

GESTION SOUS INCERTITUDE DES TRANSPORTS PUBLICS EN LIBRE SERVICE

Tatiana CUCU^{1,2}, Luminita ION¹, Yves DUCQ², Jean-Marie BOUSSIER^{1,3}

¹Département LOG, Ecole d'Ingénieurs en Génie des Systèmes Industriels, 26 rue de Vaux de Foletier, 17041, Cedex 1, La Rochelle, France

²Laboratoire d'Intégration du Matériau au Système, Département LAPS - Groupe GRAI UMR 5218 CNRS - Université de Bordeaux 1 – ENSEIRB, 351 cours de la Libération, 33405 Talence Cedex, France

³Laboratoire L3i, Université La Rochelle, Avenue Michel Crépeau, 17042, Cedex, La Rochelle, France

TATIANA.CUCU@EIGSI.FR LUMINITA.ION@EIGSI.FR YVES.DUCQ@LAPS.IMS-BORDEAUX.FR JEAN-MARIE.BOUSSIER@EIGSI.FR

Résumé — Pour être attractif, un service de transport en libre service (service car-sharing) doit assurer aux abonnés un degré de disponibilité sans faille. La gestion des moyens techniques et humains, demeure d'autant plus difficile qu'il s'agit d'un système dynamique, à tendance saisonnière, et à forte coloration comportementale. Ces travaux proposent une méthode hybride basée sur des concepts issus de la logique floue, de l'optimisation et de la théorie des croyances, permettant de modéliser les préférences des abonnés et de déterminer le taux d'utilisation maximal des stations. Le gestionnaire d'un libre service peut s'appuyer sur cette démarche pour mieux planifier les activités de son équipe et pour réduire les coûts de l'indisponibilité et de l'exploitation.

Mots clés — gestion, car-sharing, comportement, indisponibilité.

I. INTRODUCTION

Les changements de la société et des styles de vie ont rendu les systèmes des transports publics essentiels à la vie quotidienne. De nouvelles formes de transport en commun se sont développées ces dernières années, comme la voiture en libre service (car-sharing). Pourtant, les gestionnaires des transports publics de petites et moyennes villes se montrent réticents à l'implémentation d'un tel service car sa gestion s'avère difficile tant de point de vue des ressources humaines que matérielles.

Le fait d'emprunter une voiture dans une station et la rendre dans une autre crée un ensemble de problèmes d'organisation, comme l'équilibre des stations et des coûts de fonctionnement non prévisibles. Dans la mesure où ce type de service dispose d'un nombre réduit de stations et de voitures, d'un nombre restreint d'abonnés qui peuvent s'en servir pour des déplacements occasionnels autres que les déplacements maison-travail, il est difficile de s'appuyer sur des bases statistiques solides pour prévoir l'état d'équilibre des stations à court ou moyen terme.

La gestion d'un système sociétal complexe est d'autant plus difficilement abordable, qu'il opère avec des entités qui raisonnent, choisissent, interagissent et peuvent, selon le contexte, changer de préférences et donc de comportement.

En parallèle, la gestion des ressources humaines demeure compliquée parce que l'équilibre des stations doit être fait conjointement avec d'autres activités (entretien, nettoyage, charge des batteries pour des voitures électriques ou hybrides...).

Pour améliorer la gestion de ce type de systèmes, avec un fort caractère saisonnier et dans le cadre d'un équilibre évolutif

« offre - demande », la modélisation des comportements reste l'outil le plus efficace.

Dans la section II nous présentons la description d'un service car-sharing en mettant en évidence les acteurs et leurs interactions. Le fonctionnement d'un système dynamique de ce type est illustré par une grille GRAI. Cette grille permet de visualiser les faiblesses dans l'organisation du service et de collecter l'ensemble de décisions sur lesquelles va porter notre analyse. Ensuite nous proposons une approche hybride permettant de classer, *a priori*, les stations selon les besoins potentiels des abonnés (section III) afin de résoudre le problème de disponibilité du service qui apparaît dans certains créneaux horaires.

Dans la dernière section (section IV) nous montrons comment les responsables de ces services exploiteront ces résultats afin de prévoir les activités et contrôler les ressources humaines et techniques ainsi que les développements en cours.

