Projet ALF : Aires de livraison du futur. Rapport final public du projet

Bertrand T. David, Danièle Patier, Véronique Deslandres, Philippe Bossin, Salima Hassas, René Chalon, Pierre Descombes, Laurent Geray, Jean-Louis Routhier, Jean-Baptiste Gallea, et al.

▶ **To cite this version:**

Bertrand T. David, Danièle Patier, Véronique Deslandres, Philippe Bossin, Salima Hassas, et al.. Projet ALF : Aires de livraison du futur. Rapport final public du projet. [Rapport de recherche] Rapport final public du projet. Convention de subvention N° 09MTCV37, Ecole Centrale de Lyon, Laboratoire LIRIS-CNRS UMR 5205, équipe SILEX (ex LIESP); Laboratoire LET-CNRS; Université Claude Bernard - Lyon 1, Laboratoire LIRIS-CNRS UMR 5205, équipe GrAMA (ex LIESP); Interface Transport; Volvo IT; SEMCO (ex CEMAVIL); Grand Lyon (participation sans financement); Orange (participation au début du projet et sans financement). 2012, pp.28. halshs-01686618

HAL Id: halshs-01686618
https://shs.hal.science/halshs-01686618

Submitted on 17 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

Projet ALF : Aires de Livraison du Futur

Convention de subvention N° 09MTCV37
Groupe Opérationnel 4 du PREDIT

Rapport final public du projet

Novembre 2012

Auteurs : B. DAVID[1], D. PATIER[2], V. DESLANDRES[3], Ph. BOSSIN[4], S. HASSAS[3], R. CHALON[1], P. DESCOMBES[6], L. GERAY[5], J-L ROUTHIER[3], J-B. GALLEA[6], J-B. THEBAUD[4]

Personne à contacter : Bertrand DAVID, Ecole Centrale de Lyon, Laboratoire LIRIS-CNRS UMR 5205, tél. 04 72 18 65 81, Bertrand.David@ec-lyon.fr.

Liste des partenaires :

1. Ecole Centrale de Lyon, Laboratoire LIRIS-CNRS UMR 5205, équipe SILEX (ex LIESP)
2. Laboratoire LET-CNRS
3. Université Claude Bernard - Lyon 1, Laboratoire LIRIS-CNRS UMR 5205, équipe GrAMA (ex LIESP)
4. Interface Transport
5. Volvo IT
6. SEMCO (ex CEMAVIL)
7. Grand Lyon (participation sans financement)
8. Orange (participation au début du projet et sans financement)

RESUME

Ce document présente les résultats du projet de recherche ALF (Aires de Livraison du Futur). Son objectif est d'améliorer l'utilisation par les transporteurs des aires de livraison par leur réservation préalable et un ajustement dynamique s'il y a lieu. Les technologies de l'information couplées à des dispositifs de communication mobiles et des capteurs dans la chaussée sont utilisées par le système de gestion de l'information. Nous présentons d'abord la problématique et la méthodologie choisie. Puis nous discutons de la préparation des tournées de livraisons et leurs ajustements en temps réel une première architecture de système d'information reposant essentiellement sur l'interaction homme-machine. Ensuite nous décrivons un solveur basé sur une approche décentralisée (multi-agents) mettant en œuvre une négociation entre les livreurs, permettant de répondre à la complexité des cas réels. Nous présentons ensuite les différents niveaux de système d'information terrain qui renseigne les différents usagers sur l'occupation ou la disponibilité des aires de livraison. Nous listons par ailleurs les différents services innovants qui peuvent être ajoutés aux aires de livraison afin d'augmenter leur efficacité. Les différentes formes de mutualisation et de massification sont enfin discutées ainsi que leur déclinaison possible au sein du projet ALF. La conclusion récapitule les principaux modules logiciels et leur utilisation selon le contexte spécifique visé, ainsi que les principales contributions du projet.

MOTS-CLÉS : logistique urbaine, aires de livraison, modélisation, système de réservation

ABSTRACT

This document presents the results of a research project called ALF (*Aires de Livraison du Futur,* Next Generation Delivery Areas). Its objective is to increase the use of delivery areas by prior booking and allow dynamic adjustment if necessary. Information technologies with mobile communicating devices and in-roadway sensors are used in front of the information management process system. We present first the problematic and the methodology. Then we discuss a first ICT system architecture based on human interaction which allows delivery rounds preparation and real-time adjustment. Next we present a computational process with a fully decentralized solution (multi-agent approach) implementing a distributed negotiation between delivery operators, allowing static delivery rounds preparation and their dynamic adjustments, which represent the real-world problem complexity. Then we describe different levels of a in the field information system delivering to concerned users the information on occupancy or availability of Delivery areas. Innovative services which can be added to delivery areas in order to increase their specificity are then presented. Different forms of mutualisation and scalable orientations are also discussed. The conclusion summarises the main configurations of the proposed modules and their use in relation with characteristics of the context studied, and the main contributions of the project are summarized.

KEYWORDS: urban logistics, delivery area, booking system

Sommaire

Sommaire **3**

I. Introduction **4**

II. Méthodologie **4**

III. Évaluation de la demande de livraison **6**

III.1 Recensement et observation du fonctionnement de la livraison des marchandises 6

III.2 Entrevue avec des magasiniers, des chauffeurs-livreurs et les collectivités locales 6

III.3 Simulation de génération des livraisons dans un périmètre élargi 6

III.4 Simulation orientée tournées pour déterminer les livraisons à effectuer dans le périmètre étudié 7

III.5 Etude du terrain : observation des livraisons effectuées dans le périmètre étudié 7

IV. Principes du système interactif de gestion des réservations des aires de livraison **9**

IV.1 L'architecture de système ALF 10

IV.2 Modélisation de la problématique de livraison 10

IV.3 Système SyGAL 11

V. Système décentralisé d'aide à l'affectation dynamique des aires de livraison **14**

V.1 L'information requise 14

V.2 Buts scientifiques 15

V.3 Système Guided CESNA 16

V.4 Expériences 16

V.5 Indicateurs de performance 17

V.6 Discussion et résultats d'essai 17

V.7 Avantages du système global d'affectation des aires de livraison 18

VI. Etude et proposition d'un système terrain pour propager des informations vitales vers tous les usagers concernés **19**

VII. Propositions des services complémentaires sur les aires de livraison **19**

VIII. Différentes approches de mutualisation **21**

IX. Les principales contributions du projet ALF **21**

X. Conclusions **22**

Références **25**

Diffusion des résultats **27**

I. Introduction

Dans les zones urbaines, les livraisons de marchandises pour les clients professionnels et les particuliers produisent un trafic important de véhicules, des petites fourgonnettes (pour les livraisons express) aux camions (pour fournir les plus grands magasins). Les services de distribution sont en augmentation due à la gestion en flux tendu des stocks, au développement du commerce électronique et à l'émergence de nouveaux comportements des clients (livraison à domicile, e-drive et livraison en sortie de caisse). Le service en flux tendu augmente la fréquence des livraisons avec des effets négatifs sur le trafic des autres véhicules et des transports en commun.

Des emplacements spécifiques appelés « aires de livraisons » ont été créés pour améliorer le travail des professionnels de la livraison, et pour diminuer la congestion. Néanmoins, de nombreuses livraisons continuent à se faire en double file, car les aires de livraison sont régulièrement occupées par des véhicules en stationnement (voitures des particuliers). Dans ce contexte, nous avons proposé une nouvelle approche dans laquelle les opérateurs de la livraison peuvent réserver à l'avance les aires de livraison pendant une période limitée, en utilisant un système de réservation commun basé sur les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication).

Ce projet de recherche a été soutenu par LUTB (Lyon Urban Truck and Bus), un pôle de compétitivité, créé en 2005, consacré à l'amélioration du transport des personnes et des marchandises dans les zones urbaines. Il a été financé par le Ministère du développement durable et de l'environnement, PREDIT GO 4 (Programme national de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres, Groupe Opérationel 4 – Logistique et Transports de Marchandises). Le consortium était composé de trois équipes de recherche (laboratoire LIESP qui a depuis intégré le laboratoire LIRIS pour l'informatique, et le LET pour l'expertise sur les transports, tous les deux membres de l'Université de Lyon), une société de conseil spécialisée sur la mobilité des marchandises (Interface Transport), une PME spécialiste de mobilier et d'équipement urbains (SEMCO-CEMAVIL), deux grandes entreprises (Volvo-IT, ainsi que Orange, qui est intervenu au début du projet et sans financement) et une collectivité locale (Communauté urbaine de Lyon, également sans financement). Le site du Grand Lyon (1,3 million d'habitants) a été choisi comme site d'expérimentation.

II. Méthodologie

Le projet a débuté par l'étude de l'état de l'art tant théorique que pratique. Grâce à Interface Transport et au LET, deux organismes de référence en matière de a logistique urbaine, le consortium tout entier a pu appréhender la problématique de la livraison en ville. La connaissance des travaux menés tant en France que surtout au niveau européen, où un nombre important de projets a eu lieu (POLIS, CVIS, CityLog, CityMove, Urba2000, CIVITAS, BESTUFS, …), nous a permis de démarrer le projet dans de bonnes conditions. Parmi les diverses expériences qui ont été menées dans les pays européens, quelques-unes concernent l'amélioration des aires de livraison. En particulier, dans le projet « FREILOT » (pilote urbain d'énergie de fret, 2009-2012), quatre outils pour l'amélioration de la logistique urbaine ont été simultanément expérimentés dans quatre villes européennes : Bilbao, Cracovie, Helmond et Lyon. La réservation des aires de livraison a été expérimentée dans deux villes, Bilbao et Lyon. À Lyon, des aires de livraison dans deux rues ont été mises à disposition du projet pendant une année par la ville. Seulet la réservation en ligne était possible. Nous avons pu bénéficier des résultats de ce projet, auquel Interface Transport a participé.

Le projet ALF s'est donné pour but de proposer un logiciel permettant de réserver des aires de livraison et de modifier ces réservations en temps réel en cas d'imprévus et de réorganiser les tournées des livreurs selon les perturbations de la circulation. La réservation des aires de livraison pour chaque tournée a ainsi été rendue possible.

La recherche menée a voulu et pu prendre en considération les caractéristiques actuelles des aires de livraison, les décisions politiques et techniques qui les régissent ainsi que les contraintes afférentes.

