une ambiguïté, la fonction ne fournit pas de résultat et attend de nouvelles données pour tenter une nouvelle résolution. Enfin, si la fonction n'a pas pu résoudre les ambiguïtés pendant la durée maximale de temps, elle émet les données les plus probables avec un indice de qualité amoindrie. L'algorithme de ce module est décrit plus précisément dans les spécifications détaillées.

Une durée maximale « trop faible » peut se traduire par beaucoup de données avec un indice de qualité médiocre. Par contre une « très grande » durée d'acquisition des informations augmente la latence entre deux données utiles. Ce module nécessite donc une optimisation du paramètre « durée maximum de l'historique » c'est-à-dire la taille de la mémoire tampon dans laquelle le module garde l'historique des positions quand les hypothèses ne peuvent se résoudre directement. Il convient donc de trouver un bon compromis entre l'efficacité et la latence. Une étude a été menée pour trouver la bonne valeur de ce paramètre. Le graphique ci-dessous montre l'erreur (%) par rapport au temps (secondes) de latence maximum accordé au module. Ce graphique a été construit avec les données issues des expérimentations à Rouen (en septembre 2011). A partir de ces résultats nous pouvons choisir un point de fonctionnement judicieux afin d'avoir un minimum d'erreur et un minimum de latence.



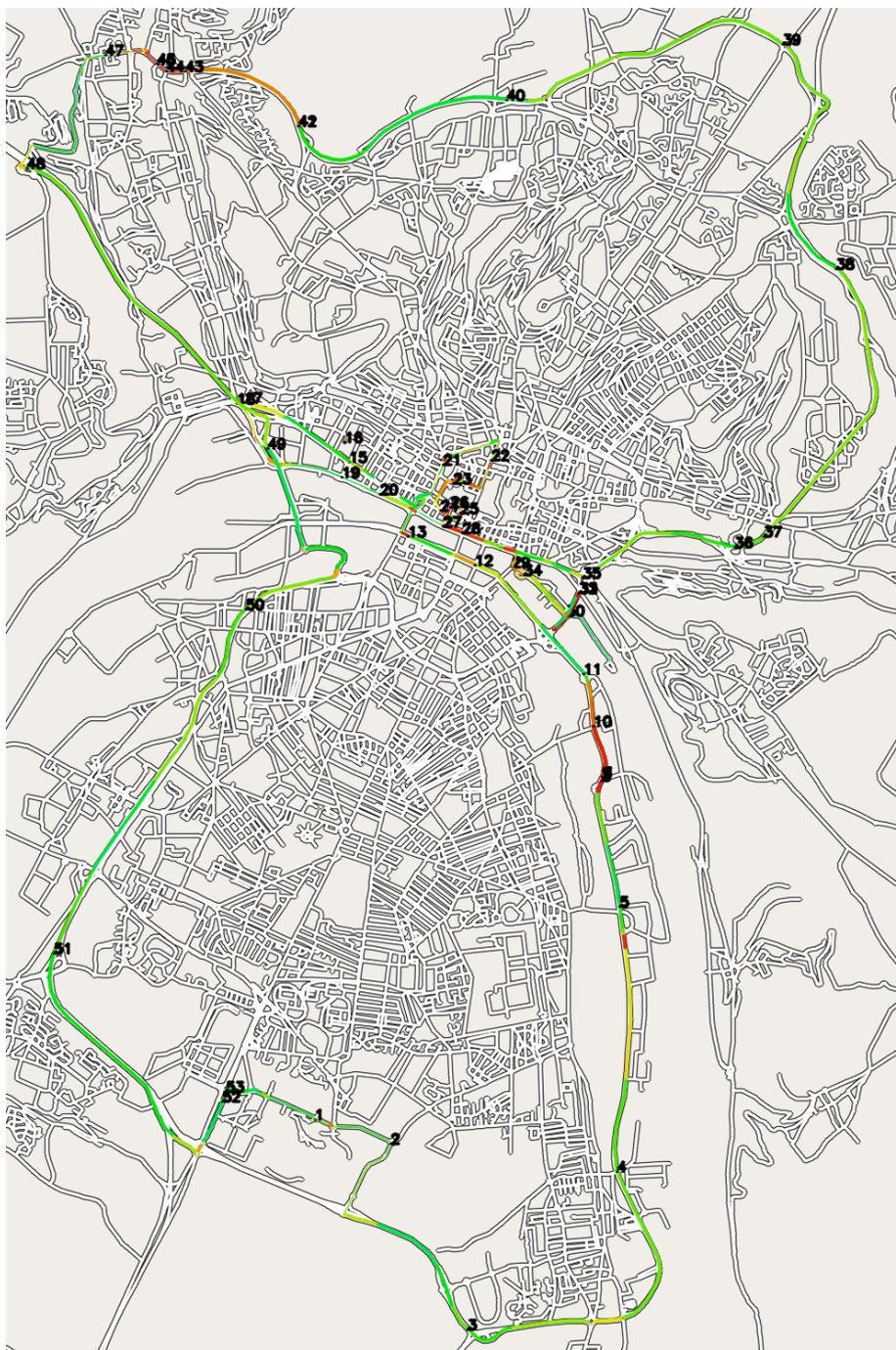
Résultats de l'erreur (%) de map-matching en fonction du temps (en secondes) de latence accordé

Nous avons choisi un point de fonctionnement de 120 secondes (en rouge), soit 2 minutes, pour les expérimentations de mars à aujourd'hui. Ce point de fonctionnement nous paraît le meilleur compromis entre la latence globale et les performances attendues.

### 2.5.3 Résultat de validation

Pour pallier l'absence de serveur propre à PUMAS, un logiciel offline a été développé pour valider le bon fonctionnement de l'algorithme. Cet outil permet de visualiser les PUMAS Messages et donc le map-matching réalisé pendant le parcours du véhicule traceur. L'illustration ci-dessous pointe 53 PUMAS Messages échangés lors d'un trajet qui démarre de l'INSA de Rouen, puis contourne la ville en passant par le centre, et enfin revient à l'INSA.

Le code couleur utilisé permet de visualiser la circulation fluide en vert, en passant par le jaune, l'orange et enfin le rouge pour les congestions. Pour élaborer ce code couleur, nous avons utilisé les informations de durée et de distance contenues dans le dernier Pumas Point inscrit dans les Pumas Messages.



*Illustration d'un trajet dans Rouen effectué pendant les expérimentations.*

Nous remarquons dans cette illustration qu'entre les PUMAS Messages 6 et 10 nous avons une circulation congestionnée. C'est pour cela que les numéros 6, 7, 8 et 9 ne sont pas lisibles car ils sont dessinés les uns par-dessus les autres : le véhicule traceur n'a pratiquement pas avancé dans cette congestion.

Cet outil permet de valider la cohérence des PUMAS Messages (l'ordre, la position, temps de parcours, etc.) de manière visuelle afin de vérifier que le système de la PUMAS Box produit des données correctes.

## 2.6 Tests et expérimentations

Le processus de conception du projet PUMAS a comporté plusieurs itérations. A l'issue de la phase d'intégration, nous avons eu une phase de validation. Cette phase de validation avait pour objectif de s'assurer du bon fonctionnement du système dans des conditions proches de son utilisation finale. Elle était basée sur une expérimentation avec trois véhicules instrumentés. Cette expérimentation nous a permis d'obtenir des données terrains en quantités suffisantes pour calibrer puis analyser le comportement des algorithmes de reconstruction du trafic.

Puis une deuxième expérimentation a été réalisée avec des boîtiers PUMAS Box de pré-série dans quatre voitures. Cette deuxième série a été réalisée sur une durée plus longue et avait pour objectif de valider le comportement des boîtiers en situation réelle.

Enfin une dernière série d'expérimentation sur des véhicules banalisés a été réalisée avec la collaboration de la société Induct, entre les mois de juillet et octobre 2012

### 2.6.1 Expérimentations sur 3 véhicules instrumentés

#### 2.6.1.1 Les définitions des itinéraires

La première série de tests a eu lieu fin septembre 2011, sur le territoire Rouennais, sur une période 3 jours, décomposés de la façon suivante :

- ➔ Matin : période trafic dense 7h - 9h30
- ➔ Journée : période trafic fluide 9h30 - 16h30
- ➔ Soirée : période trafic dense 16h30 - 19 h

Les itinéraires ont été choisis de façon à ce que les trajets effectués par les véhicules respectent les quatre contraintes suivantes :

1) **Contrainte boîtiers PUMAS Box**: Afin de tester le bon fonctionnement des boîtiers une grande variété de situations géographiques doit être analysée : autoroutes, rue larges, ruelle avec effet canyon possible, rue avec grande densité (centre ville), passage de pont (dessus, dessous), route parallèles très proches, tunnel, tous les obstacles possibles dans la ville de Rouen.

2) **Contrainte Coyote** : Les itinéraires doivent passer par les grands axes, et le centre historique (rive droite, rive gauche) de Rouen, où la probabilité de rencontrer des Coyote est plus importante.

3) **Contrainte relative à la validation de l'algo-traffic** : il est souhaitable de passer devant un maximum de BM.

4) **Contrainte pour valider la reconstruction du temps de parcours** : il faut effectuer quelques itinéraires types dans l'agglomération de Rouen.

Ainsi, les itinéraires sont définis en 3 parties pour respecter les contraintes. La première partie emprunte les grands axes pour entrer dans le centre de Rouen Rive-Droite. La deuxième partie est un parcours dans le centre ville, pour mettre en défaut les GPS. La troisième partie est un retour vers l'INSA de Rouen, en empruntant à nouveau les grands axes.

#### 2.6.1.2 Les moyens humains

Afin de mener à bien ces expérimentations, le laboratoire LITIS EA4108 de l'INSA de ROUEN a mobilisé **une trentaine de personnes durant trois jours**. Les trois voitures, mises à disposition par l'Ecole des Mines de Paris, ont roulé durant les trois jours, de 7h à 20h. Dans chaque voiture il y avait un conducteur et un co-pilote. Le co-pilote était chargé du respect de l'itinéraire et devait noter tous les événements rencontrés durant le trajet.

Les partenaires du projet ont également participé aux expérimentations :

- ➔ Egis, Inria, ARMINES : mise en place des tests ;
- ➔ INDUCT : mise en place des PUMAS Box ;
- ➔ INTEMPORA : installation et suivi pendant les trois jours ;
- ➔ LITIS INSA\Université de Rouen : coordination et suivi des tests ;
- ➔ PIC INSA : suivi et participation ;
- ➔ Université de ROUEN, INSA, IRSEEM, Inria : participation aux tests.

La mobilisation de cette équipe a ainsi permis aux partenaires du projet PUMAS d'obtenir des enregistrements de près de **90h de conduite, ce qui correspond à environ de 4 hommes-mois.**



*Une partie de l'équipe et les voitures ayant permis la réalisation des essais*

#### 2.6.1.3 Les moyens matériels

---

Avant d'effectuer ces expérimentations, nous avons validé les Dossiers de Test de Validation (DTV) et les tests d'intégration. Nous avons alors disposé du matériel suivant :

- ➔ 3 véhicules Citroën C3 LaRA avec leurs systèmes embarqués constitués de : PC avec RT maps, une PUMAS-BOX relié au PC et en communication avec le serveur, un GPS corrigé, une caméra couleur positionnée au niveau du pare brise, un boîtier Coyote®.
- ➔ Des modes de transmission de type Wifi et GPRS.
- ➔ Un serveur de donnée pour récupérer les données des PUMAS Box, pour archiver les données datées.