II. LE SERVICE CAR-SHARING

A. Description du service public

Nous allons utiliser pour notre étude sur un cas concret service car-sharing La Rochelle (données 2004). La Figure 1 montre qu'il s'agit d'un système complexe avec beaucoup d'interdépendances techniques et humaines.

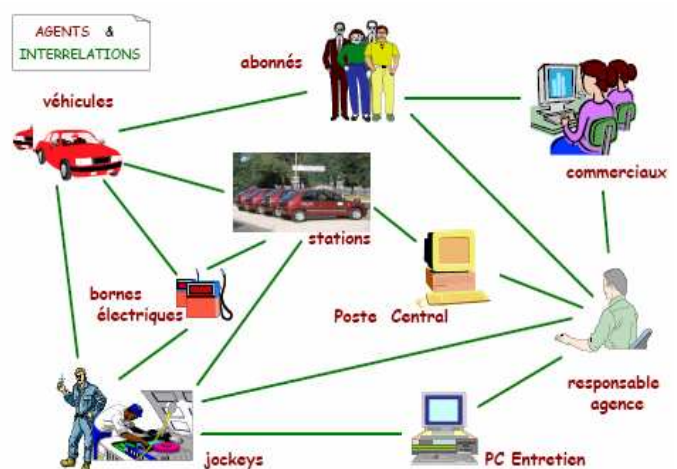


Figure 1 : Acteurs et leurs interactions

Ce type de service est généralement organisé comme suit :

1. Ressources humaines : le gestionnaire du système

supervise l'activité des commerciaux (responsables des relations avec les abonnés) et de quelques ouvriers (jockeys) qui assurent l'équilibre entre les stations, les opérations d'entretien, telles que la charge des véhicules électriques, le processus de nettoyage, les réparations, le suivi du contrôle technique.

2. **Ressources techniques** : Pour une ville de taille moyenne, le service ne dépasse pas 50 voitures électriques adaptées au trafic urbain et pour des voyages courts. Les voitures électriques sont distribuées dans plusieurs stations situées dans les points stratégiques de la ville. Le nombre de places par stations peut varier entre 8 et 18. Un système informatique est embarqué dans chaque véhicule pour assurer l'interface entre l'utilisateur (jockey ou client) et la voiture. Il mémorise les informations (heure d'emprunt ou heure de restitution, identification de l'utilisateur, nombre de kilomètres, état de charge des batteries, etc.). Ces informations transmises par voie hertzienne à un système informatique situé sur chaque station sont transférées à travers une ligne téléphonique au poste central. Le poste central peut émettre des signaux d'alarme selon différents critères ; par exemple si le nombre de voitures disponibles dans une station est inférieur à un seuil, ou en cas de non-paiement d'abonnement. Ce système de gestion gère toutes les informations liées à la flotte et aux clients et peut agir sur la disponibilité de voitures telle que « réserver une voiture pour des opérations de maintenance ».

3. **Utilisateurs** : Les clients du service sont des citoyens qui souscrivent un abonnement pour utiliser une voiture. Les clients et les jockeys reçoivent une carte à puce qui leur donne accès aux voitures selon leurs autorisations.

B. Indisponibilité des ressources

L'équilibre « offre-demande » entre les stations: un problème majeur de ce type de service est celui propre aux systèmes dynamiques : le calibrage des stations. Le fait d'emprunter librement (sans réservation) une voiture dans une station et de la rendre dans une autre crée un ensemble de problèmes d'organisation à court et moyen terme.

La figure 2 montre un exemple typique d'une station (S2) pour laquelle la différence entre les voitures entrantes et sortantes est calculée toutes les 15 minutes ; puisque le nombre de places disponibles dans cette station est limité à 12, l'intervention des jockeys était nécessaire à 10 heures (pas assez de véhicules) et à 13 heures (trop de véhicules).

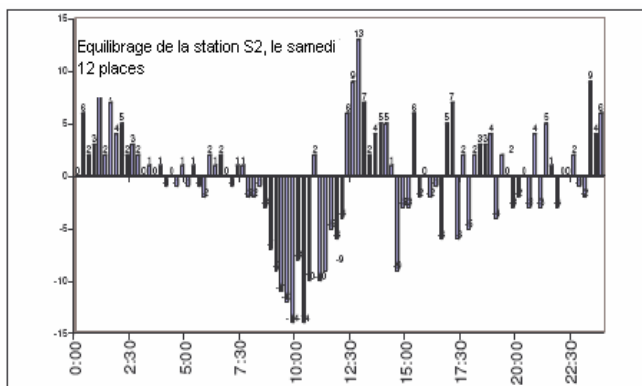


Figure 2 : L'état d'une station lors d'une journée[1]

Du point de vue des ressources humaines, pour gérer un déséquilibre, 2 voitures sont nécessaires : celle qui sert à l'équilibrage et celle qui ramène les 2 agents en charge de l'équilibrage.