Après l'établissement de l'état de l'art, l'étape suivante concernait la vérification de l'hypothèse de 70 à 80 % de livraisons en double file. Cette vérification a été faite par une étude théorique et une étude terrain. Il s'agissait d'étudier l'adéquation de la capacité du parc des aires de livraison par rapport à la demande de livraison, et de proposer dans le cas d'un constat positif un nouveau concept de réservation pour améliorer les relations entre l'offre en aires de livraison et la demande. Ces études ont été basées sur l'analyse de données des livraisons de marchandises dans un périmètre approprié d'observation sélectionné au centre-ville de Lyon. Elles ont concerné une partie très dense de la ville et pris en compte les besoins des activités économiques et des résidents. Une estimation basée sur l'utilisation du modèle FRETURB a permis d'obtenir des données quantitatives concernant les besoins en livraison dans la zone concernée. L'observation de la même zone pendant une période de 5 jours a permis d'objectiver la réalité des comportements.

Une fois ces études d'évaluation terminées et fort des résultats encourageants, nous avons pu mener deux étapes majeures conduisant à élaborer un modèle de fonctionnement du système de réservation et de son architecture logicielle, puis à bâtir trois systèmes complémentaires :

- Spécification, conception et réalisation d'un système interactif de gestion des aires de livraison SyGAL,
- Spécification, conception et réalisation d'un système multi-agents décentralisé d'aide à l'affectation dynamique des aires de livraison Guided CESNA,
- Etude et proposition d'un système terrain CEMAVIL permettant de propager des informations concernant son fonctionnement vers tous les usagers concernés de la ville.

L'étape suivante du projet visait la consolidation des acquis par la proposition de services complémentaires pouvant prendre place sur les aires de livraison. Cette orientation a été choisie en complément du contrôle, indispensable, pour rendre les aires de livraison aux livreurs. En effet, en proposant des services liés aux activités de livraison nous avons voulu donner un sens positif à l'exclusivité d'accès aux aires de livraison par des professionnels de la livraison.

L'avant dernière étape du projet avait pour but d'étudier différentes formes de mutualisation contribuant à améliorer les livraisons en ville. Il s'agissait d'identifier les changements allant au-delà de la réservation des aires de livraison dans le cadre du fonctionnement actuel en proposant différentes évolutions de l'organisation de la livraison en ville visant à réduire la congestion et la pollution liées aux livraisons, à optimiser les tournées des chauffeurs-livreurs, à créer des emplois et à donner une image de la ville plus "vivable".

Une ultime étape avait pour but de proposer des travaux prospectifs et préparer la seconde phase du projet, celle conduisant à une expérimentation terrain dans une ville à déterminer.

Dans la suite de ce document nous décrivons successivement les étapes décrites ci-dessus.

III. Évaluation de la demande de livraison[1]

La connaissance des besoins de réceptions de marchandises et du comportement des utilisateurs est une étape essentielle pour établir l'architecture du système et son calibrage. L'évaluation de la demande était établie grâce à quatre méthodes complémentaires :

III.1 Recensement et observation du fonctionnement de la livraison des marchandises

Un recensement approfondi des aires de livraison (nombre, taille et emplacement) a été réalisé pour l'hypercentre de la ville (sud de 1er arrondissement et nord du 2ème arrondissement). Puis, l'analyse de trois aires de livraison représentatives du centre de la ville de Lyon a été réalisée. Plusieurs enquêtes ont été menées afin d'observer et de documenter les mouvements des véhicules sur ces aires de livraison au cours de la journée. Elles se sont déroulées pendant cinq jours de la même semaine pour observer profondément les conditions des livraisons dans le périmètre cible. Les données rassemblées concernent le nombre de véhicules observés, la durée des arrêts, l'endroit précis où les véhicules s'arrêtent ou stationnent, le profil horaire de la réception des marchandises, les opérations réalisées, les types de véhicules, la taille des colis et des moyens d'acheminement utilisés, le taux de rotation des véhicules sur des secteurs et, si l'opérateur est un transporteur, son identité, l'origine et la taille de la tournée, la sous-traitance éventuelle. Cela a permis d'élaborer une typologie des réceptions de marchandises selon leur taille, leur origine, et les opérateurs en charge de la livraison (les entreprises locales et les opérateurs de la livraison). La collecte de ces données nous a fourni une grande quantité de connaissances concernant les aires de livraison et l'occupation de la chaussée.

III.2 Entrevue avec des magasiniers, des chauffeurs-livreurs et les collectivités locales

Cent chauffeurs-livreurs ont été interviewés afin de connaître leurs tournées : mode de gestion (compte propre, compte d'autrui), mode d'organisation (trace directe ou tournée de livraison, nombre d'arrêts), origine, destination, lieux de chargement et de déchargement, etc.

Une enquête a permis d'analyser le comportement des acteurs intéressés. Les cibles prévues étaient : détaillants, magasiniers, services, transporteurs, livreurs, agents de transport en commun, services techniques de la ville (responsable du règlement de transport, de la surveillance de circulation et des infrastructures urbaines). Le comportement des transporteurs et des livreurs a été plus particulièrement étudié afin de comprendre leur organisation des tournées de livraison, itinéraires et la capacité à s'intégrer dans le système de réservation. L'enquête auprès des transporteurs était particulièrement précieuse parce qu'elle a permis de connaitre leur fonctionnement (les feuilles de route utilisées, les logiciels d'optimisation de tournées, le processus journalier d'élaboration des tournées, etc.) et leur acceptabilité d'un système de réservation des aires de livraison.

III.3 Simulation de génération des livraisons dans un périmètre élargi

Une analyse a été réalisée dans le périmètre étudié, évoqué ci-dessus (hyper centre-ville), grâce au logiciel FRETURB © (Routhier, Toilier, 2007), développé par le LET. Une liste exhaustive des entreprises situées dans la zone d'influence de ces trois aires de livraison a été établie. Le modèle a été

[1] Nous utilisons les termes génériques de livraison ou réception qui recouvrent en réalité les livraisons et ramasses, les réceptions et les expéditions (encore appelées envois).

appliqué sur le même périmètre que les enquêtes terrain. Les zones de livraison observées au cours de l'enquête ont été analysées, non en fonction de comptage ponctuel, mais selon les caractéristiques des enquêtes nationales françaises "Transports de marchandises en ville". Ceci a permis de simuler les demandes de livraisons par les établissements situés dans un périmètre de 50 mètres autour de chacune des aires de livraison. Nous avons obtenu le nombre de livraisons engendréé par toutes les activités situées dans le périmètre selon le type et la taille des véhicules impliqués, la durée de la livraison et une simulation de stationnement en double file pendant la journée.

III.4 Simulation orientée tournées pour déterminer les livraisons à effectuer dans le périmètre étudié

La simulation des tournées a été rendue possible par l'exécution d'un modèle développé récemment par le LET : SIMETAB, SIMTURB (Pulvinet, 2011).

Le croisement de ces trois approches a conduit à constater que le calibrage des aires de livraison dans la zone observée était satisfaisant et susceptible d'absorber la totalité des demandes de livraison moyennant un léger étalement dans le temps et surtout en écartant tous les stationnements abusifs qui consommaient l'espace de façon inappropriée

III.5 Etude du terrain : observation des livraisons effectuées dans le périmètre étudié

L'observation de terrain effectuée pendant 5 jours d'une semaine typique a permis de confirmer les résultats des études théoriques. En effet, comme le montre la figure 1 et le tableau 1, on peut constater que la capacité des aires de livraison est suffisante, surtout si on écarte les « squatteurs » apparaissant clairement en tableau 1. On y constate que sur 386 arrêts de véhicules observés en 4 jours dans le périmètre incluant les 3 aires, seulement 32 % des véhicules observés enlèvent ou livrent les marchandises.

Tableau 1 : typologie des occupations des aires de livraison observées.

Livraisons	109
Enlèvements	13
Interventions (artisans ou réparateurs)	98
Autres (résidents, commerçants, clients?)	166

Cet ensemble d'études a permis de créer un contexte favorable pour la proposition d'un système informatisé en charge de la gestion des livraisons de marchandises et plus spécifiquement de l'organisation des tournées de livraison basée sur la réservation des aires de livraison et l'ajustement de ces réservations, si besoin.

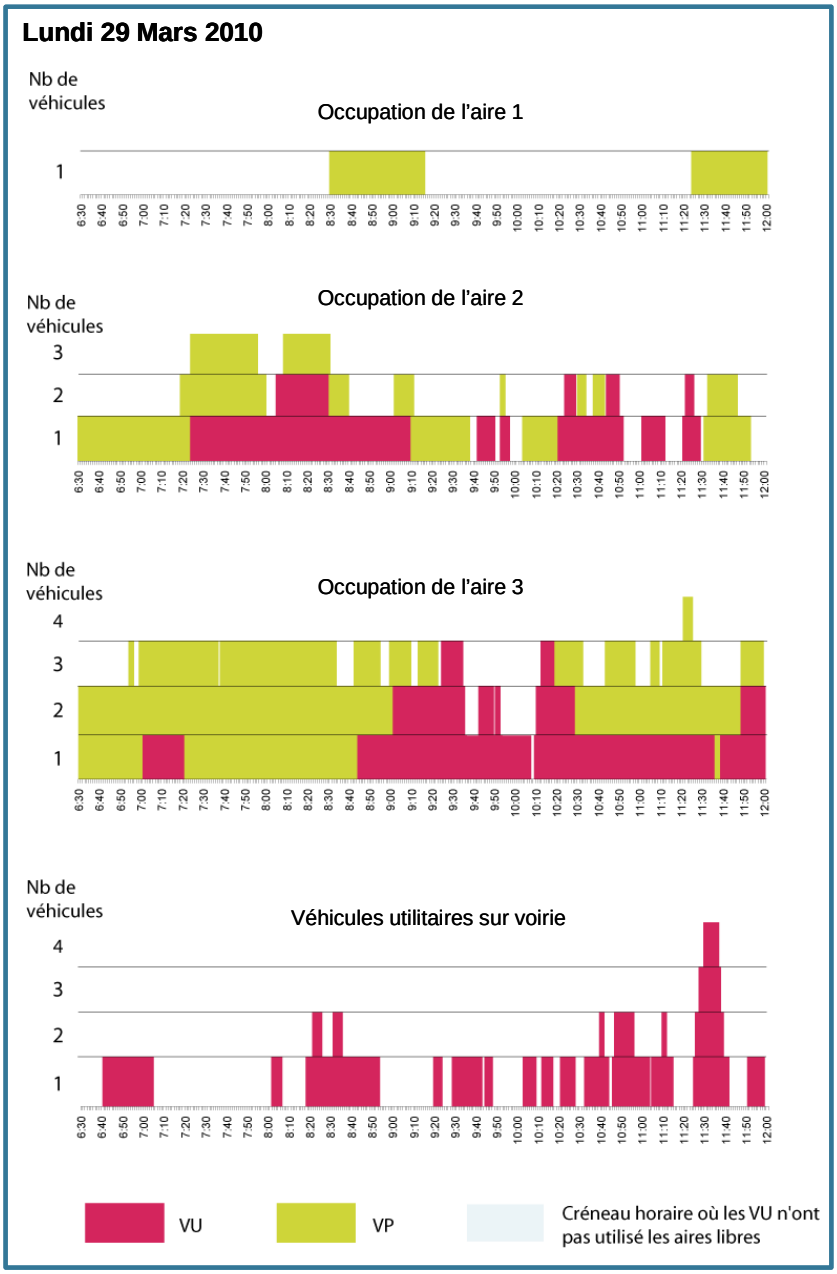

Figure 1 : Observation des usages des aires de livraisons

IV. Principes du système interactif de gestion des réservations des aires de livraison

Suite à l'identification des principales exigences fonctionnelles issues des études de terrain exprimées principalement par des caractéristiques qualitatives et quantitatives (plus de 300 aires de livraisons, 5 à 15 arrêts pour tournée, chaque arrêt d'une durée entre 15' à 30', etc.), nous avons étudié la faisabilité technique d'un premier système appelé SyGAL (**Sy**stème de **G**estion des **A**ires de **L**ivraison).