#### 2.6.1.4 Déroulement de l'expérimentation

---

##### **A. Journée du lundi 26 septembre 2011 :**

- ➔ 11h00 : Arrivée des partenaires avec les véhicules et réunion de lancement des expérimentations.
- ➔ 14h30 : Départ des voitures, 7 parcours différents seront réalisés au cours de la journée.
- ➔ Problème mécanique sans gravité rencontré au cours de l'après-midi avec une des voitures.

→ 19h20 : Fin de la journée.

#### **B. Journée du mardi 27 septembre 2011**

- 8h30 : Départ avec mise à jour préalable des PUMAS Box.
- 19 parcours différents seront effectués au cours de la journée en circulation fluide.
- Un test a été effectué avec un iPhone 3G + un boîtier Coyote
- Peu d'événements – Circulation dans Rouen sur les mêmes itinéraires
- 19h00 : Fin de la journée

#### **C. Journée du mercredi 28 septembre 2011**

- 7h40 : Départ, circulation difficile.
- 12 parcours différents seront effectués au cours de la journée.
- 15h00 : Fin des expérimentations et réunion de clôture
- 16h00 : Retour à l'Inria avec enregistrement des trajets.

Au cours de ces trois jours, plus de **1400 km ont été parcouru dans la ville de Rouen et près de 4Go de données ont été recueillies..**

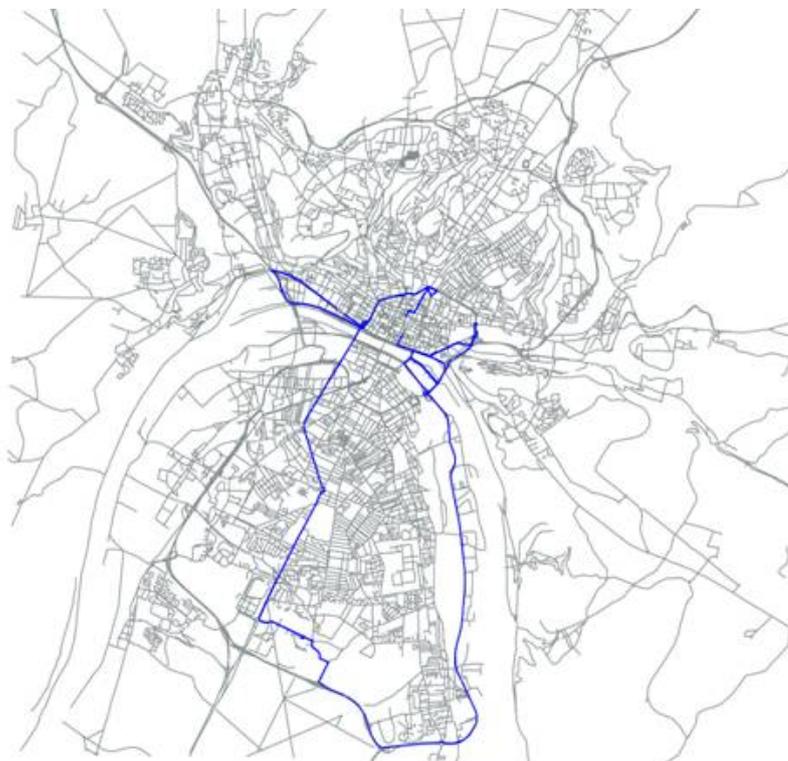
#### **2.6.1.5 Analyse des résultats**

---

Les données issues de l'expérimentation sont exploitables. Nous disposons maintenant d'une très bonne base de travail. Dans cette base, nous avons une grande diversité d'événements comme par exemple des congestions dues à un trafic dense, à des travaux, ou à des déviations. De plus, la vidéo installée dans les véhicules permet de confirmer ces événements.

Ces données permettent de finaliser puis de calibrer les algorithmes de pré-traitement et de vérifier les premiers résultats avec l'algorithme trafic. L'INSA de Rouen a présenté les premiers résultats des données mis en correspondance avec son algorithme.

Ces premiers résultats valident le fonctionnement des algorithmes de mise en correspondance et les algorithmes de reconstruction de données PUMAS à partir des données Coyote. Nous pouvons observer le résultat de la mise en correspondance pour un trajet avec la figure ci-dessous.



### *Reconstruction du trajet réalisé à l'aide des données issues des expérimentations*

La diversité des situations enregistrées et la grande quantité de donnée, nous ont permis d'améliorer les algorithmes de pré-traitement.

## 2.6.2 Expérimentation des boîtiers PUMAS « Pré Série »

Suite à la première expérimentation, nous avons décidé d'analyser le comportement des boîtiers sur une longue durée et en situation réelle. Nous avons donc mis en place une deuxième expérimentation. Les objectifs de cette expérimentation étaient les suivants :

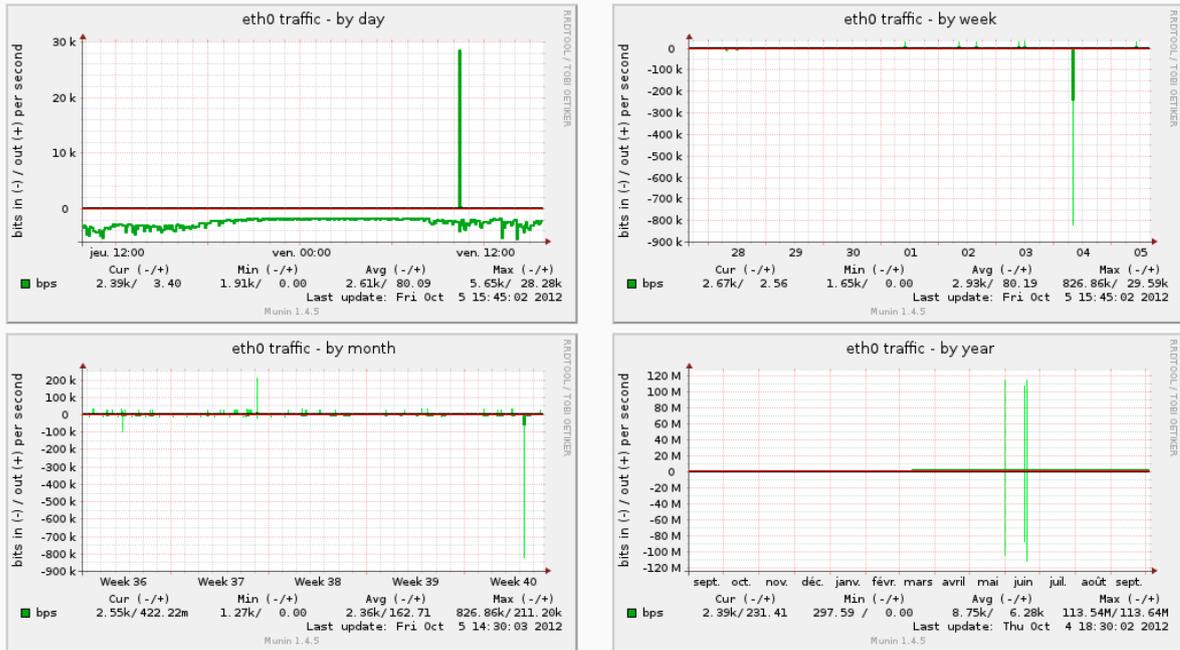
- ➔ Analyse du fonctionnement des boîtiers et validation des boîtiers
- ➔ Validation de la base de donnée coyote
- ➔ Validation du serveur de sauvegarde.

### 2.6.2.1 Le serveur de sauvegarde

Pour réaliser cette deuxième expérimentation, L'INSA de ROUEN, avec la collaboration d'Intempora à réaliser un serveur de sauvegarde de données. Les fonctions qui doivent être assurées sont les suivantes :

- ➔ Récupération des PUMAS Messages via le réseau GSM
- ➔ Ordonnancement de ces données
- ➔ Sauvegarde des données,
- ➔ Fonction de consultation à distance
- ➔ Sécurisation du serveur (intrusion, panne électrique ..)

Nous pouvons ainsi vérifier le fonctionnement du serveur à distance comme nous le montre la copie d'écran ci-dessous :

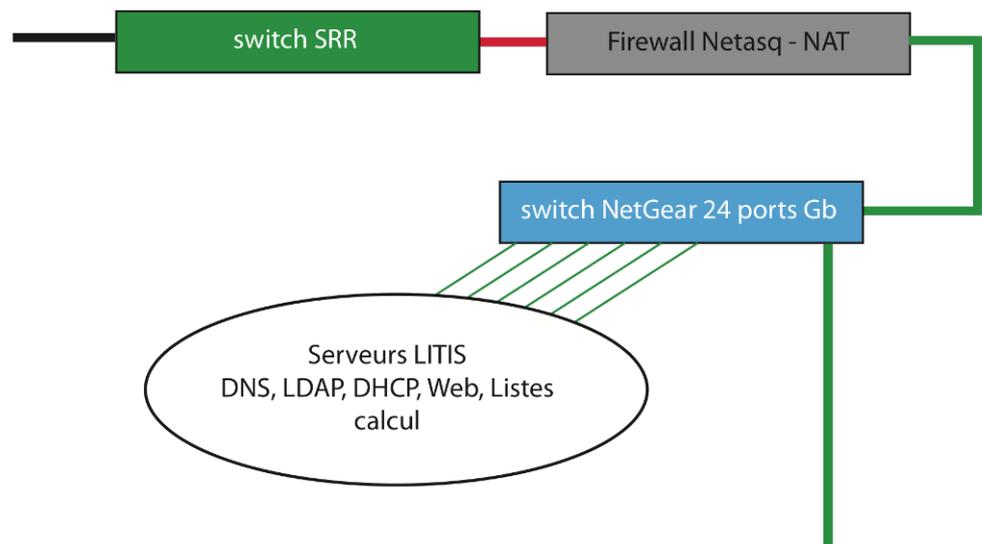


This graph shows the traffic of the eth0 network interface. Please note that the traffic is shown in bits per second, not bytes. IMPORTANT: On 32 bit systems the data source for this plugin uses 32bit counters, which makes the plugin unreliable and unsuitable for most 100Mb (or faster) interfaces, where traffic is expected to exceed 50Mbps over a 5 minute period. This means that this plugin is unsuitable for most 32 bit production environments. To avoid this problem, use the ip\_ plugin instead. There should be no problems on 64 bit systems running 64 bit kernels.

Field	Internal name	Type	Warn	Crit	Info
bps	up	counter			Traffic of the eth0 interface. Maximum speed is 100 Mbps.