L'indisponibilité technique d'un véhicule : le diagramme d'état UML (Figure3) montre les différents états d'une voiture hors service. En dehors de l'utilisation proprement dite des véhicules, deux types d'opérations immobilisent un véhicule électrique : il s'agit tout d'abord des opérations en lien avec la maintenance (les incidents bloquants comme un rétroviseur cassé, ou encore la charge des batteries). La charge des batteries est une opération courante, dès que la charge est de 30% (environ tous les 20 km parcourus). Il y a d'autres opérations de maintenance qui mobilisent des ressources humaines et matérielles importantes mais qui se déroulent une fois par an (vidange des batteries – entre 900 et 1200 h par an pour l'ensemble de la flotte de 50 voitures).

Une voiture peut être également bloquée pour la déplacer afin d'équilibrer une station. Chaque fois qu'un jockey intervient sur un véhicule (nettoyage, réparation, équilibrage), ce dernier sera considéré comme ayant été emprunté puis restitué à cette station.

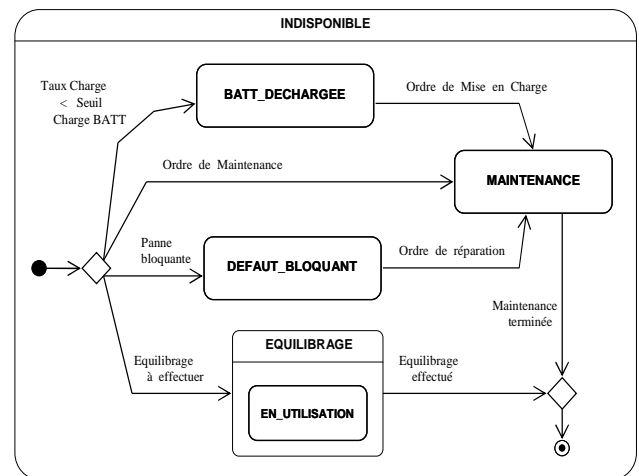


Figure3. Diagramme d'état d'un véhicule

C. Gestion du service car-sharing

La grille GRAI a été utilisée pour souligner les forces et les faiblesses du service incluant tous les aspects du fonctionnement, de l'activité commerciale jusqu'à l'activité de maintenance (figure 4). Nous remarquons plusieurs problèmes dans l'activité d'un tel service dont les principaux sont :

- 1) les échanges d'informations entre les services sont très faibles.
- 2) les données recueillies par le Poste Central ne sont pas exploitées pour établir des prévisions sur l'utilisation des véhicules sur une période et "planifier" ainsi des opérations de maintenance prévues de longue date (contrôle technique, par exemple).
- 3) toutes les activités d'entretien sont organisées autour de l'activité d'équilibrage des stations. Les jockeys profitent de l'activité d'équilibrage pour organiser leurs activités, en fonction du résultat de leurs observations.
- 4) ces activités d'équilibrage sont pour l'instant réalisées sur la base de l'expérience humaine et de l'analyse en temps réel du statut de chaque station.
- 5) il n'y pas de démarche pour simuler l'extension du système.

	Informations Externes E	Gérer le Commercial et le marketing F	Gérer les ventes F	Gérer les produits F	Planifier F	Gérer la maintenance F	Gérer les ressources humaines F	Informations internes II
H=3 ans P= 1 ans	Enquêtes clients	Analyse des tendances clients		Plan stratégique d'achat des véhicules	Budget			
H=1 ans P= 6 mois		Déterminer les éléments principaux de marketing-Plan marketing					Estimer le nombre de jockeys nécessaire	
H=6 mois P=3 mois		Définir les campagnes de publicité				Prévision des activités de maintenance des véhicule		
H=3 mois P=1 mois		Suivre le chiffre d'affaire	Gérer les abonnements				Estimer le besoin en ressource humaine	
H=3 jours P= 1 jour			Résoudre les problèmes dus aux mauvaises utilisations	Plan de disponibilité des équipements sur les stations	Planning d'exploitation et de travaux sur véhicules	Plan de recharge de batteries	Allouer les tâches	
Temps réel			Établir les contacts	Équilibrage des véhicules sur les stations	Organisation des tournées sur les stations	Vérification du véhicule, propreté, réparation	Ajuster l'allocation en fonction de l'état réel des véhicules	État réel du véhicule