Du point de vue des TIC, nous avons estimé qu'il était souhaitable de concevoir un système basé sur le WEB pour gérer les réservations des aires de livraison et de fournir cette information d'une manière distribuée à la fois sur des ordinateurs fixes et sur des supports mobiles (tablettes et smartphones) afin de permettre aux différents acteurs (logisticiens et chauffeurs-livreurs) d'accéder à ces réservations en mode de lecture ou d'écriture. La diffusion de cette information sur des dispositifs intégrés dans les camions et/ou sur des dispositifs personnels (smartphones et tablettes) est technologiquement possible. Pour exprimer clairement le fonctionnement du système, nous avons élaboré un modèle de fonctionnement de la réservation des aires de livraison et un modèle d'architecture du système. Nous avons identifié les acteurs, leurs rôles, les opérations, l'organisation globale, les déroulements des opérations, ainsi que les interactions entre acteurs. Les expéditeurs et les destinataires de marchandises ainsi que les opérateurs de distribution sont considérés comme des acteurs traditionnels principaux, mais notre approche prend également en compte de nouveaux et importants acteurs comme par exemple l'autorité de gestion des aires de livraison qui joue un rôle important en définissant les règles d'utilisation, qui peuvent être statiques (type de camions permis, le type de l'équipement de l'aire de livraison et sa protection d'accès, etc.) ou dynamiques (période d'utilisation, etc.). L'autorité de gestion de trafic est un acteur qui fournit des contraintes temporelles d'accès, qui peuvent être récurrentes (règlement de circulation de camions dans la proximité d'école), ou non récurrentes (travaux ou défilés dans la rue). Garante du bon usage des aires de livraison, l'autorité de vérification de respect des règles des aires de livraison est indispensable pour l'élimination des utilisateurs non autorisés.

IV.1 L'architecture de système ALF

L'architecture du système est présentée en figure 2. Il y apparait les acteurs principaux cités précédemment, les informations collectées par des capteurs de terrain qui sont fournies au système ainsi qu'un module de gestion des réservations des aires de livraison. Des informations d'occupation fournies par le service de gestion des voiries et par le service de gestion de réservations des aires de livraison sont diffusées informatiquement à tous les usagers potentiels. Le service de gestion des voiries est mis à jour par la ville (de Lyon par exemple) et le service de gestion des réservations par des logisticiens des sociétés de livraison ou des chauffeurs-livreurs. Le rôle de l'autorité de vérification d'utilisation des aires de livraison est de déterminer si l'occupation actuelle est règlementairement valable ou pas et de distribuer des pénalités dans le cas échéant.

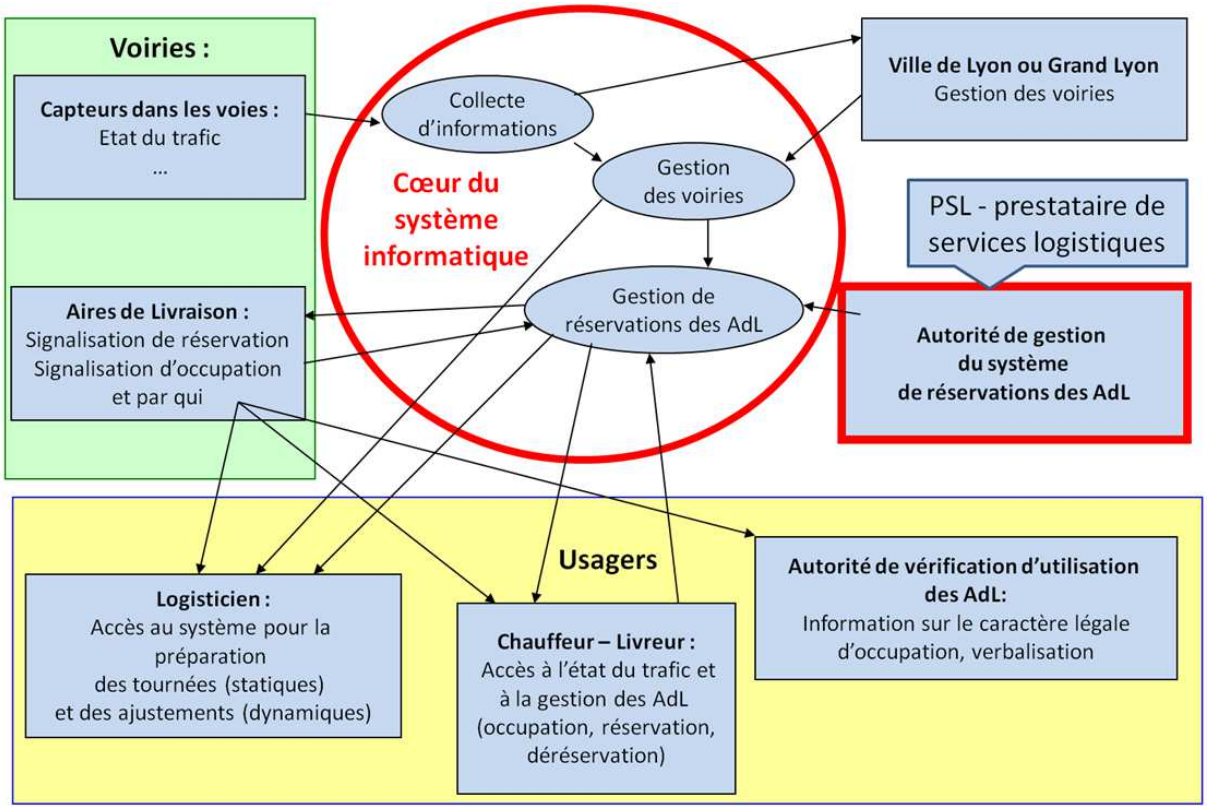

Figure 2 : L'architecture du système de SyGAL

IV.2 Modélisation de la problématique de livraison

Sur la figure 3, la problématique de gestion de la livraison est récapitulée. Une entreprise de livraison reçoit des marchandises à distribuer. Les logisticiens de la société organisent la planification des tournées. Ils prennent en considération la segmentation appropriée des marchandises à distribuer en lien avec les caractéristiques correspondantes (adresse de destination, créneau horaire prévu pour la livraison, les contraintes de transport des produits surgelés, volume et poids). L'emplacement dans le camion peut être également déterminé afin de faciliter la manipulation. Si, pendant la tournée, les conditions de trafic perturbent le planning prévu, le chauffeur-livreur est invité à libérer les réservations des aires de livraison qu'il ne pourra pas utiliser et à modifier sa tournée en se positionnant sur des créneaux disponibles dans le planning de réservation des aires de livraison. Si ce processus semble être trop compliqué pour lui, il peut demander au responsable d'exploitation (logisticiens) de son entreprise de reprogrammer sa tournée à sa place.

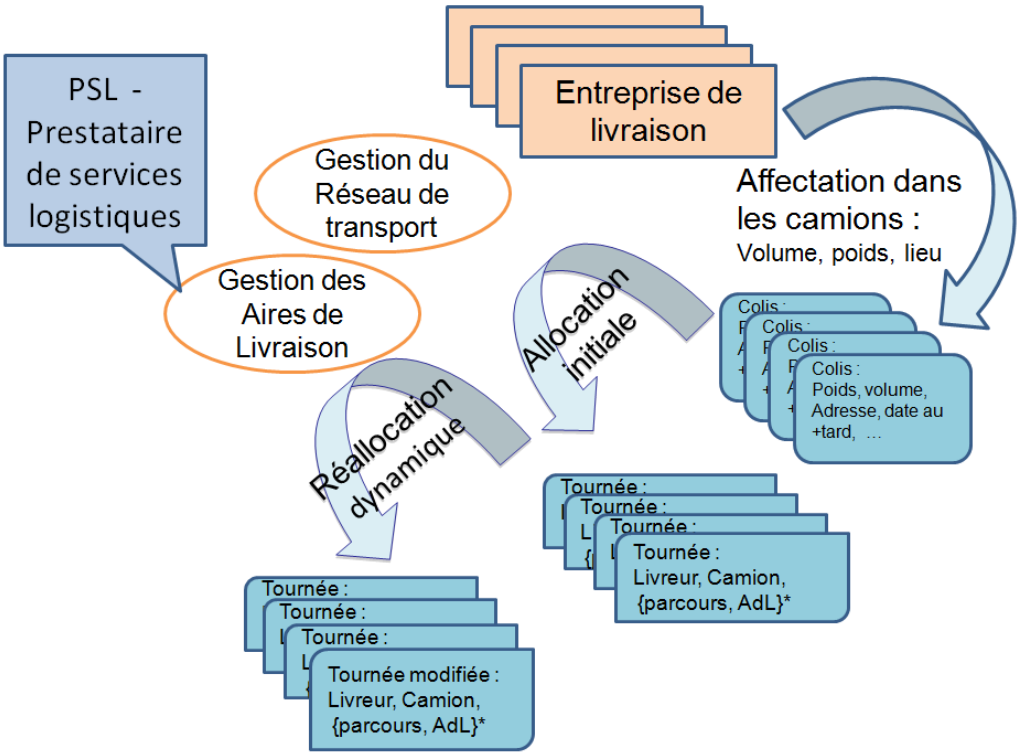

Figure 3 : Modélisation de la problématique de livraison prenant en compte la réservation des aires de livraison

Différentes solutions ont été étudiées pour résoudre ce problème de création et de gestion des tournées. Deux possibilités majeures s'offraient à nous, soit une élaboration manuelle à l'aide d'un outil interactif centralisé, soit une solution algorithmique avec contrôle distribué. Pour une tournée comportant un nombre limité de marchandises à distribuer, l'approche centralisée interactive semble appropriée, alors que pour un nombre plus important, où pour les cas où les aléas (la dynamique nécessaire) sont plus importants, la solution avec contrôle distribué semble plus appropriée.