### Analyse des entrées/sorties du serveur INSA

- VLAN public : 427 █
- VLAN privé : 428 █
- switch INSA - propagation des VLAN
- switch interne LITIS



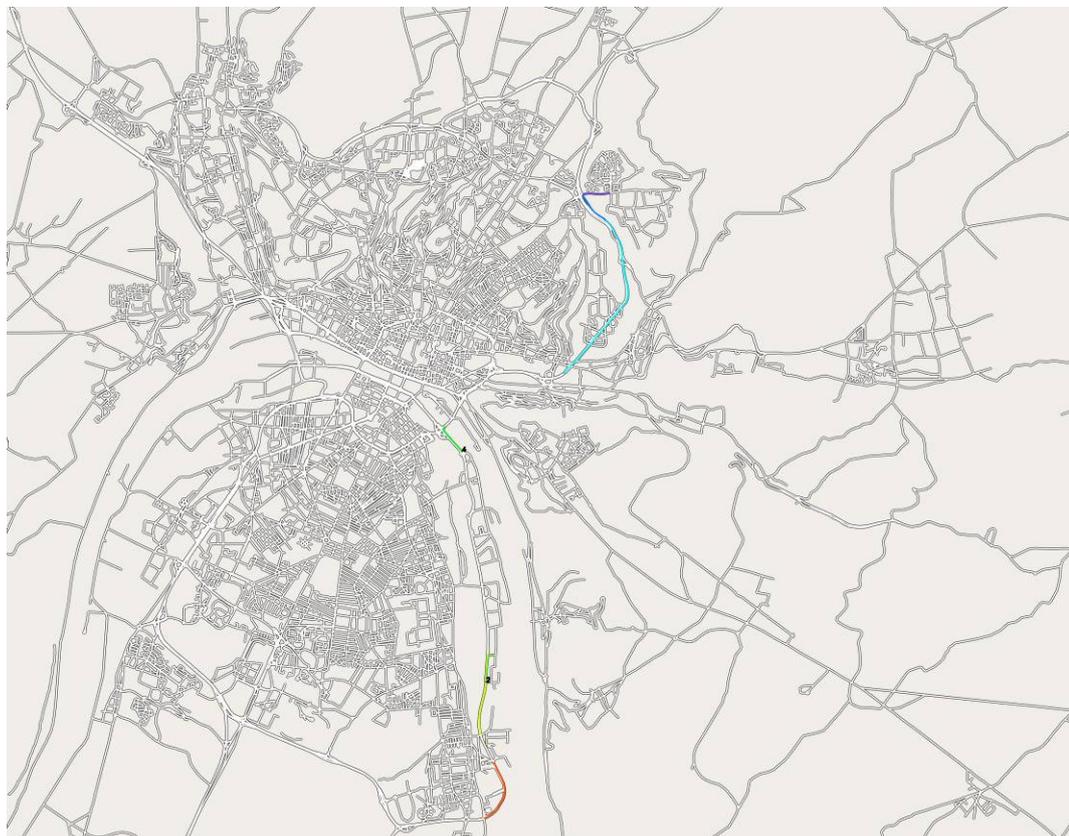
### Localisation du serveur LITIS INSA dans le réseau du laboratoire

Le serveur a été placé sur le réseau du Litis. Une adresse publique lui a été allouée pour qu'il soit visible sur internet. Il a été nécessaire de reconfigurer le FireWall du laboratoire pour que le serveur reçoive les PUMAS Messages.

### 2.6.2.2 Les boitiers PUMAS-BOX

Les enregistrements des quatre véhicules ont débuté le 4 avril et ont été arrêtés le 30 Juin. Les enregistrements ont été réalisés dans des conditions équivalentes aux conditions réelles d'acquisitions avec une flotte. Les véhicules choisis pour cette expérimentation circulent principalement dans la CREA et à différents horaires.

De plus un véhicule était équipé d'un boîtier de type "Coyote". Cela a permis de comparer sur une longue période les mesures effectuées avec un système intelligent, tel que les PUMAS-BOX et une mesure éparse. Un exemple d'enregistrement de PUMAS-BOX est donné ci-dessous :



*Trajet Complet entre le sud et le nord de Rouen*



*Détail d'un parcours*

Les données ont été communiquées aux différents partenaires, INTEMPORA et ARMINES, pour qu'il puissent améliorer leurs résultats. Il ressort de cet essai que la mise à jour de la carte embarquée est un élément important pour le bon fonctionnement des PUMAS Box.

### 2.6.3 Expérimentation avec une flotte de véhicule

Depuis juillet 2012, Induct a installé des PUMAS Box dans des véhicules banalisés. Le serveur de l'INSA de Rouen a donc recueilli une nouvelle série de données issues :

L'objectif de cette expérimentation était donc de :

- ➔ Valider les modifications logiciels et matérielles des PUMAS Box
- ➔ Valider le système d'acquisition
- ➔ Recueillir des données pour valider les algorithmes.

## 2.7 Evaluation et analyse de données

L'objectif de ce sous-système est de mettre en évidence l'aptitude des algorithmes à prédire l'état du trafic ainsi que les temps de parcours sur les sections et sur les itinéraires. Pour cela, le traitement effectué au niveau de ce module porte sur l'analyse des erreurs d'estimation des temps de parcours sur des sections et des itinéraires en temps réel et en temps différé.

### 2.7.1 Calcul des erreurs d'estimations

Soit  $\Pi$  l'ensemble des itinéraires  $\pi$ , et un itinéraire  $\pi$  comporte plusieurs sections  $s$ . Pour chaque section  $s$  ou itinéraire  $\pi$  et pour chacun des deux algorithmes nous calculons l'erreur d'estimation relative, c'est-à-dire le pourcentage d'erreur par rapport au temps de parcours mesuré par le véhicule PUMAS. Pour cela nous utilisons la formule suivante :

$$\delta_{\pi} = \frac{(TP_{estimé,\pi} - TP_{mesuré,\pi})}{TP_{mesuré,\pi}}$$

L'erreur quadratique moyenne relative EQMR, calculée sur l'ensemble des itinéraires de  $\Pi$ , sera prise pour métrique, selon la formule :

$$EQMR(\Pi) = \sqrt{\frac{\sum_{\pi} (TP_{estimé,\pi} - TP_{mesuré,\pi})^2}{\sum_{\pi} TP_{mesuré,\pi}^2}}$$

D'autre part, chaque estimation de temps de parcours section issue de l'algorithme Trafic étant assortie d'un Indicateur de Qualité (IQ), on calculera un IQ pour chaque itinéraire de la manière suivante:

$$IQ_{\pi} = \frac{\sum_s IQ_s \times TP_s}{TP_{\pi}}$$

où  $s$  désigne une section générique de  $\pi$ .

### 2.7.2 Conception du sous-système Évaluation et Analyse

Le sous-système est divisé en deux sous-systèmes: un sous-système d'évaluation et un sous-système d'analyse. Pour définir le périmètre de nos deux sous systèmes nous avons établi le diagramme de cas d'utilisation qui décrit l'interaction entre l'utilisateur et le module. Le diagramme est représenté ci-dessous :



Diagramme de cas d'utilisation pour le sous-système évaluation et analyse

L'évaluation s'effectue en temps réel. Les données permettant de réaliser cette évaluation proviennent de la base des données d'archivage. Ce sous système fourni les erreurs d'estimations en temps réel sur les sections ayant des données PUMAS et sur itinéraires. L'utilisateur peut aussi consulter les erreurs d'estimation sur sections et sur itinéraires sur une période de 24 heures. Les erreurs moyennes sont affichées graphiquement en temps réel, pour chacun des deux algorithmes.

Le sous-système d'analyse comprend deux parties : analyse en temps réel et analyse en temps différé. Pour l'analyse en temps réel, elle complète simplement la partie évaluation. Pour l'analyse en temps différé, l'utilisateur peut consulter les erreurs d'estimation sur une section ou sur un itinéraire pendant une période choisie. Il peut aussi obtenir les statistiques des erreurs pour une section et un itinéraire donné, en fonction de la localisation, des horaires, des événements etc.

Les traitements réalisés dans ces deux sous systèmes se basent sur les données issues des deux algorithmes stockés dans la base de données « Archivage ». Nous avons opté, pour faciliter le traitement en temps différé, de créer une base de données « Locale » qui n'est rien d'autre que la base Archivage à 24 heures près.

Pour résumer, nous avons décidé d'utiliser la base Archivage pour le sous-système évaluation et pour le sous-système analyse en temps réel et la base Locale pour l'analyse en temps différé.

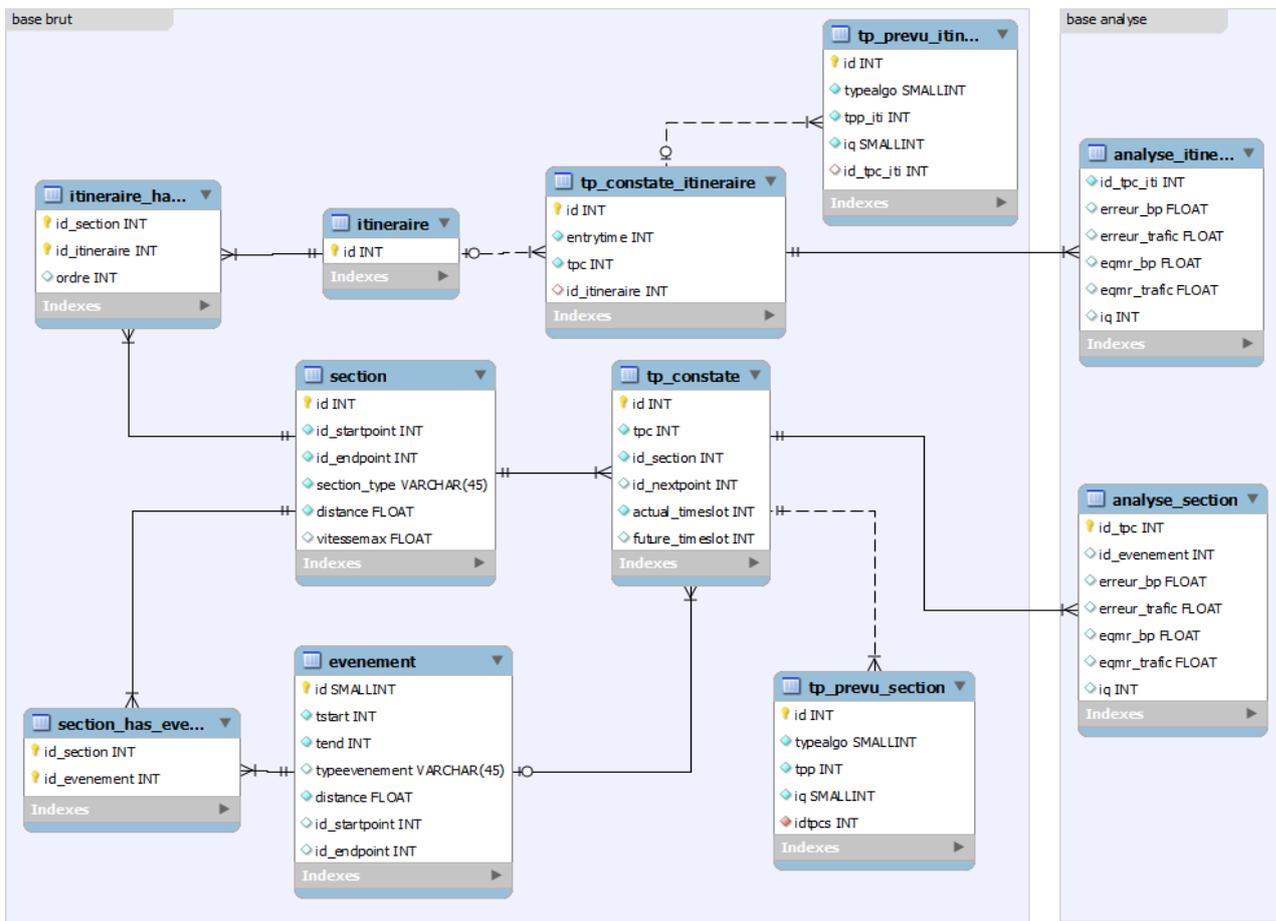
### 2.7.3 Conception de la base de données Locale

Pour effectuer l'analyse en temps différé, nous avons opté pour une base de données Locale. L'utilisation d'une base Locale permet d'apporter les avantages suivants :

1. Eviter un trop grand nombre d'accès à la base de données d'archivage ;
2. Augmenter l'efficacité des requêtes ;
3. Structurer les données pour répondre au mieux à l'opération d'analyse.