Figure 4 : Grille GRAI pour un service car-sharing

D. Conséquences de l'indisponibilité des ressources

1. Indisponibilité des véhicules : Une indisponibilité forte, dans le sens d'immobilisation, est une source d'insatisfaction pour l'abonné, une dégradation d'image pour le service. Une enquête effectuée en octobre 2007 auprès de 129 abonnés (plus d'un tiers d'abonnés) montre que 21% sont insatisfaits par le degré de disponibilité des véhicules.

L'indisponibilité opérationnelle peut s'exprimer selon [2] :

$$I_{op} = \frac{\sum_j T_{i_j}}{\sum_i Td_i + \sum_j T_{i_j}} \quad (1)$$

$\sum_j T_{i_j}$ - durées d'indisponibilité (nettoyages extérieurs et

intérieurs, contrôle technique, réparations, équilibrage)

$\sum_i Td_i$ - durées de disponibilité.

Ces durées se rapportent aux temps de service. Sachant que la nuit, les voitures sont très peu employées (moins de deux courses pour toute la flotte), le calcul prend en compte seulement 18 h par jour, pour 20 jours ouvrables par mois. Entre les activités d'équilibrage, de nettoyage, de charge des batteries, pour une voiture, par mois, lors des 18 h de service, l'indisponibilité opérationnelle moyenne peut varier entre 2% et 3%.

2. Faible taux d'utilisation : Par exemple, en 2004, une étude statistique montre que, par jour, il y avait en moyenne : 2 courses par véhicule ; 10 kilomètres par véhicule ; 1 heure d'utilisation par véhicule [3]. N'apparaissent pas dans cette étude les courses qui n'ont pas pu se dérouler faute de voitures en service. Ce faible taux d'utilisation n'est pas dû uniquement à l'indisponibilité des véhicules, mais aussi à une activité de dissémination et de prospection faible. L'extension des services déjà implémentés n'est pas toujours à l'ordre du jour. Un exemple positif est le nouveau service LISELEC-COMOX implanté à La Rochelle [4].

3. Une perte d'argent inhérente apparaît à travers les coûts d'indisponibilité et les coûts d'exploitation qui ne sont pas minimisés. Par exemple, chaque fois qu'un jockey intervient sur un véhicule (nettoyage, réparation), ce dernier sera considéré comme ayant été emprunté puis restitué à cette station. Dans la mesure où il n'y a pas de suivi d'entretien, une voiture est parfois vérifiée et nettoyée après avoir effectué seulement une course. Pour chaque emprunt et restitution d'un véhicule, le système sur station transmet les informations via une ligne téléphonique au poste central. La conséquence de l'utilisation des badges est une facture téléphonique d'un montant élevé.

L'équilibrage des stations est une opération très coûteuse (elle nécessite deux jockeys plusieurs fois par jour et l'emploi d'un autre véhicule).

III. APPROCHE POUR RESOUDRE LES PROBLEMES D'EQUILIBRAGE DES STATIONS

A. Choix d'une approche de classement des stations par priorité

Prévoir le taux d'utilisation des stations à moyen terme (une semaine, par exemple), permettrait d'agir sur la gestion des ressources humaines, sur l'organisation des travaux de maintenance et sur l'optimisation des tournées, donc sur les coûts d'exploitation. Si les gestionnaires de ce type de système peuvent compter dans la journée sur un rééquilibrage des stations grâce aux mouvements pendulaires, il conviendrait qu'au moins le matin, le problème d'indisponibilité soit résolu. Le procédé de réservation à 30 minutes avant le départ est une solution à court terme, car les gestionnaires ne sont pas en mesure de prévoir à l'avance les activités de leur équipe et d'organiser les ressources techniques et humaines.