Le système SyGAL supporte cette approche interactive d'élaboration de tournées de livraison. Une approche décentralisée est présentée dans la prochaine section, avec le système Guided CESNA.

IV.3 Système SyGAL

Le système SyGAL prend en charge l'approche interactive en proposant au logisticien (et au chauffeur-livreur) les interfaces homme-machine dont certaines sont présentées sur les figures 4, 5 et 6. Comme décrit précédemment dans le modèle de fonctionnement visé, le logisticien a à sa disposition la liste des livraisons à effectuer. Il segmente d'abord cette liste de livraisons par zone géographique en tenant compte du poids, du volume et de l'horaire de livraison, puis, pour chaque tournée, il cherche pour chaque adresse de livraison l'aire de livraison libre la plus proche pour le créneau du planning en cours d'élaboration. Il utilise pour cela un outil de localisation comme proposé, par exemple par Google Map.

Les principales opérations proposées sont les suivantes :

1. La réservation unitaire (figure 4) permet de trouver une aire de livraison à proximité de l'adresse de livraison, de vérifier sa disponibilité dans le créneau temporel visé et effectuer cette réservation.

2. La réservation d'une suite de livraisons soit par la construction interactive ou par importation d'une tournée produite par un système d'allocation dont dispose l'entreprise de livraison permet de gérer l'affectation temporelle des aires de livraison. SyGAL fournit la présentation de la tournée élaborée, ainsi qu'une description détaillée du parcours, si le chauffeur le souhaite (figure 5).
3. Une autre possibilité d'élaboration de l'itinéraire est basée sur la visualisation de l'occupation temporelle des aires de livraison concernées. Une grille d'occupation permet au logisticien ou au chauffeur – livreur de se rendre compte de la densité d'occupation sur une période temporellement proche et de placer ou déplacer (reprogrammer) ses réservations en connaissance de cause (figure 6).

Une fois la tournée établie, elle est affectée à un chauffeur-livreur. L'information sur la tournée est présentée de la même manière au chauffeur-livreur sur un dispositif mobile (tablette). De cette façon il peut effectuer un ajustement des réservations si un problème le retarde (bouchons, absence d'un destinataire…). Pour un problème plus complexe, qu'il ne sait pas résoudre, il peut demander au logisticien de lui élaborer une nouvelle version de la tournée tenant compte de ce qui reste à livrer et de la situation du trafic et des créneaux des aires de livraisons disponibles.

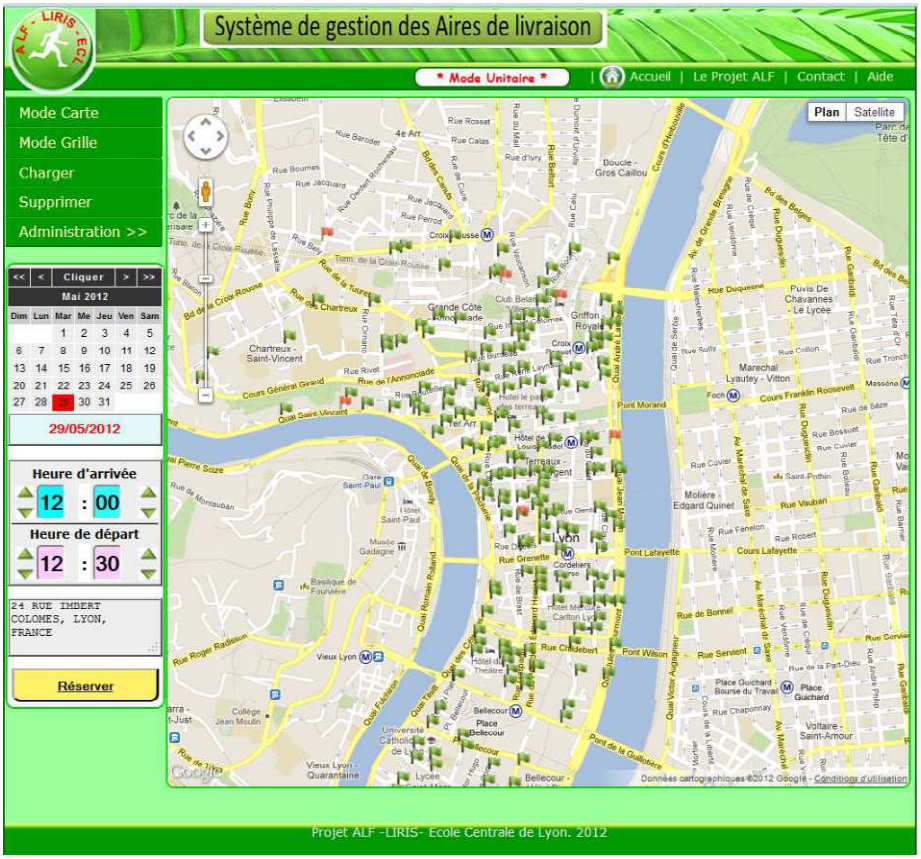

Figure 4 : SyGAL – Réservation unitaire

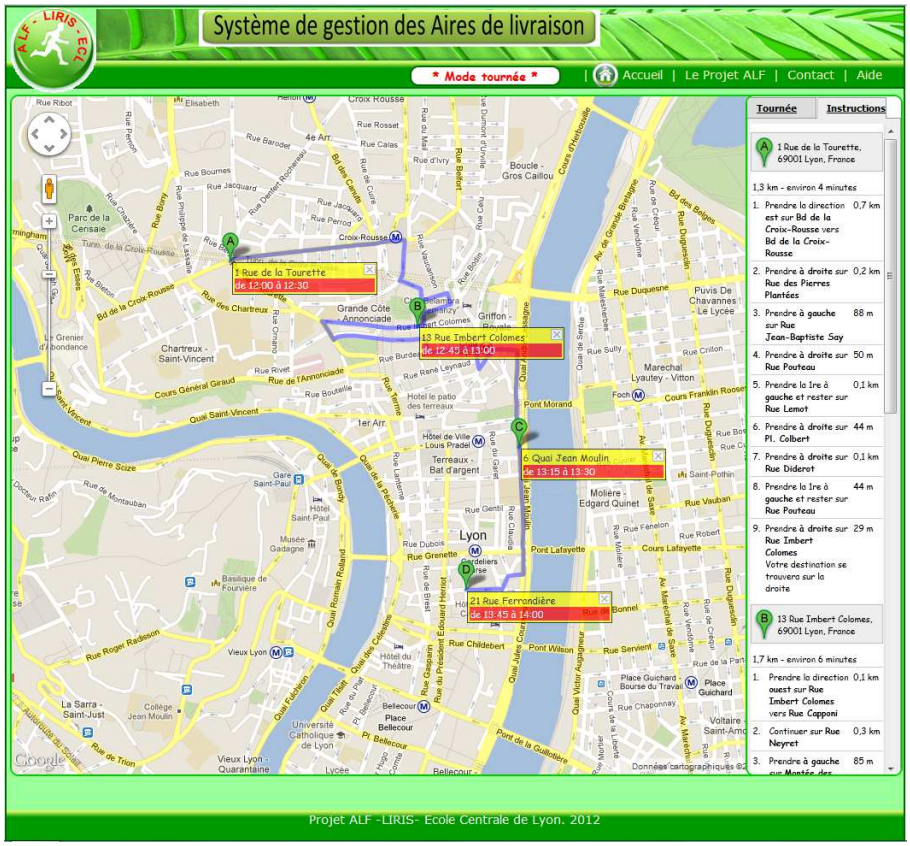

Figure 5 : SyGAL – Présentation de l'itinéraire (avec la description précise de navigation)

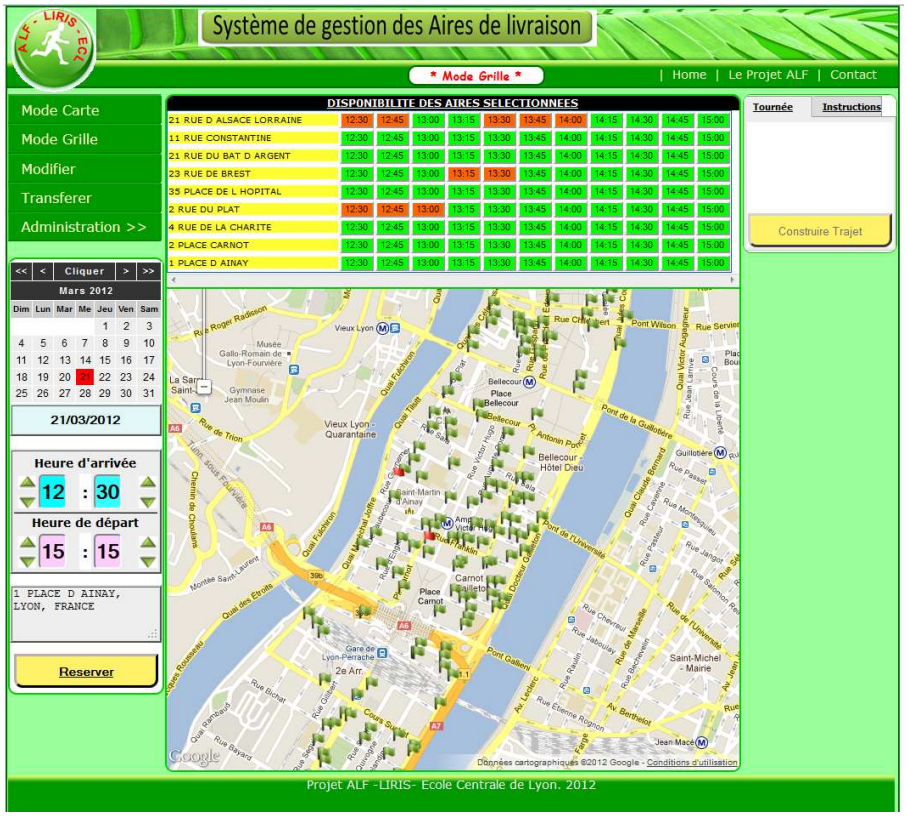

Figure 6 : SyGAL – élaboration de l'itinéraire basée sur la grille d'occupation des aires de livraison

Le système SyGAL peut être employé seul, permettant aux logisticiens de différentes entreprises de livraison d'élaborer interactivement différentes tournées utilisant le système SyGAL d'une manière concomitante. Ceux-ci peuvent également baser leur travail sur l'utilisation des systèmes d'élaboration de tournées dont ils disposent dans leurs entreprises et utiliser SyGAL pour ajuster les tournées élaborées en lien avec les disponibilités des aires de livraison gérées par SyGAL. La troisième possibilité est d'employer la solution calculatoire grâce au système Guided CESNA, comme expliqué dans la prochaine section, et utiliser le système de SyGAL comme support de visualisation et d'interaction.