### 2.7.3.1 Modélisation la base Locale

Les tables de la base Locale sont alimentées par les données de la base Archivage. Une phase de transformation peut être nécessaire. De nouvelles tables sont insérées dans la base Locale telle que les tables stockant les erreurs d'estimation sur les sections et sur les itinéraires. Le modèle UML suivant représente un schéma de la base Locale proposé.



Le diagramme de base de données locale

La base Locale contient les tables suivantes:

- ➔ section : la table stocke les informations des sections.
- ➔ itineraire : la table contient les itinéraires prédéfinis.
- ➔ tp\_constate et tp\_constate\_itineraire: les tables stockent les temps de parcours réalisés sur des sections et des itinéraires.
- ➔ tp\_prevu et tp\_prevu\_itineraire: les tables contiennent les temps d'estimation, fournis par les deux algorithmes, pour les sections et pour les itinéraires.
- ➔ evenement : la table contient les informations sur les événements.
- ➔ analyse\_section: la table contient les erreurs d'estimation sur sections.
- ➔ analyse\_itineraire : la table contient les erreurs d'estimation sur itinéraires.

Le calcul des erreurs se base sur les données brutes. Les différentes tables sont mises à jour toute les 24 heures via un script d'alimentation.

Les différentes tables de la base de données Locale sont alimentées par les données de la base Archivage directement ou après traitements. Plus particulièrement les tables analyse\_section et analyse\_itineraire, ont besoin des données qui doivent être calculées (erreurs d'estimation). Des scripts ont été développés pour alimenter les tables analyse\_section et analyse\_itineraire. Ils se basent sur les fonctions suivantes :

- ➔ calcul\_erreur() : la fonction pour calculer l'erreur d'estimation
- ➔ calcul\_eqmr() : la fonction pour calculer l'erreur quadratique moyenne relative
- ➔ insert\_analyse\_section() : la fonction pour insérer un enregistrement dans la table analyse\_section en utilisant les résultats provenant des fonctions calcul\_erreur et calcul\_eqmr
- ➔ update\_analyse\_section() : pour la mise à jour des données de la table analyse\_section
- ➔ insert\_analyse\_itineraire() : la fonction pour insérer un enregistrement dans le table analyse\_itineraire en utilisant les résultats provenant des fonctions calcul\_erreur et calcul\_eqmr
- ➔ update\_analyse\_itineraire() : pour la mise à jour des données de la table analyse\_itineraire

Les fonctions update\_analyse\_section et update\_analyse\_itineraire sont exécutées quotidiennement pour mettre à jour la base locale. La figure ci-dessous présente un exemple de la table analyse\_section.

	id [PK] serial	id_tpc integer	id_evenem integer	erreur_bp double pre	erreur_tra double pre	eqmr_bp double pre	eqmr_trafi double pre	iq integer
1	14	1		0.05714285	0.08571428	0.05714285	0.08571428	56
2	15	2		-0.1	0	0.07821538	0.06507913	45
3	16	3		0.09375	0.0625	0.08358435	0.06425180	89
4	17	4		-0.58333333	-0.25	0.58333333	0.25	57
5	18	5		0.05714285	0.11428571	0.07709874	0.08142534	88
6	19	6		0.05882352	0.11764705	0.07365429	0.09020771	75
7	20	7		-0.06060606	0.15151515	0.07167096	0.10283781	67

Un exemple de la table analyse\_section

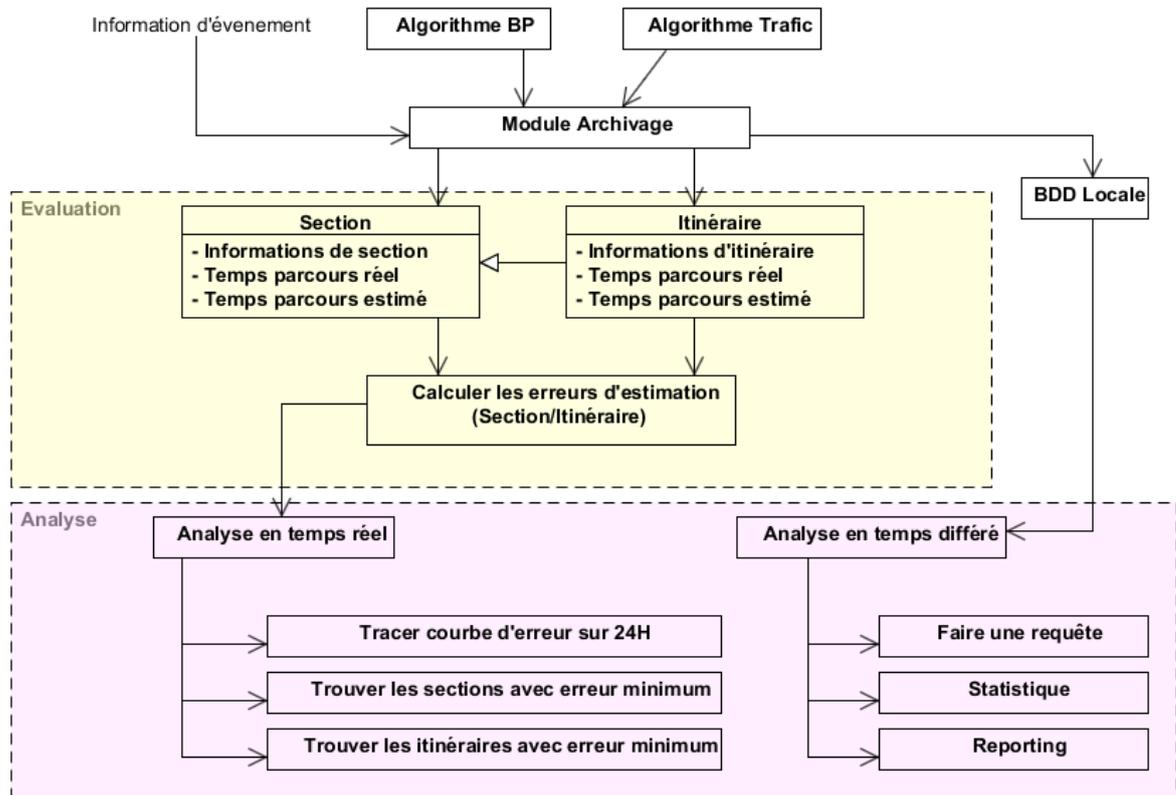
## 2.7.4 Environnement du développement

Pour développer notre sous système nous avons opté pour l'environnement de développement suivant :

- 1- Système d'exploitation LINUX (Ubuntu 10.10)
- 2- Système de base de données PostgreSQL 8.4.
- 3- Langage de développement Java (JDK1.7 et Struts1.3)

## 2.7.5 Les fonctions du sous-système Évaluation et Analyse

Le diagramme fonctionnel de notre sous système est représenté dans la figure ci-dessous. Les fonctions du sous-système Évaluation et Analyse sont divisées en deux blocs : le bloc des fonctions en temps réel et le bloc les fonctions en temps différé.



Le diagramme fonctionnel de sous-système

### 2.7.5.1 Fonctions en temps réel

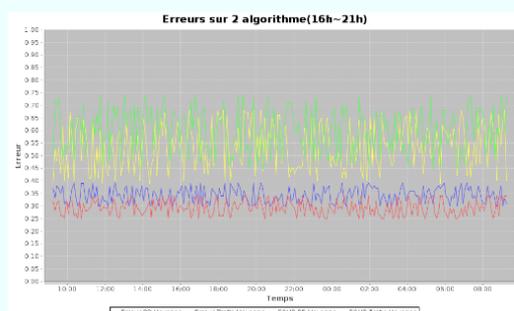
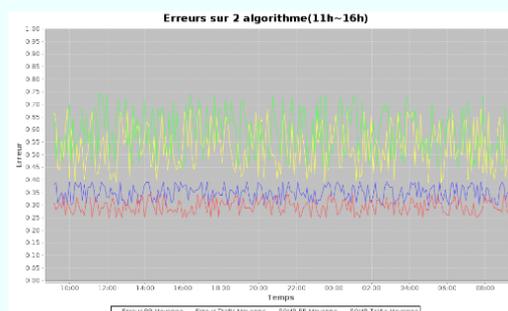
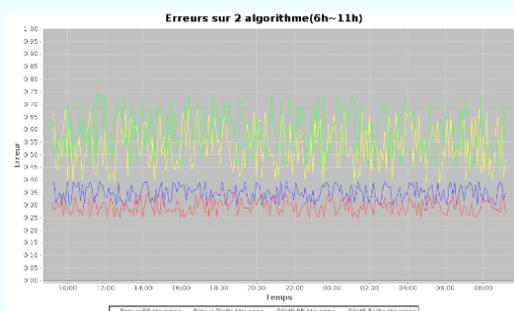
Les fonctions en temps réel sont :

- ➔ Calculer les erreurs d'estimation : Récupérer les données venant du module d'archivage pour calculer les erreurs d'estimation sur toutes les sections et itinéraires.
- ➔ Tracer les courbes d'erreur sur 24H : tracer les courbes qui représentent les erreurs d'estimation pour chaque algorithme sur les sections et les itinéraires
- ➔ Trouver les sections avec erreur minimum : afficher les sections avec les erreurs d'estimation minimum pour les dernières 24 heures.
- ➔ Trouver les itinéraires plus petites erreurs : afficher les itinéraires avec les erreurs d'estimation minimum pour les dernières 24 heures.

Les données de fonctions en temps réel proviennent directement des bases de données des algorithmes BP et Trafic. Un module d'alimentation permettra de récupérer les données à des intervalles réguliers (6 minutes). Les données sont ensuite agrégées pour fournir une erreur moyenne. Une représentation graphique de l'évolution des erreurs dans le temps est affichée. Ces fonctions exploitent les données issues des PUMAS sections ayant des données, et pour un ensemble d'itinéraires définis au préalable.