Une autre solution peut être de comprendre et d'exploiter le comportement des clients, même d'une façon floue, afin de prévoir les besoins des clients. Pour les voyageurs locaux, des modèles comportementaux sont typiquement calibrés utilisant des données rassemblées par les questionnaires et/ou les

préférences observées. Mais la base de données devrait être exhaustive afin de saisir des informations statistiquement significatives. Une enquête effectuée en octobre 2007 auprès de 113 abonnés montre que moins de 10% effectuent des déplacements domicile-travail, alors que la plupart s'en sert pour des déplacements occasionnés par des courses ou loisirs. De plus la fréquence des déplacements est souvent 1-3 fois par mois ou par semaine. Cette analyse montre qu'une étude des comportements observés ne permet pas de tracer une matrice hebdomadaire origine –destination exploitable.

Une solution pourrait être une analyse préliminaire de leurs préférences déclarées en accord avec les caractéristiques du voyage (telles que la période de la journée, les conditions météorologiques, le niveau probable de congestion etc. La Figure 5 illustre les étapes envisagées pour l'amélioration de l'activité d'équilibrage des stations.

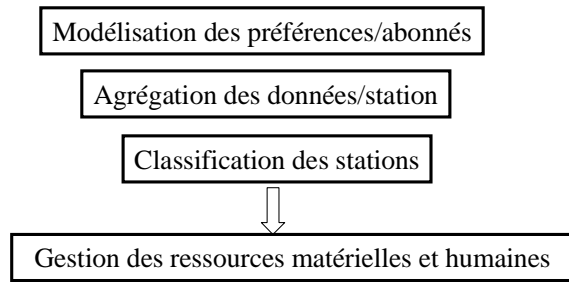


Figure 5 : Etapes de l'approche de classement des stations

Il est bien connu que les préférences déclarées n'ont pas vocation à être perçues comme des comportements acquis, compte tenu de la perception vague des abonnés de certaines variables testées, ainsi que de l'indécision que certains scénarios induisent. Pour palier ces problèmes, les approches employées seront détaillées dans les paragraphes suivants.

B. Modélisation des préférences déclarées

Traitement de la perception floue: Beaucoup de techniques de modélisation comportementale ont été employées dans des applications spécialisées [5]. Malgré des tentatives pour rendre les choix stationnaires et homogènes, il a été admis [6] que les individus ne vont pas toujours au même endroit, n'effectuent pas les mêmes activités d'un jour à l'autre, ne font pas le même nombre de déplacements chaque jour, changent de mode de transport, etc.

Depuis plusieurs années, une nouvelle génération de modèles basés sur la logique floue [7] a été développée afin de capturer l'imprécision inhérente dans la perception humaine. L'utilisation de la logique floue dans la technologie trafic semble profitable. Ces applications traitent notamment: de l'état du trafic, des processus humains de choix et de décision (choix modal, programme d'activités, itinéraires etc.) [8], [9], [10].

Voyons les cinq étapes principales dans l'application de la logique floue :

1) *choix des variables d'entrée et de sortie* : L'exemple d'un jeu de variables d'entrée qui sera traité ci-dessous repose sur l'hypothèse que l'usager peut disposer d'autres moyens de transport qu'il est libre d'employer selon ses préférences (vélo, voiture personnelle, à pied, bus, etc.). Pour cette raison, en vue d'une étude modale, les variables doivent être communes.

Les variables d'entrée testées sont : le moment du départ, la période de la semaine, la température externe, le niveau de congestion, la valeur moyenne de la vitesse pendant une

période donnée. Chaque variable a deux niveaux qui seront précisés dans le paragraphe suivant.

Le gestionnaire du service car-sharing communique aux clients le niveau de congestion et la vitesse moyenne en fin de chaque semaine à partir du poste central (par SMS ou téléphone, par exemple). En raison de la similitude des activités hebdomadaires, la référence temporelle est le même jour et la même période de la journée de la semaine précédente.

La variable de sortie est appelée « degré d'intérêt pour l'emploi d'une voiture » et présente deux modalités (très intéressé, sans intérêt).

2) *Fuzzification* : Pour exprimer des informations imprécises, on définit une fonction d'appartenance du type trapézoïdale ; la valeur indique le « degré » d'appartenance d'une variable d'entrée à un ensemble. A titre d'exemple, la Figure 6 montre la fuzzification de la température. Pour une température comprise entre 0° et 17°, le degré d'appartenance de cette variable au niveau « bas » est de 100%. Une température comprise entre 22° et 30° a une degré d'appartenance de 100% au niveau « haut ». Les valeurs de la température comprises entre 17° et 22° donne un degré d'appartenance partagé entre le niveau bas et le niveau haut.