V. Système décentralisé d'aide à l'affectation dynamique des aires de livraison

Des observations antérieures ont montré que les chauffeurs-livreurs stationnent en double file quand il n'y a pas de place disponible sur une aire de livraison dans un périmètre proche parce que celle-ci est occupée par un autre livreur par un artisan ou par un particulier.

Ce problème peut être atténué si l'occupation des aires de livraison prévue est respectée par tous les livreurs impliqués dans le projet. Cependant, la solution proposée doit pouvoir s'adapter, particulièrement quand le stationnement illégal empêche l'utilisation de l'aire de livraison. En conséquence, l'objectif principal du système proposé est de conceptualiser la planification des tournées de livraison qui évitent des conflits d'occupation (légale) des aires de livraison, mais qui peut également gérer les aléas : risques résultant de l'occupation illégale de l'aire prévue, 'arrivée ou départ en retard d'un autre chauffeur-livreur, modification de la disponibilité du client livré, congestion de trafic.

En effet, le système minimise réellement les conflits d'occupation des aires de livraison pour éviter la gêne du trafic mais ne néglige pas non plus la durée de la tournée, qui a des conséquences économiques et logistiques.

V.1 L'information requise

Le système est basé sur l'idée que les exploitants (logisticiens) accepteront de fournir au système, la veille, les informations détaillées requises (adresses du client, type de véhicule de livraison, contraintes de temps, emplacement initial/entrepôt où le véhicule est chargé et emplacement final). Les logisticiens peuvent également proposer une première version de la tournée de livraison, conçue comme si toutes les aires de livraison étaient disponibles pour eux, que nous appelons la tournée initiale du chauffeur-livreur. Le système repose sur l'expertise métier des entreprises de livraison, qui prennent en compte le type, la taille et le nombre de véhicules de livraison dont ils auront besoin pour livrer leurs clients. Le système attribue une ou plusieurs tranches de temps (15' ont été définies pour nos expériences) selon le type du transporteur (lié aussi au type de véhicule : petites fourgonnettes pour les livraisons express, ou des porteurs pour fournir les plus grands magasins).

Le fonctionnement est le suivant : une fois que toutes les données sur les livraisons et les tournées ont été obtenues (un délai sera fixé, qui laisse considérer 80% des tournées de livraison par exemple), le système modélise toutes les tournées de livraison et les analyse pour détecter des conflits d'accès sur des aires de livraison et propose des changements à quelques tournées. Les transporteurs valident ou pas les changements proposés et informent le système. Le lendemain, la modélisation prend en

considération les tournées réelles qui seront effectuées, afin d'assigner de nouveaux créneaux en temps réel pour les demandes des autres chauffeurs-livreurs (entre autre, les traces directes). Par conséquent, ce système partage la même base de données d'occupation des aires de livraison avec le système de SyGAL présenté plus tôt.

V.2 Buts scientifiques

L'attribution des aires de livraison aux livreurs est un problème de partage d'une ressource critique. Des approches analytiques et centralisées ont d'abord été employées pour résoudre statiquement, à l'avance, un problème bien posé. Ces approches ne peuvent toutfeois pas convenir en raison des incertitudes résultant de l'occupation illégale des aires de livraison (la modélisation a priori de tous les cas possibles n'est pas envisageable). Par conséquent, nous nous sommes concentrés sur des approches permettant l'optimisation dynamique, et spécifiquement les approches distribuées, basées sur une modélisation multi-agent. Par exemple, MADO méta-heuristique (Lepagnot et al., 2009) est un système multi-agent qui utilise une population d'agents pour exécuter des recherches locales, et quand l'un d'entre eux trouve un optimum local, il stocke la solution et répète la recherche dans un autre secteur de l'espace de recherche.

Guided CESNA est une méthode de résolution de problèmes de partage de ressources critiques basée sur un système multi-agent qui a été développé par Guillermo Garcia pendant son Master Recherche (Garcia Ochoa, 2011), effectué pour le projet d'ALF. Guided CESNA s'appuie sur un ensemble de recherches menées dans la thématique SMA thématique par Salima Hassas, de l'équipe de GrAMA (LIRIS-CNRS, Frances). Ces travaux sur CESNA (Armetta et al., 2007), MANA (Lefevre et al., 2011) fournissent des solutions décentralisées, adaptatives et auto-organisées, basées sur des modèles d'agents, pour la gestion décentralisée de ressources critiques.

Ces solutions modélisent le problème par un réseau des négociations (réseaux complexes d'échange) où chaque nœud représente un agent qui donne les propositions qui satisfont ses propres contraintes (fig.7). Ces propositions sont alors propagées, augmentées ou inhibées par l'interaction avec les propositions d'autres agents.

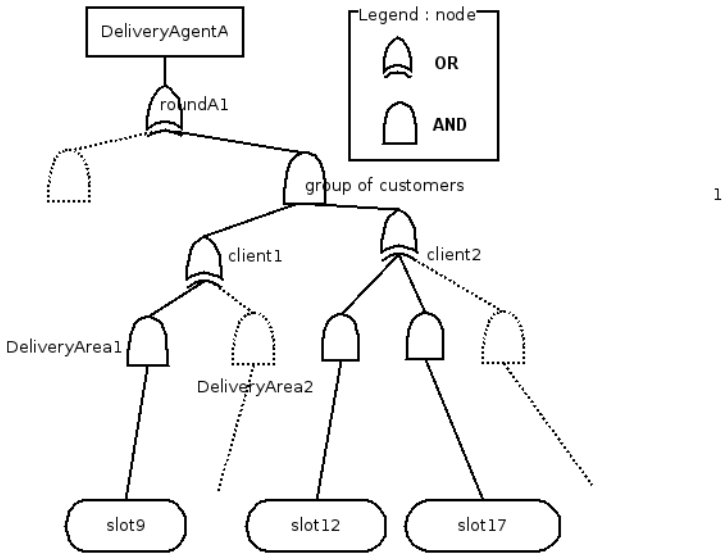

Figure 7 : Modélisation du réseau de coordination entre agents

V.3 Système Guided CESNA

Guided CESNA est une adaptation d'un protocole générique, dans lequel un agent modélise une opération de livraison, où des propositions de tournées de livraison sont évaluées selon l'intérêt de l'agent, et où les situations de conflit sont explicitement identifiées et traitées.

Un avantage de cette approche est que seule la vision locale des agents (chauffeurs-livreurs) est décrite, celle-ci est mise en relation avec les éléments décrivant les tournées de livraison (des clients livrés, aires de livraison). Aucun modèle général du problème n'est exigé ; aucun traitement centralisé n'est effectué excepté pour identifier les nœuds en conflit sur des aires de livraison. Les agents concernés par le conflit le résoudront en proposant les changements, qui ont le plus faible impact sur le reste des tournées de la livraison. Le système est basé sur un processus itératif : à chaque étape, tant qu'au moins un agent est « insatisfait » (est face à une situation de conflit) de nouvelles propositions sont élaborées par les agents concernés, en cohérence avec leur perception de l'environnement (localisation des aires de livraison et leurs disponibilités). Ces nouvelles propositions sont propagées aux autres agents pour résoudre des situations conflictuelles d'accès. À la fin de chaque étape, un nouveau calcul du niveau de satisfaction des agents est effectué.

Un autre avantage de ce modèle est que, à chaque itération, un nombre fini de tournées est considéré : celles proposées initialement par des logisticiens (transmis la veille) et celles changées en raison de situations de conflit rencontrés en mettant toutes les tournées en commun. L'exploration du réseau de coordination est alors très rapide.

V.4 Expériences

Des expériences simulées ont été entreprises avec l'objectif de représenter aussi précisément que possible le fonctionnement réel des livraisons des marchandises d'un secteur d'étude donné du centre de Lyon. Celles-ci concernaient les 1er et 2e arrondissements de Lyon, caractérisés par un haut niveau de densité commerciale et résidentielle, par des embouteillages quotidiens significatifs dus notamment à l'approvisionnement en marchandises.

Les données étaient les suivantes : 324 aires de livraisons considérées ; 332 livreurs avec une organisation de tournées (représentant 75% de livraisons effectuées au centre de la ville) ; 50 entreprises de livraison ; 3750 clients.

Trois types différents de livreurs ont été considérés :

- les messagers express, avec une moyenne de 60 arrêts par jour (de 30 à 90) ;
- les messagers classiques, avec environ 20 clients par jour ;
- des opérateurs de livraison de commerce électronique : avec environ 15 clients par jour, qui ont des contraintes temporelles importantes (ils opèrent en deux périodes de livraison : une le matin, un autre en fin de journée).

Pour coller plus à la réalité, des livreurs en trace directe (considérés comme éléments disruptifs du système) ont été ajoutés pendant la résolution. Ceci correspond aux chauffeurs-livreurs qui font des trajets courts : ils emploient la réservation en temps réel pour les livraisons. Ils représentent 75% des trajets en centre-ville.

Les occupations illégales des aires de livraison (par des voitures de tourisme, des artisans, ou des chauffeurs-livreurs ayant dépassé le temps de réservation accordé) sont également prises en considération dans notre modèle : des agents perturbateurs sont ajoutés à la simulation, une fois que

l’ensemble initial de sociétés de livraison atteint une solution satisfaisante pour tous. Par conséquent, ils sont confrontés à l’indisponibilité d’une aire de livraison. Que peut alors faire le chauffeur-livreur ? Il peut demander un ajustement de sa tournée de livraison au système. Le nombre varié de tels éléments perturbateurs a été intégré dans des simulations (de 25% à 50% de sociétés de livraison précédentes), pour analyser l'impact sur le système et sa capacité de fournir une nouvelle proposition globale appropriée à tous les agents.