Les tests réalisés sur des jeux de données, sont représentés dans la suite de ce paragraphe. Les sections sont évaluées sur 24 heures. Nous avons divisé 24 Heures en quatre tranches : 6h -11h, 11h-16h, 16h-21h, 21h-6h pour observer les courbes d'erreur. Pour chaque tranche, on trace un graphique qui affiche les erreurs moyennes et les EQMR moyennes pour toutes les sections.

On affiche ensuite un tableau représentant pour chacun des deux algorithmes et pour chaque type d'erreur (relative ou quadratique) les 10 sections ayant les plus petites erreurs. La période de temps considérée est de 24 heures.

Section/Itinéraire : Section


Les sections avec les plus petites erreurs Trafic						
Section ID	Erreur Trafic	Erreur BP	IQ Trafic	Temps Passé Constaté	Temps Prévu Trafic	Temps Prévu BP
2731	0.015	0.025	13	31 seconds	29 seconds	30 seconds
4638	0.015	0.025	16	32 seconds	30 seconds	31 seconds
1205	0.015	0.025	85	33 seconds	31 seconds	32 seconds
4168	0.015	0.025	0	34 seconds	32 seconds	33 seconds
1017	0.015	0.025	65	35 seconds	33 seconds	34 seconds
4897	0.015	0.025	65	36 seconds	34 seconds	35 seconds
1423	0.015	0.025	89	37 seconds	35 seconds	36 seconds
1682	0.015	0.025	55	38 seconds	36 seconds	37 seconds
2118	0.015	0.025	64	39 seconds	37 seconds	38 seconds
3777	0.015	0.025	44	40 seconds	38 seconds	39 seconds

*L'interfaçage d'évaluation les sections en temps réel (données fictives)*

Dans la figure ci-dessus, la courbe rouge et la courbe bleue représentent les erreurs moyennes des algorithmes BP et Trafic. La courbe verte et la courbe jaune représentent les erreurs quadratiques moyennes des algorithmes BP et Trafic.

### 2.7.5.2 Fonctions en temps différé

Les fonctions en temps différé sont :

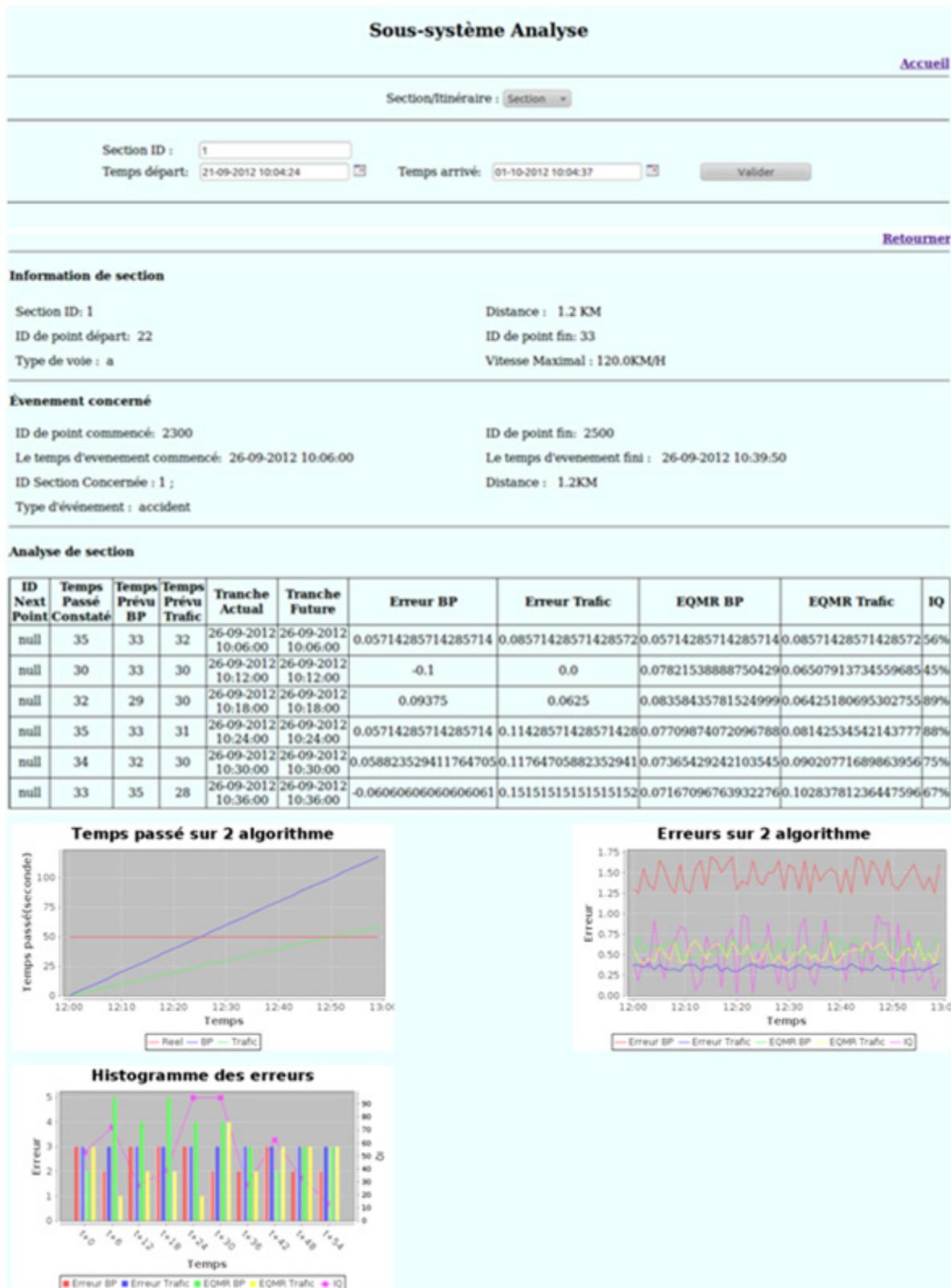
- ➔ Faire une requête : cette fonction permet à partir de l'identifiant d'une section ou d'un itinéraire et pour une tranche horaires donnée d'obtenir les informations correspondantes à l'état du trafic.
- ➔ Statistiques: le système récupère les informations portant sur une section ou un itinéraire pendant une période de temps donnée. Il affiche ensuite les temps de parcours constatés et prévus ainsi que les différentes erreurs d'estimation pour les deux algorithmes. Les différentes informations sont représentées sous forme de graphiques.

Les graphiques choisis pour représenter les erreurs sont :

- ➔ Une courbe représentant l'évolution des temps de parcours réalisés et des temps de parcours estimés (BP et Trafic) pour une période donnée.

- ➔ Une courbe présentant les erreurs d'estimations (relative et quadratique) pour les deux algorithmes (BP, Trafic) pour une période donnée.
- ➔ Une courbe qui représente la répartition des erreurs et l'évolution de l'IQ pour une période donnée.

La figure ci-dessous présente un exemple d'analyse en temps différé d'une section en une période choisie.



Un exemple d'analyse d'une section pendant une durée donnée (données fictives)

Sur la figure ci-dessus, il y a trois graphiques. Sur premier graphique, la courbe rouge représente les temps de parcours réalisés, et la courbe bleu et verte représentent les temps de parcours d'estimations calculés par les algorithmes BP et Trafic.

Sur le graphique 'Erreurs sur 2 algorithmes', les courbes rouge et bleu représentent les erreurs d'estimation des algorithmes BP et Trafic, les courbes verte et jaune représentent les erreurs quadratiques des algorithmes BP et Trafic et la courbe rosé détermine la valeur des indicateurs qualités.

Sur le dernier graphique, les séries en rouge et bleu représentent des erreurs d'estimation pour les deux algorithmes. Les séries en verte et jaune représentent des erreurs quadratiques des algorithmes BP et Trafic et la courbe rosé montre la valeur des indicateurs qualités.

#### 2.7.6 Résultat de validation

Pour pallier l'absence du PUMAS server, un logiciel offline a été développé en java pour valider le bon fonctionnement du module analyse. Cet outil offre une interface permettant à l'utilisateur d'afficher les erreurs d'estimations et leur évolution pour n'importe quelle section et n'importe quel itinéraire. Une base de données locale avec des jeux de données a été réalisé en PostgreSQL qui a permis de valider les scripts d'alimentation et les différentes fonctions proposées par le sous système Evaluation et Analyse.

### 3. Bilans financiers

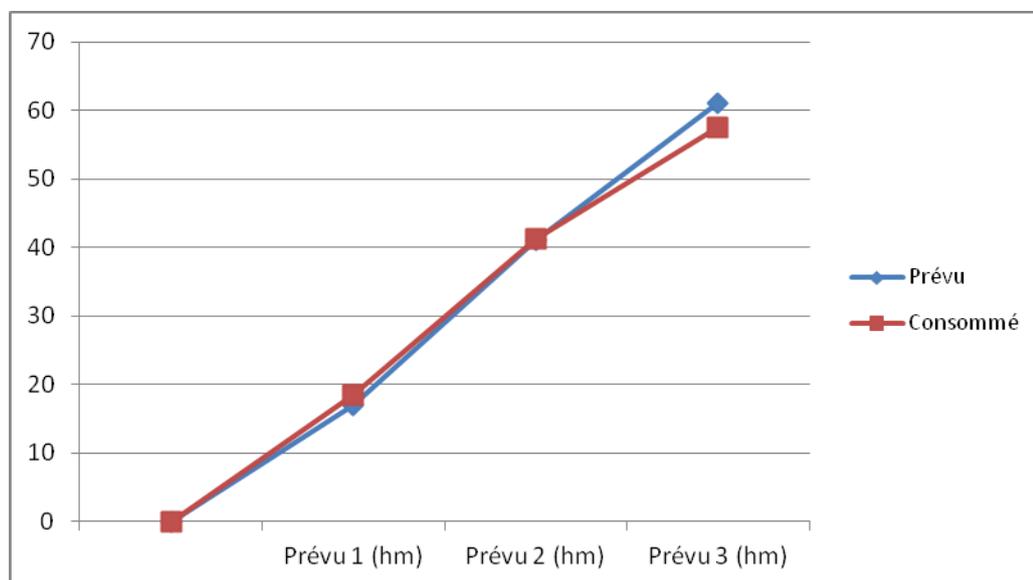
Ce paragraphe présente le bilan complet des charges consommées par l'ensemble des partenaires au terme du projet, soit **au 31 Octobre 2011**.