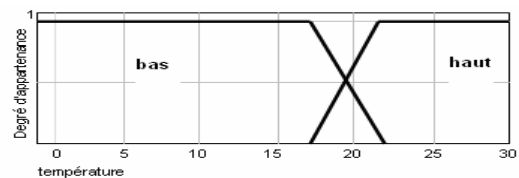


Figure 6. Fuzzification de la température

3) *Base de règles* : Une règle floue typique a la forme « SI le départ a lieu le matin, SI le voyage est fait le WE, et SI la température est 5°C,... alors je suis très intéressé pour utiliser le car-sharing ». Les règles IF-THEN seront les réponses aux scénarios hypothétiques rassemblés par questionnaires auprès des abonnés (le processus de collecte sera détaillé dans le prochain paragraphe).

4) *Inférence* : L'inférence évalue toutes les règles IF-THEN et détermine leurs valeurs de vérité. Les règles floues pourraient avoir différentes conclusions, ainsi il est nécessaire de considérer toutes les règles, afin de combiner toutes les conclusions floues obtenues par inférence dans une conclusion simple.

5) *Défuzzification* : c'est une étape souvent menée pour convertir les résultats de l'inférence sous une forme crisp (non floue).

Collecte des préférences : La difficulté de cette méthode est d'établir les règles de décision IF-THEN pour la table d'inférence. Dans la théorie l'idéal est de considérer toutes les combinaisons des niveaux des variables, mais cela mène à une explosion exponentielle du nombre de règles. Dans notre cas, cela mènerait à un nombre très élevé de questions à soumettre aux abonnés. Supposons un questionnaire pour examiner les effets de la variation de 5 critères d'entrée, chacun à 2 niveaux. Dans ce cas, 32 questions seraient nécessaires pour ce genre d'analyse, ce qui devient prohibitif.

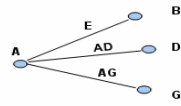
Un plan factoriel orthogonal est un sous-ensemble d'un plan complet (selon une méthode développée pour l'optimisation des procédés industriels [11]). Pour étudier conjointement les effets des critères et des interactions, le questionnaire doit contenir des combinaisons particulières: chaque niveau de chaque critère doit être présent autant de fois, chaque combinaison entre les niveaux de deux critères distincts apparaît autant de fois. Dans chaque scénario, la variation

simultanée de plusieurs critères d'entrée peut exercer des effets interactifs sur la réponse étudiée. Quand l'effet d'un critère dépend du niveau d'un autre, une interaction existe (par exemple une basse température externe et un départ matinal pourrait avoir un impact négatif sur la perception du choix de ce voyage). Le Tableau 1 présente les paramètres testés, les niveaux ainsi que la table orthogonale L8 (2)7. Cette table contient 8 questions et permet selon le graphe linéaire de tester l'effet de 7 actions (5 paramètres à 2 niveaux et de 2 interactions pressenties).

Tableau 1. Paramètres, niveaux, table orthogonale L8 (2)7

Variables	Niveau 1	Niveau 2
A- moment de départ	Matin (6h-12h)	Après-midi(14h-24h)
B - température	Basse(t<18)	Haute (t>22)
D - Type de jour	Jour ouvrable (L,M,M,J,V)	Weekend (S,D)
E- congestion/h	Basse (<400 véhicules)	Haute (>600 véhicules)
G - vitesse moyenne	Basse (<41 km/h)	Haute (>51 km/h)

Question	Paramètres				
	A	B	D	E	G
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	2	1	2	2
4	1	2	2	1	1
5	2	1	1	1	2
6	2	1	2	2	1
7	2	2	1	2	1
8	2	2	2	1	2



En accord avec le graphique linéaire, il est possible d'étudier les effets des interactions AG et AD.

Pour chaque configuration testée (scénario) une réponse est faite par chaque client le jour de leur abonnement ; la réponse prévue est sous forme de score entier dans la plage 1-9 (et traduit, dans le sens croissant, le degré d'intérêt pour l'emploi d'une voiture car-sharing).