Des clients de chaque agent de livraison ont été créés en utilisant des points aléatoires sur la carte du périmètre étudié et nous avons assigné à chaque destinataire une liste de 3 ou 4 meilleures aires de livraison les plus proches. Nous avons également défini les groupes locaux de clients : pour chacun, il est facile pour le chauffeur-livreur de permuter deux clients sans impact important sur la tournée de livraison. Il s’agit là encore d’une connaissance Métier intégrée au système.

Pour le calcul du temps de déplacement, nous avons essayé de coller à la réalité. Pour calculer la matrice des distances entre les aires de livraison, OpenStreetMap (OpenStreetMap contributors ©, 2013) a été employé pour identifier les rues et les blocs de données du centre-ville de Lyon, aussi bien que l'outil pgRouting (2013, fournissant la fonctionnalité géospatiale de cheminement basée sur un algorithme A*) pour le calcul de plus court chemin entre chaque paire d’aires de livraison. Quand des données réelles entre deux aires ne pouvaient pas être réalisées avec OpenStreetMap, la distance euclidienne a été employée. Une fois les distances calculées, les temps de déplacement sont déterminés en se basant sur une vitesse moyenne au centre-ville fixe de 15 km/h.

De plus, le modèle prend en considération le caractère critique d’occupation des aires de livraison (courbes de criticité horaire fournie par le LET pour le périmètre étudié) pour produire une nouvelle proposition quand un conflit sur une aire de livraison est trouvé. Le système cherche alors une aire voisine avec la plus faible criticité afin de pour diminuer les possibilités de créer un nouveau conflit. Cette stratégie permet aussi d’augmenter la vitesse de résolution.

V.5 Indicateurs de performance

Nous utilisons les quatre indicateurs de performance suivants :

- Distance de Hamming entre la tournée finale et la tournée initialement proposée par le logisticien ;
- Niveau moyen de satisfaction d'agents, c’est-à-dire le % de la proposition (aire de livraison) admise sans conflit (satisfaction = booléen) ;
- Intérêt moyen des agents, c’est-à-dire les valeurs moyennes collectées par tous les agents pour les tournées finales proposées.
- La durée globale de livraison (somme des différentes durées des tournées de livraison) : plus elle est petite, meilleur c’est du point de vue de la livraison.

V.6 Discussion et résultats d'essai

Avec les données utilisées, il n'y a aucun doute que nous simulons une situation proche de la réalité. Après plusieurs essais conduits sur un cas réel du centre de la ville de Lyon, on peut observer les résultats suivants :

- Le système trouve toujours une solution (c’est-à-dire tous les agents trouvent toujours une aire de livraison sans aucun conflit d’accès à la même aire). Ceci signifie que le parc existant d’aires de livraison semble adapté à l'activité de livraison dans le périmètre de l'étude (dans les contraintes de temps des clients, la longueur des aires, etc.).

- Le temps d'exécution est entièrement satisfaisant : même pour les calculs avec ajustements en temps réel (quand les chauffeurs-livreurs exigent des modifications, même simultanément), la résolution est immédiate. On devrait mentionner qu'un processus de nettoyage a été ajouté, effaçant des propositions inutilisées par des agents, ainsi le réseau ne se développe pas trop rapidement, atteignant une taille maximum.
- Chaque temps d'itération est compris entre 0,1 sec. et 11 sec., selon l'essai. Plus le nombre d'itérations est grand, plus le temps d'itération est important. Ceci est justifié parce que pour chaque nouvelle itération, les agents ont plus de branches (ils créent des propositions) et donc plus de nœuds doivent être considérés.
- La distance moyenne entre les tournées initiales et finales de tous les livreurs est environ 12 (10 à 15 sur 43 positions concernées). Sa valeur maximale est 35, c'est-à-dire, la tournée finale proposée comporte 35 positions différentes de la tournée initiale (de 44). Dans notre modèle, les positions considérées pour la distance de Hamming affectent trois éléments différents, avec les poids spécifiques : le rang de client dans la tournée de livraison (+3), l'aire de livraison sélectionnée (+2), et l'occupation de tranche de temps de l'aire de livraison (+1).

V.7 Avantages du système global d'affectation des aires de livraison

Les transporteurs font leurs tournées avec plus d'assurance quand les aires de livraison sont entièrement disponibles, le parc d'aires de livraison de la ville est mieux exploité et il y a moins de congestion dans les rues.

En plus chaque jour, les chauffeurs-livreurs peuvent changer leurs tournées de livraison en temps réel (en tenant compte des embouteillages, de l'annulation de clients, etc.), en visualisant les occupations des aires de livraison et en faisant la demande au système. Ceci est fait par l'interface homme-machine proposée par le système SyGAL décrit précédemment.

La ville peut également employer l'information fournie par le système pour étudier le dimensionnement de ses aires de livraison (la taille, le nombre et les créneaux de mise à disposition des aires de livraison). Par exemple, le fait qu'on observe des conflits récurrents sur une aire dans un secteur de la ville pourrait indiquer que le niveau d'activité économique est supérieur à la capacité d'accueil des aires de livraison disponibles.

VI. Etude et proposition d'un système terrain pour propager des informations vitales vers tous les usagers concernés

En relation avec le système de gestion des réservations des aires de livraison, il est important de choisir un système d'information approprié qui informe sur le terrain les utilisateurs des aires de livraison sur la situation actuelle (libre – occupé et de quand à quand). En effet, pour un comportement approprié de tous les utilisateurs, non seulement des professionnels de la livraison, mais également des voitures particulières, il est important de leur communiquer la situation courante de chaque aire de livraison.

Plusieurs solutions ont été identifiées par SEMCO sous appellation CEMAVIL avec différents niveaux d'information à fournir, ainsi que le coût de mise en œuvre correspondant.

La solution la moins coûteuse est celle qui ne nécessite aucune installation physique sur l'aire de livraison. Dans ce cas l'information d'occupation purement numérique est fournie sur les dispositifs mobiles des utilisateurs (smartphone ou tablette), sur place on ne trouve qu'un panneau fixe indiquant que l'aire de livraison est gérée informatiquement, avec l'adresse du site correspondant. Cette solution très économique a pour défaut majeur l'obligation de forcer les personnes intéressées à aller chercher l'information sur l'occupation via internet. D'autres utilisateurs (comme des automobilistes) peuvent ignorer cette information et occuper de façon illicite des aires de livraison.

Des solutions plus physiques, avec l'information affichée sur les aires de livraison, sont donc plus appropriées, ceci grâce à des solutions d'affichage plus ou moins complètes : une information minimum avec une lumière de deux ou trois couleurs de type feu tricolore (rouge = occupé, vert = libre, voire orange = très prochainement occupé), ou une information plus précise, fournissant l'identification du véhicule, la période de l'occupation et même le planning d'occupation pour l'heure à venir sont envisageables moyennant un coût par aire de plus en plus important.

Nous avons envisagé différentes solutions qui doivent être évaluées de point de vue de leur intérêt, de la facilité d'utilisation et du coût et donc de la rentabilité.

VII. Propositions des services complémentaires sur les aires de livraison

Un des problèmes majeurs dans la mise à disposition des aires de livraison est leur occupation illicite par des particuliers d'une part et par des artisans d'autre part. Comme le statut juridique des aires de livraison n'est pas toujours très précisément connu, voire défini, les agents de police ne considèrent pas cette verbalisation comme prioritaire.

Pour dépasser cette approche strictement répressive, une autre possibilité est de munir les aires de livraison de services annexes qui devraient pouvoir persuader les « squatteurs » de ne pas y stationner.

Nous avons, dans le cadre du projet, élaboré une road-map, qui liste toute une série de propositions de services, qui permettent d'aller dans le bon sens de la meilleure fluidité de la circulation et de la livraison en ville (figure 8).

En observation cette road-map (figure 8), on peut distinguer horizontalement deux approches, une statique, l'autre dynamique avec une évolution naturelle du statique vers le dynamique. Verticalement trois catégories de situations ont été identifiées : des systèmes de réservation, des services additionnels et des services en rupture. Ces idées sont en cours d'exploration. Il s'agit de la « professionnalisation » des aires de livraison par la mise en place de services supplémentaires aux utilisateurs du système ALF pour à la fois améliorer les conditions de déchargement et pour dissuader les « squatters ».

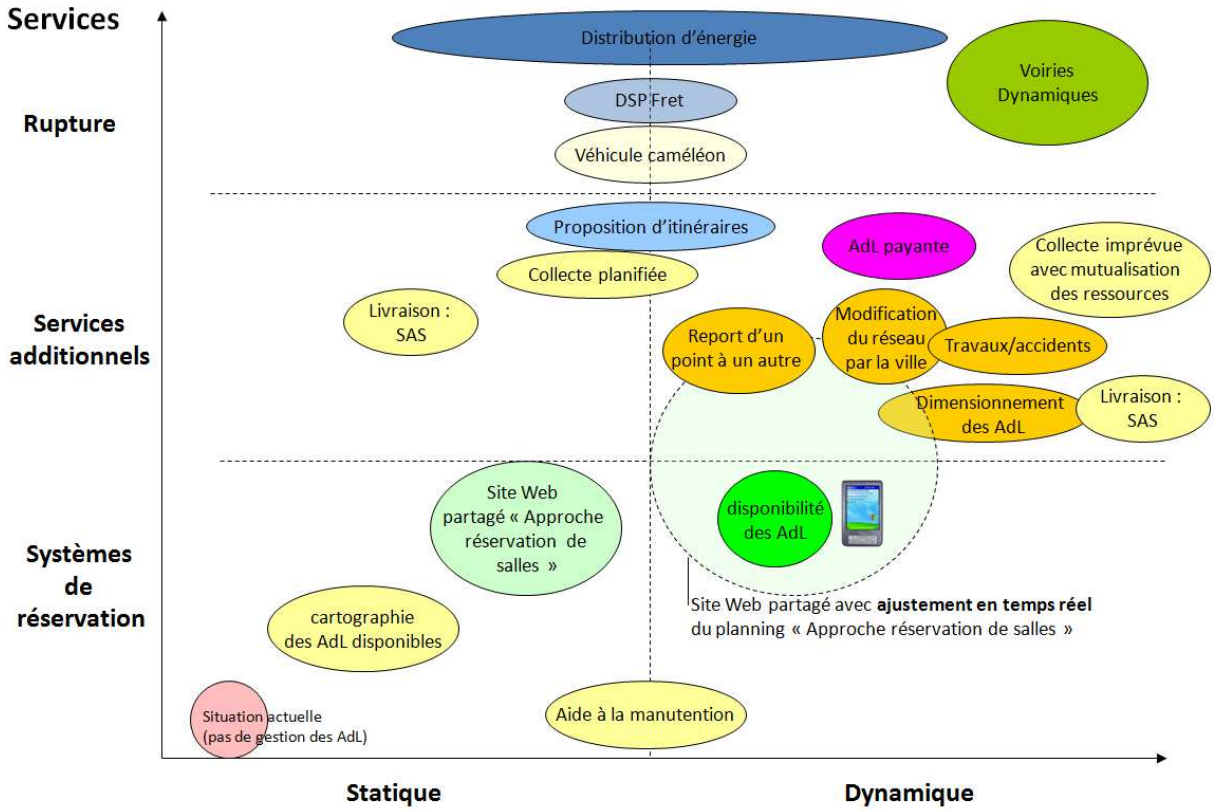

Figure 8 : La road-map d'ALF : Cartographie des services des aires de livraison du futur

Ces nouveaux services seraient de natures très diverses :

- des casiers-consignes mutualisés entre les clients et les livreurs,
- des outils de manutention,
- la distribution d'énergie électrique par induction permettrait de recharger des véhicules pendant la livraison,
- l'affectation des voies de circulation et leurs orientations selon l'importance du trafic en s'appuyant sur le principe « de voiries dynamiques » tenant compte des flux de véhicules en ville.