#### 3.1 ARMINES

Au cours du projet, les tâches d'ARMINES se sont principalement déployées sur :

- La tâche de Spécifications Techniques Détaillées, commencée en première période, s'est poursuivie tout au long du projet à cause des modifications nécessaires identifiées lors des COTEC avec les partenaires mais aussi grâce au suivi et aux relectures des documents émis par les autres partenaires.
- Les études effectuées pour les algorithmes de map-matching et de gestion d'erreur et l'intégration de ces fonctionnalités dans CAORTO afin de les embarquer dans les PUMAS box.
- Les tâches validation des expérimentations. Pour ce faire des efforts ont été consacrés au développement d'un outil qui permet de visualiser les informations envoyées par les PUMAS Box.
- Outre ces tâches planifiées, Armines s'est investi dans l'intégration de matériels et logiciels dans ses voitures C3 LaRA à des fins de validation et de démonstration : cette tâche avait été initialement envisagée pour accélérer les développements mais s'est finalement poursuivie jusqu'à la fin du projet.

Ces travaux représentent un total de **57,5 hommes/mois**. Le graphique suivant illustre la synthèse des ressources temporelles consommées depuis le début du projet en comparaison avec les ressources prévues :



*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

## 3.2 EGIS FRANCE

Dans le cadre du projet PUMAS, EGIS France c'est principalement concentré sur les missions qui lui ont été attribuées :

- Le management du projet dans sa globalité (organisation, suivi, gestion des risques,...),
- Le contact avec les partenaires extérieurs comme la CREA,
- Le suivi et la planification de l'ensemble des tâches,
- L'étude et le développement de l'algorithme trafic,
- Le suivi des groupes d'étudiants PIC,
- Le montage du business model.

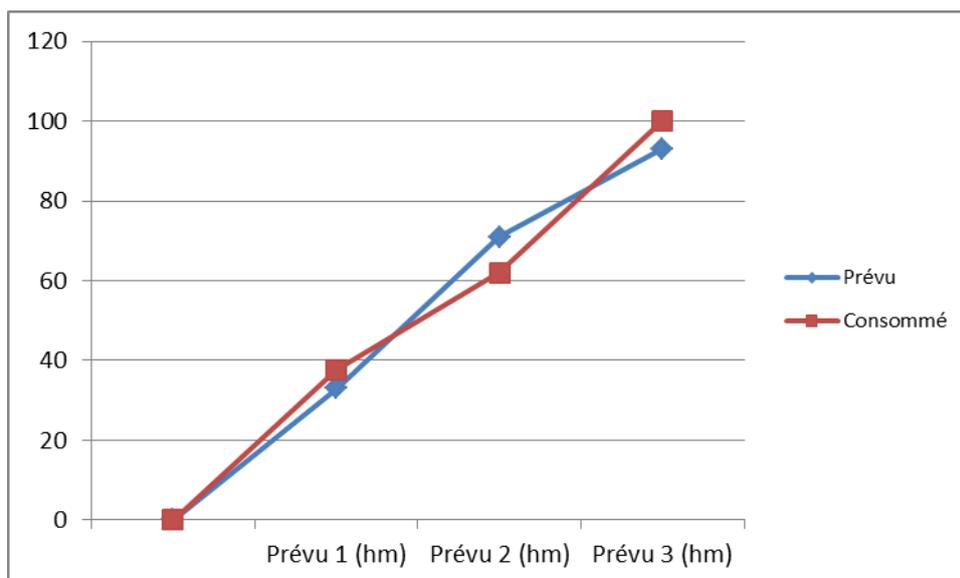
En tant que chef de file, Egis France a mis tout en œuvre afin de mener à bien ce projet. Malgré les quelques difficultés rencontrées comme la perte d'un partenaire en 2011 (société Sodit) ainsi que le peu de véhicules recrutés (par rapport aux exigences initiales), les principaux objectifs ont été tenus.

Au cours de l'année 2012, constituant la dernière phase du projet, Egis s'est tout particulièrement investi sur les actions prioritaires telles que le recrutement des véhicules, les tests, la validation des modules de développement, la mise en place du serveur et la valorisation de la solution PUMAS.

Sur les aspects techniques, Egis France s'est fortement impliqué et notamment sur les parties **Algorithme Trafic** et **Pré-Traitement**. Une tâche importante fut le suivi et l'encadrement des PIC de l'INSA dont les groupes se sont succédés tout au long de ces 3 années de projet. L'investissement de la part d'EGIS a été soutenu dans ce domaine, donnant lieu à de lourdes dépenses (suivi des travaux, organisation des équipes étudiants, vérification des travaux, préparation aux épreuves de soutenances, ...).

Concernant la valorisation du projet, un important travail de recherche a permis la mise en place d'un dossier de « business model » du système Pumas. L'objectif de cette étude étant d'analyser le cout d'investissement et de rentabilité à différentes échelles ainsi que les marchés potentiels.

La consommation EGIS France représente un total de **100.1 hommes.mois** depuis le démarrage du projet. Ces informations sont représentées sous forme d'un graphique dans le schéma ci-dessous.



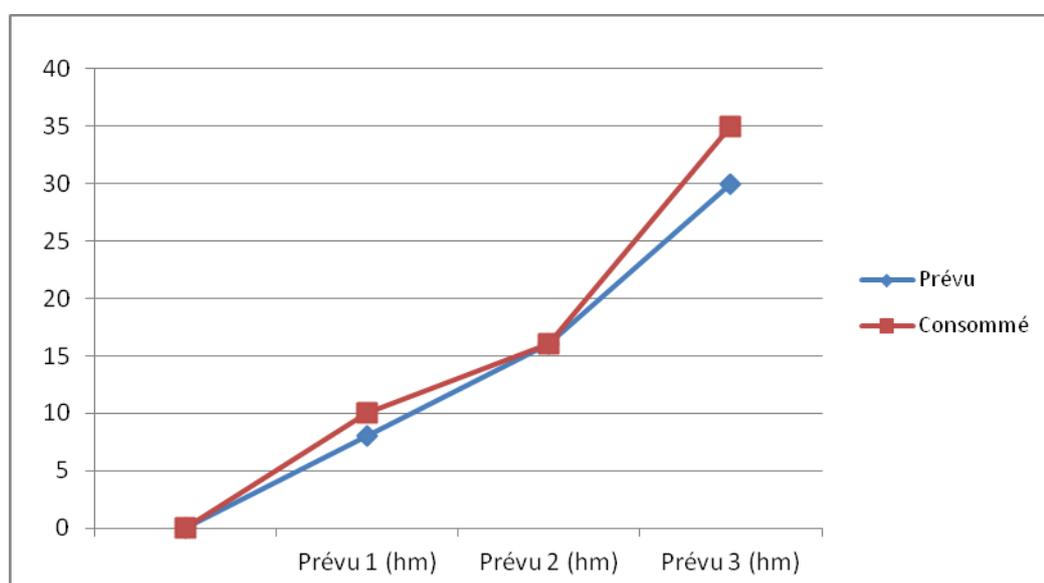
*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

### 3.3 IRSEEM – ESIGELEC

Dans le cadre du projet PUMAS, les tâches de l'IRSEEM ont couvert les points suivants :

- Les Spécifications Techniques Détaillées ont permis de disposer des fonctionnalités précises de la plate forme. Cette tâche effectuée avec tous les autres partenaires est suivie par les relectures des documents émis par les autres partenaires.
- Les études faites dans le but de développer les sous systèmes d'analyse et d'évaluation de la plateforme nous ont permis de définir des algorithmes d'appréciation globale du système PUMAS.
- Les expérimentations auxquelles nous avons participé ont permis d'accélérer le développement des boîtiers PUMAS.

Ces travaux ont représenté un total de **35 hommes.mois**. Le graphique suivant illustre les charges consommées en hommes.mois depuis le début du projet en comparaison avec les ressources prévues :



*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

## 3.4 INDUCT

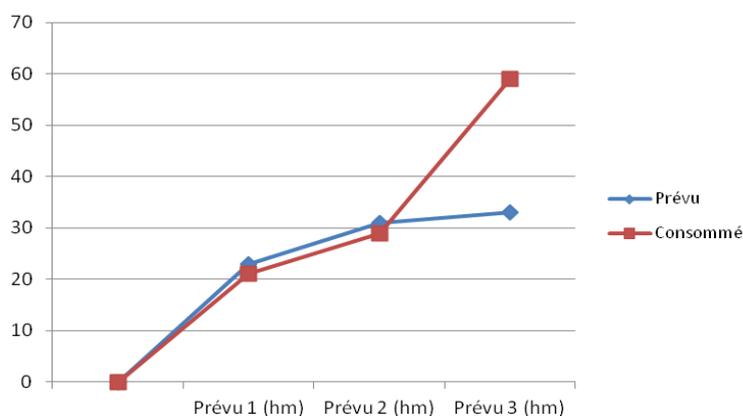
Le bilan des dépenses d'INDUCT dans ce projet fait apparaître des écarts par rapport aux prévisions :

- Les affectations de personnels ont été supérieures aux prévisions en particulier parce qu'INDUCT a dû développer un serveur permettant de tester le fonctionnement et l'installation des PUMAS Box en l'absence du serveur définitif prévu au projet. Ce serveur a aussi permis la mise à jour automatisée des applications embarquées dans les PUMAS Box, incluant RT-Maps pour éviter les interventions physiques sur les véhicules installés. 36 mois d'ingénieur ont été investis alors que 27 étaient prévus et 23 mois de chercheur alors que 6 étaient prévus.
- Les dépenses de matériels PUMAS Box sont inférieures aux prévisions. En effet, malgré l'embauche d'un technicien dédié au recrutement des véhicules depuis novembre 2011, pour pallier au peu de support des institutions locales (CREA – courrier de soutien parvenu au début 2012 seulement, CCI), INDUCT n'est parvenu à recruter que 618 véhicules au cours de l'été 2012. Dans ces conditions seules 270 systèmes ont été fabriqués et la décision de ne pas étendre la durée du projet a imposé de suspendre la fabrication du solde de systèmes.
- Pour les mêmes raisons que ci-dessus, les abonnements de télécommunication ont été réduits et l'activation des 1000 lignes n'a été déclenchée qu'au mois de mars 2012 (pour une période incompressible de 36 mois).

Ainsi au total INDUCT a dépensé 820.020 € au lieu des 943. 346 € prévus soit 87% du total.