Afin d'établir les scores pour tous les scénarios non-testés, nous avons utilisé les principes de base des modèles à choix discrets [12]. A chaque possibilité de choix i , est associée une fonction utilité supposée traduire le niveau de satisfaction que le choix de i procure à l'individu n : Y_i^n .

La fonction score Y_i^n peut être représentée à l'aide des effets moyens d'une action (variable d'entrée ou interaction) et est un élément de matrice défini comme suit :

- pour une variable d'entrée A,

$$a_i = Y_{\text{moy}}(A_i) - M \quad (2)$$

- pour une interaction AB entre les deux variables d'entrée,

$$a_i b_j = Y_{\text{moy}}(A_i B_j) - M - a_i - b_j \quad (3)$$

Avec : a_i - effet moyen de la variable A lorsqu'elle est au niveau i ; $a_i b_j$ - effet moyen de l'interaction AB lorsque A est au niveau i et B au niveau j ; M - moyenne de tous les résultats du plan ; $Y_{\text{moy}}(A_i)$ - moyenne de tous les résultats lorsque A est au niveau i ; $Y_{\text{moy}}(A_i B_j)$ - moyenne de tous les résultats lorsque A est au niveau i et B au niveau j .

D'une façon matricielle, le score peut s'écrire comme suit :

$$Y = M + (a_1 a_2)A + (b_1 b_2)B + (c_1 c_2)C + \begin{pmatrix} a_1 b_1 & a_1 b_2 \\ a_2 b_1 & a_2 b_2 \end{pmatrix}_{AB} \quad (4)$$

Par exemple, le modèle étant additif, le score correspondant à un scénario pour A au niveau 2 et B au niveau 1 se calcule de la manière suivante :

$$Y(A_2 B_1, \dots) = M + a_2 + b_1 + a_2 b_1 + \dots \quad (5)$$

Afin de valider le modèle, 2 questions supplémentaires (scénarios non-inclus dans le plan) font objet d'une

comparaison (score modèle par rapport au score réel). On obtient ainsi, avec seulement 8 questions, l'ensemble de 32 règles IF-THEN pour élaborer la table d'inférence.

C. Agrégation des données par station

Après l'inférence, et compte tenu du fait que dans cet exemple nous avons défini en sortie seulement deux modalités, on peut rencontrer deux cas :

- Soit la variable de sortie est à 100% « très intéressé » ou « sans intérêt », dans quel cas il s'agit d'une personne décidée sur son choix
- Soit la variable de sortie est distribuée sur les deux modalités à la fois (exemple 60% « très intéressé », 40% « pas intéressé »), ce qui traduit l'indécision de l'utilisateur.

Le gestionnaire du système connaît les adresses des abonnés. Dans un premier temps, on fera l'hypothèse, qu'il n'existe qu'une station S_i au voisinage des domiciles des abonnés. Selon l'heure de départ, le jour de la semaine, les conditions météorologiques et les conditions trafic, le gestionnaire dispose des préférences des abonnés. Pour une station S_i , il peut avoir un bilan comme suit :

- 40% abonnés pour « très intéressé » ; 30% abonnés pour « pas intéressé » ; 30% abonnés « indécis ».

La théorie des croyances est une technique très puissante qui permet de manipuler l'indécision [13], [14]. Pour un cadre de discernement $\Omega = \{\text{très intéressé, pas intéressé}\}$ selon la méthode fréquentiste on peut attribuer pour la station S_i un jeu de masses du type : $m_i(\text{très intéressé}) = 0,4$;

$m_i(\text{pas intéressé}) = 0,3$; $m_i(\theta) = 0,3$ (θ traduit l'indécision).

Contrairement à la théorie bayésienne qui opère avec la probabilité $P(A)$ d'un événement A, en théorie des croyances, l'incertitude est mesurée en termes de crédibilité et de plausibilité. La crédibilité $Bel(A)$ mesure à quel point les informations données par une source d'information soutiennent la proposition A. La fonction Bel renvoie, pour toute proposition A de 2^Ω , la somme de tous les degrés de croyance placés sur des propositions impliquant A

$$Bel : \left\{ \begin{array}{l} 2^\Omega \rightarrow [0,1] \\ \forall A \in 2^\Omega, \quad Bel(A) = \sum_{\{B \in 2^\Omega / \{\emptyset\}, B \subseteq A\}} m(B) \end{array} \right. \quad (6)$$

Où B traduit l'ensemble de masses impliquant A.