VIII. Différentes approches de mutualisation

La mutualisation est devenue progressivement une approche qui est de plus en plus étudiée par les différents acteurs de la ville. En effet, la circulation en ville étant de plus en plus problématique, les entreprises de livraison constatent que la rentabilité de leur activité décline. Elles deviennent donc intéressées par des solutions à ce problème.

Gérer mieux l'espace de stationnement, gérer mieux les flux circulatoires, organiser autrement des livraisons sont des aspects qui doivent être étudiés. Parmi les solutions possibles deux termes apparaissent comme centraux : la massification et la mutualisation. Les deux peuvent aller dans le même sens. En effet, en envoyant moins de véhicules de livraison, plus garnis, on diminue la circulation au centre-ville. Pour les garnir on devrait pouvoir faire le groupage entre les différentes entreprises de livraison en créant des DSP (délégation de services publiques) de livraison, c'est-à-dire affecter à chaque secteur un nombre limité d'acteurs de livraison et distribuant ces DSP de façon équitable entre les différents acteurs de la livraison.

Les différentes mutualisations sont donc principalement les suivantes :

- Mutualisation des aides de livraison entre tous les acteurs de la livraison,
- Gestion dynamique des aires de livraison pour mutualiser de façon appropriée cet espace public,
- Mutualiser des aires de livraison entre les livraisons et d'autres occupations, comme des parkings ou des stations de taxi selon les plages d'horaire à définir (matin, journée seulement, jour ouvré, …).
- Proposer par exemple une gestion dynamique entre le rôle de parking et d'AdL : 10h-12h et 15h-17h jour ouvrable, ….
- Mutualisation de la distribution (délégation par secteur géographique à un ensemble de sociétés par segmentation)
- Création d'Espaces Logistiques Urbains (ELU), lieux de rupture de charge et la prise en compte de gestion du dernier kilomètre par triporteur, vélo ou petit véhicule électrique. Avec une problématique importante qui est la gestion de la traçabilité.
- Prise en compte de la notion de véhicule caméléon couplant le transport de fret et des passagers,
- Mise en place des supports de distribution d'énergie électrique par induction qui pourraient aussi être employés pour des véhicules de tourisme selon des horaires à définir.

IX. Les principales contributions du projet ALF

Nous pouvons synthétiser la production du projet en matière de logiciels développés par rapport aux situations qui peuvent être couvertes. En effet, nous avons préféré fournir des « briques » logicielles, c'est-à-dire des modules interconnectables entre eux et avec des modules externes, permettant ainsi une plus grande flexibilité et une mise en place progressive. Cette approche nous a paru plus appropriée que de fournir un système intégré monolithique composé exclusivement de nos sous-systèmes.

1. Planification initiale : Guided CESNA ou solution « maison » de l'entreprise de livraison,
2. Création initiale interactive : SyGAL,
3. Aide à la gestion des aléas : Guided CESNA,
4. Gestion interactive des aléas : SyGAL,

5. Matérialisation plus ou moins poussée des informations sur les aires de livraison : CEMAVIL,
6. Gestion de la Délégation du Service Public (DSP) Fret dans les Espaces de Logistique Urbaine (ELU).

Figure 9 : Différentes briques logicielles proposées par ALF

X. Conclusions

L'objectif du projet de recherche ALF était de démontrer la faisabilité et l'intérêt pour un système permettant à des acteurs de la livraison (logisticiens et chauffeurs-livreurs) de réserver des aires de livraison en créant un prototype informatique du système. La prochaine étape est un déploiement de cette solution dans une vraie situation c'est-à-dire dans une ville sélectionnée avec un système d'information terrain approprié.

Du point de vue de la recherche nous avons exploré différentes nouvelles manières d'effectuer la livraison de marchandise en ville. Nous pouvons mentionner en particulier différents types de mutualisation comme le partage dynamique des aires de stationnement entre les livraisons de marchandises et les véhicules privés ; comme la mutualisation des livraisons allant dans le sens de leur massification et la désignation des sociétés de livraison par secteur géographique en leur donnant le statut de DSP (délégation de service public) et par des solutions spécifiques pour la livraison du dernier kilomètre (comme par exemple par bicyclette ou par tricycle).

L'intégration globale des composants d'information et de communication dans les camions et/ou les aires de livraison ainsi que les aspects technologiques de communication (mise en réseau sans fil) a été

seulement étudiée dans le projet d'ALF. Leur mise en œuvre concrète devrait être faite dans une seconde étape du projet d'ALF.

L'état d'utilisation des aires de livraison doit être connu au moins électroniquement pour les usagers concernés. Un système de signalisation visuelle physique sur le terrain montrant la disponibilité ou l'occupation, les créneaux réservés et par qui (plaque minéralogique du véhicule) plus ou moins complet, mais également plus ou moins couteux est à étudier et à valider (du point de vue des usages et des coûts). On se doit de permettre aux livreurs qui ne sont pas des membres du système ALF de s'arrêter sur des aires de livraison en perturbant le moins possible le fonctionnement nominal du système.

Les résultats prévus après le déploiement de la solution ALF seraient :

- Le bénéfice des entreprises de livraison devrait augmenter grâce à l'optimisation de leur activité,
- Les frais de transport devraient se réduire de 5 à 17 %,
- La planification, l'organisation et la gestion de tous les processus logistiques devraient être plus justes car assurées en temps réel,
- Le délai de livraison devrait être amélioré, ainsi que le respect des créneaux de rendez-vous,
- Le temps du passage des marchandises par une chaîne d'approvisionnement devrait être réduit,
- La réduction de la consommation d'énergie et de la pollution devrait en découler.

Les principaux résultats

Une double étude, à partir de modèles d'une part, et à base d'observations du terrain d'autre part, a permis de démontrer : (1) que le dimensionnement actuel du parc des aires de livraisons étudié est généralement approprié (2) qu'il est possible d'optimiser les livraisons pour accroître la qualité de l'air en centre-ville et améliorer les conditions de livraisons.

Deux logiciels ont été conçus et développés, l'un de planification dynamique à base d'une approche multi-agents stigmergique (laissant des traces dans l'environnement) Guided CESNA, capable de gérer les tournées, et l'autre SyGAL, fournissant un support interactif de préparation et de gestion des tournées, pour le logisticien et le chauffeur-livreur. Des préconisations élaborées pour une organisation des livraisons plus performantes et des équipements des aires de livraison innovants prennent la forme d'une roadmap.

Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

1. Une meilleure connaissance du terrain issue d'une enquête terrain et son rapprochement avec le modèle FRETURB. Ces études ont démontré que la perception généralement admise que « 80 % des livraisons se font en dehors des aires de livraison » était due à l'occupation illicite des aires de livraison. L'étude théorique basée sur le modèle FRETURB et la simulation basée sur SIMETAB, SIMTURB, ainsi que l'enquête terrain pour une zone délimitée dans l'hyper-centre de Lyon ont montré que la capacité en aires de livraison et la sollicitation temporelle sont suffisantes pour absorber la quasi-totalité des besoins en aires de livraison.

2. Les résultats d'observation des pratiques des commerçants, des transporteurs, des services de la mairie et la société d'exploitation des transports en commun ont permis de faire le point sur la situation actuelle et de dégager des évolutions des comportements prévisibles.

3. La mise en place d'un prototype informatique du système SyGAL (Système interactif de Gestion des Aires de Livraison) qui gère la base de données commune d'occupation des aires de livraison et permet à toutes les entreprises de livraison de solliciter et gérer des réservations des aires de livraisons. Plusieurs possibilités sont proposées : réservation ponctuelle en mode carte, construction d'une tournée de livraison avec des détails de navigation dans la ville, finalisation de la tournée préétablie dans un autre logiciel (propriétaire) par la réservation des aires de livraison, réservation à l'aide de la visualisation de la grille d'occupation des aires de livraison susceptibles d'être concernées par la tournée, …

4. La mise en place d'un prototype informatique du système Guided CESNA (Système décentralisé d'aide à l'affectation dynamique des aires de livraison) basé sur une approche multi-agents à base de négociation (stigmergique). Ce système est en mesure de gérer des conflits d'occupations (légales ou illégales) des aires de livraison, notamment dus aux conditions dynamiques, par exemple liés à la circulation. Le système n'a pas besoin de vision globale a priori ; en cas d'aléa, il propose dynamiquement aux chauffeur-livreurs d'adapter leur tournée en fonction de la connaissance locale perçue via l'environnement.

5. La proposition d'un ensemble de solutions CEMAVIL de systèmes d'information selon le niveau d'information qu'on veut donner sur le terrain : pas d'information sur un support physique (information purement numérique sur les téléphones mobiles des acteurs), information plus ou moins complète (occupé ou libre, occupé par qui, occupé de quand à quand, …) sur des afficheurs physiques à proximité des aires de livraison concernés informant sur place tous les usagers potentiels.

6. Les observations prospectives en matière d'évolution de la législation, de services complémentaires à proposer sur des aires de livraison et discussion des différentes approches de la mutualisation des livraisons.