	Prévu	Réalisé
Ingénieurs	163 800,00 €	214 560,00 €
Chercheurs	40 950,00 €	154 215,00 €
Techniciens		
<b>Total personnel</b>	<b>204 750,00 €</b>	<b>368 775,00 €</b>
Réalisation de PUMAS Box	330 000,00 €	112 533,00 €
Réalisation de PUMAS Spot	99 000,00 €	0,00 €
Frais de mission	6 000,00 €	6 200,00 €
Abonnements telecom	72 000,00 €	13 650,00 €
Installation PUMAS Box	37 917,50 €	58 828,00 €
Installation PUMAS Spot	18 958,75 €	0,00 €
Encadrement/Assistance	40 950,00 €	73 755,00 €
Part assise sur dépenses personnel	98 280,00 €	177 012,00 €
Part assise sur autres dépenses	35 490,00 €	9 266,81 €
<b>Total</b>	<b>943 346,25 €</b>	<b>820 019,81 €</b>

Les travaux réalisés par Induct représentent donc un total de **59 hommes.mois** illustrés sur le graphisme ci-dessous :



Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel

## 3.5 Inria

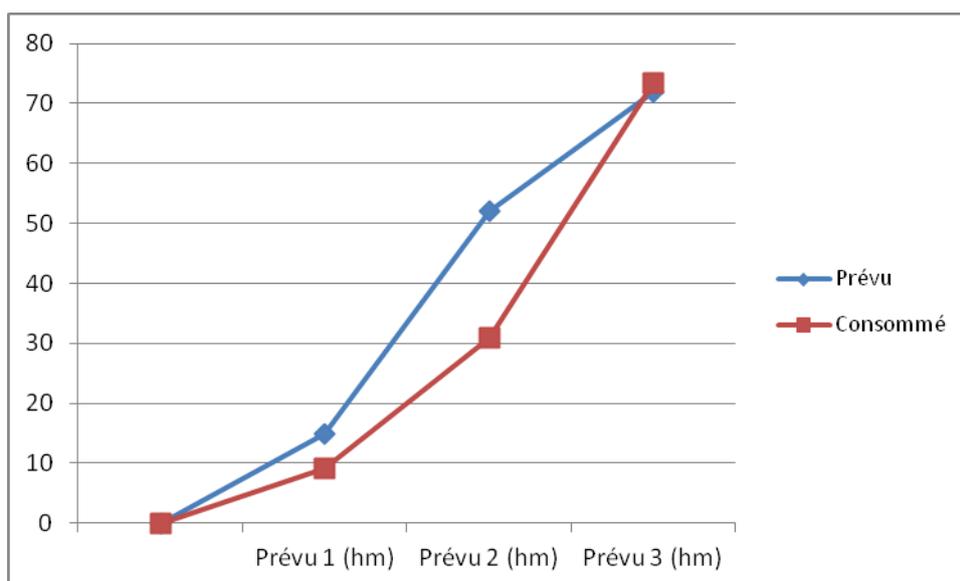
Les travaux de l'Inria au sein du projet PUMAS se sont concentrés sur deux axes fondamentaux :

- La spécification, le développement et la validation du logiciel « **BPstruction** », qui utilise la méthode dite de « propagation des croyances » pour produire une image instantanée ou prédite du trafic à partir des PUMAS Messages.
- La gestion opérationnelle du projet PUMAS avec notamment la mise en place et l'hébergement des outils de gestion de projet, la planification, la préparation et le suivi des réunions ainsi que la gestion administrative du projet (bilan des charges, rapports et comités de suivi annuels, clôture du projet, etc...)

Par ailleurs, l'Inria a également pris en charge la mise en place et l'hébergement des outils de communication tels que les listes de diffusion, les plateformes d'échanges de documents et le site web [www.projet-pumas.fr](http://www.projet-pumas.fr).

Enfin, comme mentionné au début du document, l'Inria a grandement participé à la valorisation du projet PUMAS à travers de nombreuses publications scientifiques et représentations dans des événements de dissémination tels que l'ATEC ITS France ou encore la Fête de la Science.

L'ensemble de ces travaux représentent donc un total de **73,5 hommes.mois** sur toute la durée du projet, tel que représenté dans le graphique ci-dessous.



*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

## 3.6 INSA

Les travaux de l'INSA de ROUEN effectués dans le cadre du projet PUMAS ont été nombreux et variés :

- La spécification, le développement, et la validation du système de prétraitement. Ce travail a été réalisé en collaboration avec Egis. Ce système a demandé plus de travail que prévu car il a dû intégrer les données issues de véhicules traceurs banalisés.
- La gestion et la réalisation des tests d'expérimentation.
- La gestion des tests de validation 100 véhicules.

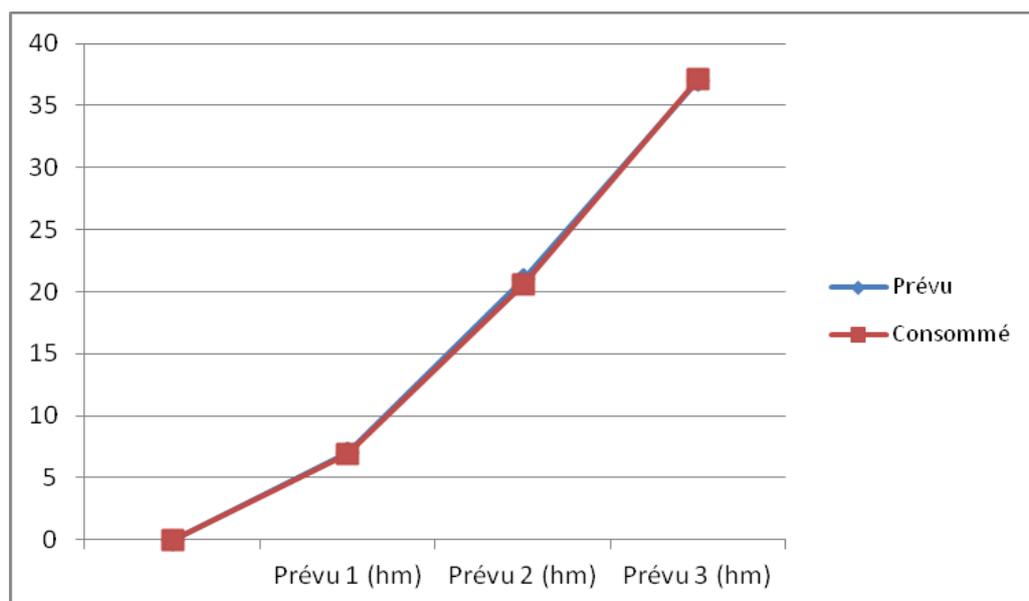
Ces différentes tâches ont été réalisées par, d'un côté, des étudiants ingénieurs du département A.S.I (Architecture et système d'Information) à travers des projets industriels. D'un autre côté, dans le cadre d'une thèse effectuée dans le laboratoire LITIS EA4108, de l'INSA de ROUEN.

Par ailleurs, l'INSA de ROUEN a également pris en charge la mise en place des tests d'expérimentation. Cela a demandé un investissement important du laboratoire pour fournir un grand nombre d'expérimentateurs.

De plus, dans le cadre des tests de validation l'INSA a réalisé un serveur de stockage pour réceptionner les données PUMAS des véhicules PUMAS circulant dans la région de Rouen. Ce serveur fonctionne depuis 9 mois.

L'INSA de Rouen a valorisé les travaux du projet PUMAS dans des colloques internationaux tel que I.V ou ITS. De plus, L'INSA a mis en avant le projet dans des manifestations locales, telles que la Fête de la Science, ou les salons Big-Talent.

**A l'INSA de Rouen, ces travaux représentent un total de 37,08 hommes/mois.** Le graphique suivant illustre la synthèse des ressources temporelles consommées depuis le début du projet en comparaison avec les ressources prévues :



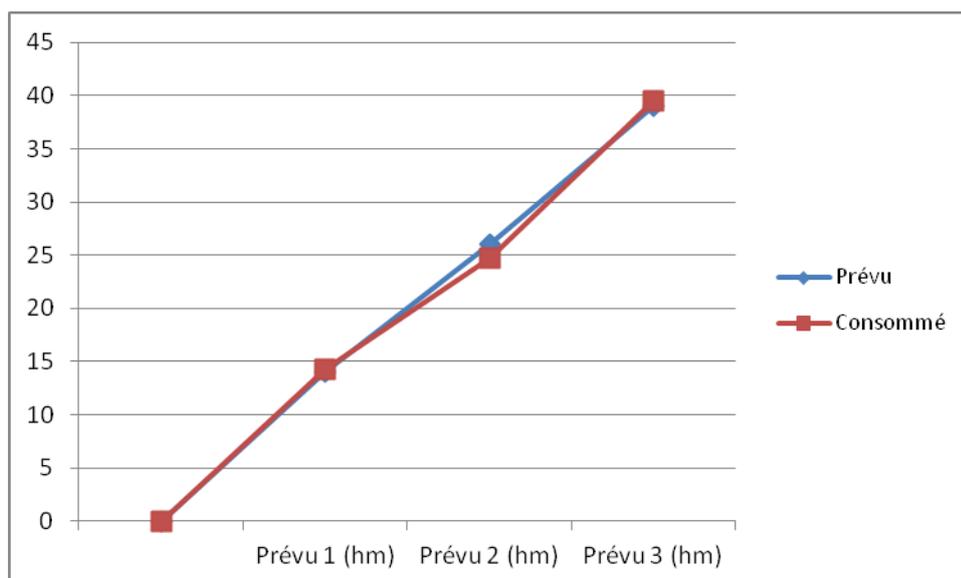
*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

## 3.7 INTEMPORA

Au cours du projet, les travaux d'Intempora se sont principalement concentrés sur les tâches suivantes :

- Les spécifications fonctionnelles et techniques.
- La réalisation logicielle de la PUMAS Box : portage de RTMaps sur la cible embarquée, développement (avec Armines) des composants de l'application PUMAS, paramétrage de l'application, intégration de la PUMAS Box.
- Les tests et expérimentations, aussi bien de la PUMAS Box isolée que de son bon fonctionnement sur véhicule et sa communication avec le serveur. Intempora a aussi fourni et mis en œuvre la partie logicielle du système de mesure embarqué dans les véhicules LaRA, comprenant un récepteur GPS, une caméra et un système de marqueurs temporels, système destiné à fournir une base de comparaison avec les données générées par les PUMAS Box.
- En l'absence de PUMAS Serveur suite au dépôt de bilan de la société SODIT, Intempora a développé une application de recueil des données d'expérimentation basée sur RTMaps et hébergée sur le serveur INSA, une application d'analyse des données, et a suivi les données reçues pendant les expérimentations.