7. L'étude prospective de la création d'un *serious game* à destination des professionnels (logisticiens et chauffeurs-livreurs), du grand public et des décideurs leurs montrant les points saillants de l'approche réservation des aires de livraison.

8. La proposition d'une road-map des aires de livraison du futur en montrant les principales évolutions en matière de mutualisation et de proposition de services complémentaires justifiant fonctionnellement la spécificité des aires de livraison.

9. La réflexion sur les différentes facettes de la mutualisation : mutualisation des aires de livraison, mutualisation avec d'autres occupations (taxis, parking des voitures de tourisme, …) par plages d'horaire (journée seulement, jours ouvrés), mutualisation de la distribution par segmentation et délégation par secteur à un ensemble limité d'entreprises de livraison, création des Espaces de Logistique Urbaine, les lieux de rupture de charge et le choix de traitement du dernier kilomètre par un moyen doux (triporteur, vélo, …) avec gestion poussée de la traçabilité.

10. Réflexion sur le passage à l'expérimentation avec une ville moyenne intéressée et un financement approprié à trouver.

Références

Ambrosini C., Patier D., Routhier J.-L. (2010) Urban freight establishment and tour based surveys for policy oriented modelling, Procedia - Social and Behavioral Sciences 2, 3 pp. 6013-6026

Aifandopoulou G., Salanova J.M., Mistakis E., Zubillaga F., Lekuona G., Papanikolau A. (2012) FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.6.3. Barriers for FREILOT deployment. Ertico – ITS Europe, Brussels.

Armetta, F., Hassas, S., Pimont, S., Lefevre, O. (2007) Towards the control of emergence by the coordination of decentralized agent activity for the resource-sharing problem. Engineering Self-Organising Systems p. 132-150, LNCS Springer Verlag.

Blanco R., Garcia E., Rodriguez R., Novo I., Tevell M., Thebaud J.B., Turksma S., Koenders E., Uriarte A., Gonzalez-Feliu J., Pluvinet P., Zubillaga Elorza F., Salanova J.M. (2012), FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.4.1 Evaluation methodology and plan. Ertico – ITS Europe, Brussels.

Dablanc, L, Patier D. et al., (2010) City Logistics Best Practices: a handbook for authorities, EU, interreg, report 276 p. www.sugarlogistics.eu

David B, Chalon R, Favre B. (2010) TIC et nouvelles interactions home-machine pour les camions et bus du future : perspectives e-Truck et e-Bus, in C. Kolski (coord.) Interaction homme-machine dans les transports : Information voyageur, personnalisation et assistance, TRAITÉ IC2 – Lavoisier – Hermès, 2010

David B, Yin C., Zhou Y., Xu T., Zhang B. Jin H., Chalon R., (2012), SMART-CITY: problematics, techniques and case studies, ICCM'2012 8th International Conference on Computing Technology and Information Management, April 24-26, Seoul, Korea

David B, Chalon R, Patier D., Routhier JL, Deslandre V, Hassas S, Hervet T., Thebaud J.B. Geray L, J.B. Gallea, P. Descombes, ALF – Aire de Livraison du Futur, (2012), rapport PREDIT, MEDDL, 171 pages

Garcia Ochoa, G.T. (2011) « Planification dynamique de tournées: application aux livraisons de marchandises en ville », Research Master's degree report (Informatique, option Knowledge and Decision), Université Claude Bernard-Lyon 1.

Gonzalez-Feliu J., Faivre d'Arcier B., Rojas N., Basck P., Gardrat M., Vernoux G., Lekuona G., Zubillaga F. (2012) FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.6.4. Cost-benefit analysis. Ertico – ITS Europe, Brussels.

Gonzalez-Feliu, J., Pluvinet, P., Gardrat, M. (2013), How to deploy urban logistics solutions from pilot results? The case of delivery space booking systems. European Transport/Trasporti Europei, Vol. 53, forthcoming.

Lefevre, O., Armetta, F., Clair, G., Hassas, S. (2009) MANA : a new multi-agent approach for complex assignment problems. 2009 Computation World : Future Computing, Service Computation, Cognitive, Adaptive, Content, Patterns p. 167-172.

Lepagnot, J., Nakib, A., Oulhadj, H., Siarry, P. (2009) Performance analysis of MADO dynamic optimization algorithm. In : Intelligent Systems Design and Applications, ISDA'09. Ninth International Conference on. p. 37–42.

OSM (© OpenStreetMap contributors, 2013) http://www.openstreetmap.org/

Patier D., Routhier J.-L. (2008), How to Improve the Capture of Urban Goods Movement Data?, BONNEL P., MADRE J.-L., LEE-GOSSELIN M., ZMUD J (Eds). 8th International conference on Survey Methods in Transport, May 2008, Annecy (France), France

Patier D., Routhier J.-L. (2009), Une méthode d'enquête du transport de marchandises en ville pour un diagnostic en politiques urbaines, Cahiers scientifiques du transport (Les), 55 pp. 11-38

pgRouting tool (2013) http://www.pgrouting.org/, an extension on the postGIS geospatial database : http://www.postgis.org/

Pluvinet P., Gonzalez-Feliu, J., Ambrosini C. (2012) GPS data analysis for understanding urban goods movement, *Procedia Social and Behavioral Science*, vol. 39, pp. 450-462. (Métode GPS)

Routhier, J. L., & Toilier, F. (2007). FRETURB V3, a policy oriented software of modelling urban goods movement, proceedings of the 11th World Conference on Transport Research - WCTR'07, 24-28 June 2007, Berkeley, USA.

SUGAR (2010) Good Practices Analysis

Toilier F., Alligier L., Patier D., Routhier J.-L (2005), Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : FRETURB, version 2., Rapport de recherche

Zubillaga Elorza F., Turksma S., Tops R., Salanova J.M. Gonzalez-Feliu J., Blanco R., Tevell M. Enered M. (2012) FREILOT. Urban Freight Energy Efficiency Pilot. D.FL.6.1 Business model. Ertico – ITS Europe, Brussels.

Zuev I A (2011), Design and Development of a prototype of the Delivery Area Booking System and connection with mashup User interface, TFE Ecole Centrale de Lyon for Technical University of State of Ural

Diffusion des résultats

Rapports :

Garcia Ochoa, G.T**., Planification dynamique de tournées: application aux livraisons de marchandises en ville**, Mémoire de Master 2 Recherche (Mention Informatique, Spécialité Connaissances et Décision), Université Claude Bernard-Lyon 1, juin 2011.

Igor Alekseevich ZUEV, **Design and Development of a Prototype of the Delivery Area Booking System by adaptation of a Web Room Reservation System and Connection with mashup User Interfac**e, TFE à l'Ecole Centrale de Lyon pour Technical University of State of Ural, avril – juin 2011

Oleksandr SOLOVIOV, **Projet ALF (Aires de Livraison du Futur)Mise en place d'un prototype du système DABMaS (Delivery Area Booking and Management System**, Rapport de Travail de Fin d'Etudes, Ecole Centrale de Lyon, Juin – Septembre 2011

Marcel AMANT, **Système de Gestion des Aires de Livraison**, Mémoire CNAM, octobre 2011-Juin 2012

Chapitres de livres :

Bertrand DAVID, René CHALON, Bernard FAVRE, **ICT and new human-machine interactions for trucks and buses in the future: e-Truck and e-Bus perspectives**. In C. Kolski (Ed.), Human-Computer Interactions in Transport, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 978-1-84821-279-4, pp. 157-201, 2011.

Bertrand DAVID, René CHALON et Bernard FAVRE **TIC et nouvelles interactions homme-machine pour les camions et bus du futur, perspectives e-Truck et e-Bus**, in C. Kolski (Ed.) Interaction homme-machine dans les transports : Information voyageur, personnalisation et assistance, TRAITÉ IC2 – Lavoisier – Hermès, 2010

Articles :

Bertrand DAVID et al., **Delivery area IT based management: ALF project**, The 8th European ITS Congress "Intelligent mobility - ITS for sustainable transport of persons and goods in urban regions"; Lyon June, 2011

Bertrand DAVID, Chuantao YIN, Yun ZHOU, Tao XU, Bingxue ZHANG, Huiliang JIN, René CHALON, **SMART-CITY: Problematics, Techniques and Case Studies**, 8th ICCM: 2012 International Conference on Computing Technology and Information Management (8th NCM and 3rd ICNIT), April 24 - 26, 2012. Seoul, Republic of Korea

Danièle PATIER, Bertrand DAVID, Véronique DESLANDRES, René CHALON**, A New Concept for Urban Logistics: Delivery Area Booking**, The Eighth International Conference on City Logistics, Bali, Indonesia,17th - 19th June 2013

Présentations :

Bertrand DAVID, **Projet ALF : Aire de Livraison du Futur**, Thème Collaboration inter-entreprises et logistique mutualisée, Carrefour à mi-parcours du Prédit 4, Bordeaux, 10-12 mai 2011

Bertrand DAVID**, ITS in ICT Education at ECL and INSA**, The 8th European ITS Congress "Intelligent mobility - ITS for sustainable transport of persons and goods in urban regions"; Session Training to ITS, Lyon June, 2011

Bertrand DAVID**, La gestion mutualisée - Gestion mutualisée des aires de stationnement**, Séminaire PREDIT de valorisation de recherches sur la Collaboration inter-entreprises et La logistique mutualisée, Paris 22 mars 2012

Bertrand DAVID, **Three case studies of IT contributions to Smart City**, Smart Cities session, The 5th Beihang Centrale Workshop, Beihang University Beijing, 4th-6th January 2012

Bertrand DAVID, **Smart Cities: Problematic, Techniques and Case Studies**, The French Chamber of Commerce, CCIFC (Chambre de Commerce et d'Industrie Française en Chine) , Pékin 10 mai 2012

Bertrand DAVID, **Projet ALF,** Lyon Urban Truck&Bus, Journées Scientifiques du Pôle Le 26 Juin 2012

Bertrand DAVID, **SMART-CITY: Problematics, Techniques and Case Studies**, Mobile Monday Orange #55 - Smart City Case Sharing, Beijing, 29octobre 2012

Bertrand DAVID, Frédéric ARMETTA, **Les aires de livraison du futur**, Colloque «La logistique à l'ère de la ville numérique », 11 avril 2013, Lyon

Bertrand DAVID, **Les aires de livraison du futur**, 6ème Journée Régionale de la Logistique, La Journée Régionale de la Logistique est un évènement annuel du Cluster Paca Logistique, Atelier n°2 – « Smart cities et logistique urbaine : quels outils ? », 13 juin 2013, Marseille