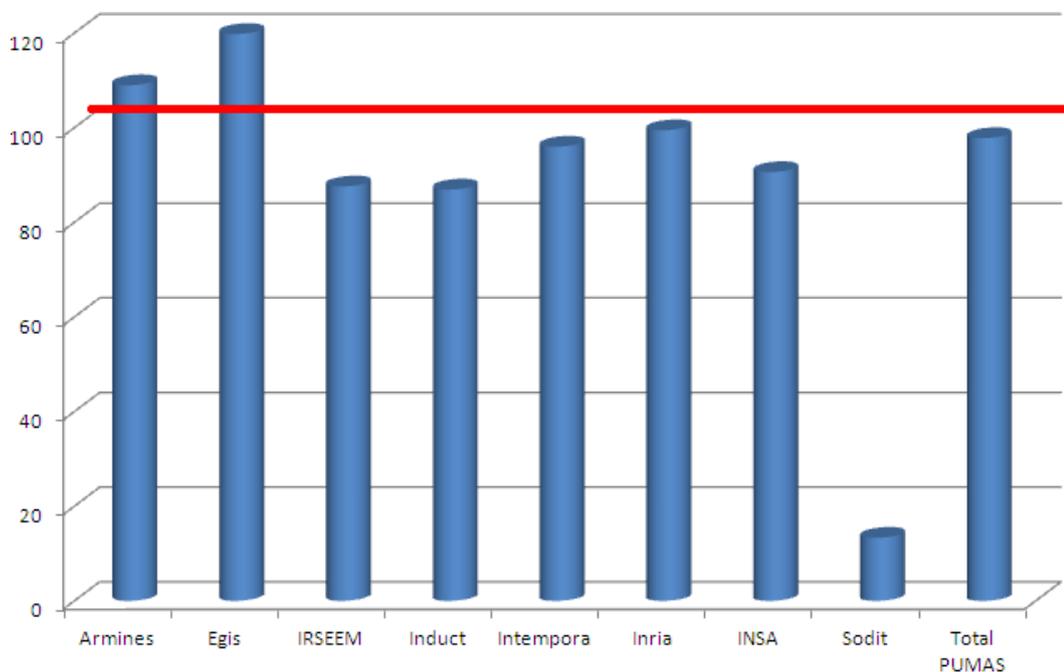
**Ces travaux représentent un total de 39,5 hommes.mois.** Le graphisme ci-dessous représente l'évolution des consommations d'Intempora (en hommes.mois) par rapport au prévisionnel :



*Consommations en hommes.mois par rapport au prévisionnel*

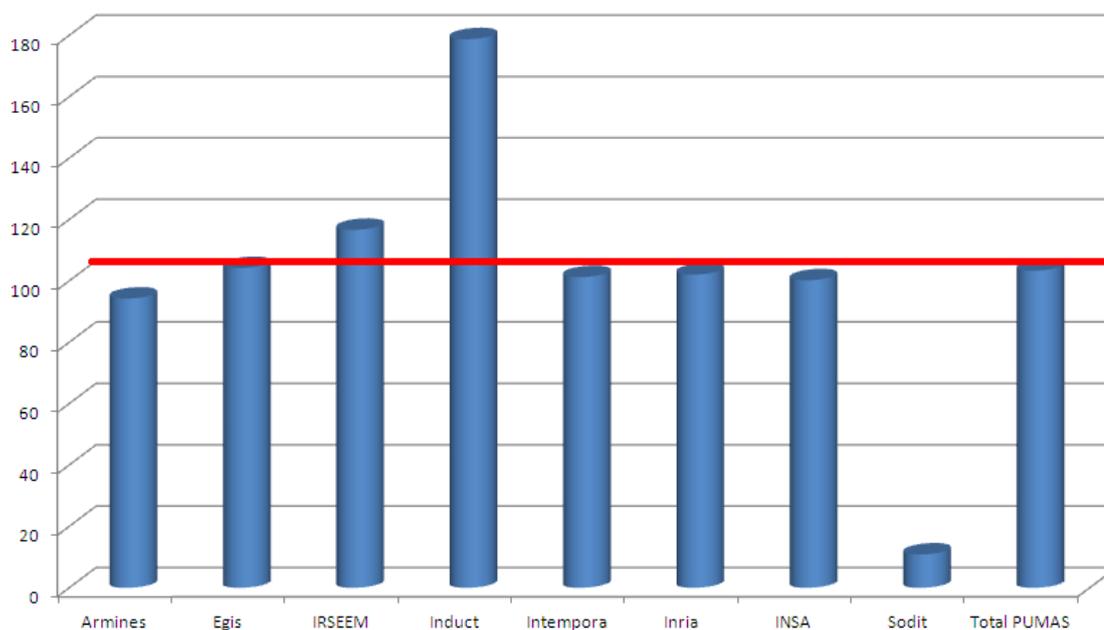
## 3.8 BILAN GLOBAL

Au terme du projet, le consortium PUMAS (dont la société SODIT) a consommé environ **98% de son budget global**. Le graphisme ci-dessous représente l'état des dépenses globales, en pourcentage par partenaire :

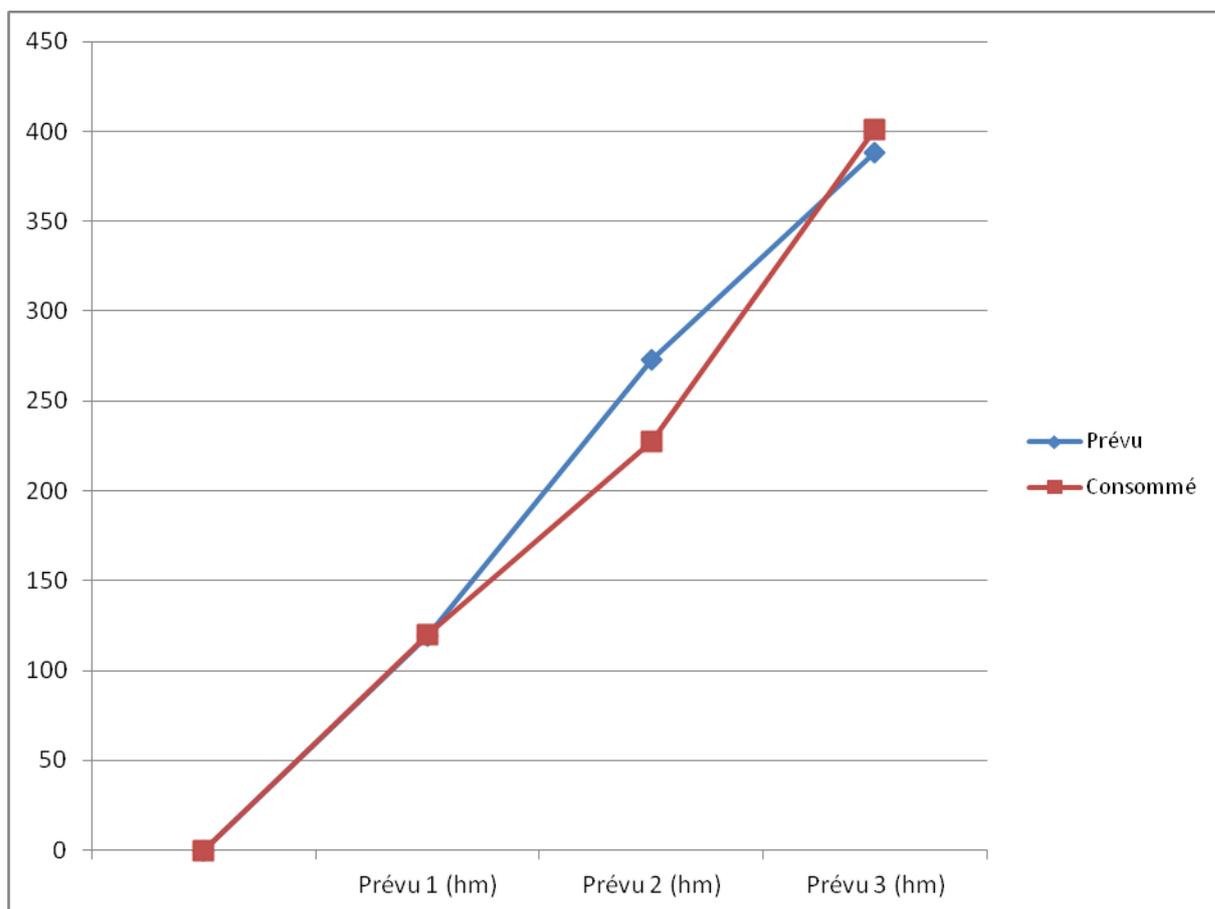


*Etat des dépenses globales*

En termes, d'hommes.mois, le consortium (dont la société SODIT) à consommé environ **103% de ses ressources**. Les graphismes ci-dessous représentent le détail des charges consommées, en pourcentage, par partenaire ainsi que l'évolution des consommations du consortium, en hommes.mois, par rapport au prévisionnel :



*Charges consommées par partenaire (en hommes.mois)*



*Consommations du consortium PUMAS en hommes.mois*

Nous remarquons donc un « creux » des consommations en seconde année correspondant au dépôt de bilan de la société SODIT et aux nombreuses réorganisations internes au projet qui en ont découlé. Heureusement, ce retard a pût être compensé en dernière année permettant ainsi d'aboutir aux résultats présenté dans ce document.

## 4. Conclusion

### 4.1 Les points positifs

#### 4.1.1 Les relations avec la CREA

Ces informations sont détaillées dans le paragraphe 1.2.2.

#### 4.1.2 Les expérimentations

La première série d'expérimentations réalisée les 26, 27 et 28 Septembre 2011, nous a permis de tester les premiers éléments fonctionnels du système PUMAS en conditions réelle de circulation, à l'échelle de l'agglomération de Rouen.

Les expérimentations réalisées dans le cadre du projet PUMAS ont l'avantage d'être des expérimentations à grande échelle en conditions réelles de circulation, représentant ainsi une expérimentation grandeur nature à l'échelle de la ville et donc un atout non négligeable pour un projet de recherche pré industriel.

Par ailleurs, ces expérimentations ont l'avantage d'impliquer le grand public et les autorités locales et ainsi de les sensibiliser aux travaux de recherche française en termes de mobilité durable.

#### 4.1.3 Publications scientifiques

Comme mentionné précédemment, le projet PUMAS a fait l'objet de deux publications dans des conférences majeures dans le domaine des systèmes de transport intelligents :

- ➔ **ITS Europe 2011**
- ➔ **ITSC 2011**

D'autres publications seront réalisées dans sur le sujet permettant ainsi de cultiver une certaine visibilité dans le monde des systèmes de transport intelligents.

## 5. Synthèse des livrables

Le tableau suivant synthétise les livrables prévus dans le cadre du projet PUMAS. Les documents finalisés sont mis à disposition des partenaires sur le site collaboratifs et à disposition des organismes financeurs sur simple demande (anne-charlotte.nicoud@inria.fr).

N°	Titre	Resp.	Commentaire
L1.0	Spécifications fonctionnelles générales	Egis	-
L2.0	Spécifications techniques détaillées	Armines	-
L3.1	Document de méthodologie de création de référentiel pour une agglomération	Inria	Inclus dans L1.0
L3.2	Document décrivant les algorithmes	Inria	Inclus dans L1.0 et L2.0
<b>L4.0</b>	<b>Documentation PUMAS Serveur</b>	<b>Sodit</b>	<b>Annulé</b>
L5.1	Document décrivant les composants de la PUMAS Box	Intempora	-
L5.2	Documentation utilisateur de la PUMAS Box	Intempora	-
L5.3	Cahiers, jeux et PV de recettes PUMAS Box	Intempora	-
L6.1	Plan d'expérimentation	INSA	-
L6.2	Rapports de tests préliminaires	INSA	-
<b>L6.3</b>	<b>Rapport d'expérimentation globale</b>	<b>INSA</b>	<b>Annulé</b>
L7.1	Méthodologie d'évaluation	ESIGELEC	-
L7.2	Rapport de synthèse contenant le détail des connaissances et des résultats développés et acquis dans le cadre de l'exécution des travaux	ESIGELEC	-
L7.3	Rapport d'expertise sur les potentialités de la solution PUMAS par rapport aux objectifs fixés en amont, dans la perspective de commercialisation auprès des collectivités territoriales	ESIGELEC	Inclus dans L8.1
L8.1	Business Plan	Egis	-
L8.2	Supports de promotion	Egis	-
L8.3	Rapports scientifiques des laboratoires, articles dans les revues spécialisés, rapport de thèse, minutes du colloque...	Egis	-
L8.4	Accord de consortium	Egis	Livré en juin 2011