La fonction de plausibilité (PI) est la fonction duale qui mesure le degré avec lequel on ne doute pas de A et renvoie, pour toute proposition A de 2^Ω , la somme de tous les degrés de croyance placés sur des propositions compatibles avec A :

$$Pl : \left\{ \begin{array}{l} 2^\Omega \rightarrow [0,1] \\ \forall A \in 2^\Omega, \quad Pl(A) = \sum_{\{B \in 2^\Omega / A \cap B \neq \emptyset\}} m(B) = Bel(\Omega) - Bel(\bar{A}) \end{array} \right. \quad (7)$$

\bar{A} est l'événement contraire de A

L'événement certain se situe dans l'intervalle $Bel(A)$, $Pl(A)$ tel que $Bel(A) \leq P(A) \leq Pl(A)$.

D. CLASSIFICATION DES STATIONS

Pour chaque station S_i on obtient ainsi un intervalle $[Bel_i, Pl_i]$ pour chaque singleton du cadre de discernement.

Supposons par exemple deux stations S_j et S_k pour lesquelles les jeux de masses sont présentés si dessous :

Pour S_j : $m(\text{pas intéressé}) = 0,6$; $m(\text{très intéressé}) = 0,15$; $m(\theta) = 0,25$; pour S_k : $m(\text{pas intéressé}) = 0,5$; $m(\text{très intéressé}) = 0,2$; $m(\theta) = 0,3$.

Les intervalles [Bel (très intéressé), PI (très intéressé)] sont respectivement : pour S_j [0,15 ; 0,4] ; pour S_k [0,5 ; 0,8]. La plausibilité (degré de confiance maximal que l'on peut attribuer à une hypothèse) montre que 80% des abonnés risquent de se rendre le matin à la station S_k , contre 40% des abonnés à la station S_j . Ce sont les pires scénarios.

Le taux d'utilisation maximal, pour une période de la journée, un jour de la semaine, peut être ainsi estimé pour toutes les stations afin de distinguer celles prioritaires en termes d'équilibrage et de caler les autres opérations de maintenance au niveau des voitures et des stations.

IV. COMMENTAIRES SUR L'INTERET DE L'APPROCHE ET PERSPECTIVES

La grille GRAI (figure 4), nous a permis d'identifier le fonctionnement du service car-sharing. Nous avons pu constater que certaines décisions comme la planification des travaux sur les véhicules, organisation des tournées dans les stations sont prises à un horizon de trois jours, voir en temps réels. Notre approche propose une méthode mixte de modélisation des préférences des usagers en vu d'une meilleure planification du service car-sharing. L'analyse des préférences déclarées nous permet d'introduire un autre horizon pour la planification des travaux sur les véhicules. Ainsi la planification des activités de maintenance des voitures, des activités d'entretien ainsi que l'organisation des tournées des agents au niveau des stations vas se faire à un horizon d'une semaine et non pas de trois jours.

Les changements sur le plan de la gestion technique et humaine permettent de :

- a) réduire les coûts d'indisponibilité. Selon nos estimations, l'indicateur d'indisponibilité opérationnelle serait de 1,7% par voiture, en l'absence des activités de calibrage le matin ;
- b) réduire les coûts d'exploitation ; moins de déplacements pour l'équilibrage, moins de communications téléphoniques entre les stations et le poste central lors de ces opérations ;
- c) satisfaire les exigences des usagers en termes de disponibilité des voitures, en respectant la vie privée et la confidentialité des données ;
- d) permettre au gestionnaire et aux commerciaux d'effectuer une activité efficace de prospection et de dissémination ;
- e) prévoir, en utilisant le même type de questionnaires auprès d'usagers potentiels, l'extension du système et la calibration des places par station.

Par ailleurs, le gestionnaire du système ne sera à l'abri d'un possible changement de comportements des abonnés dus à l'expérience ; pour cette raison, le questionnaire devrait être renouvelé au moins d'une saison à l'autre. Dans le cas où le nombre d'abonnés qui risquent de solliciter les services d'une station serait supérieur au nombre de places, le gestionnaire devra soit informer les abonnés sur la disponibilité d'une station voisine, soit envisager le déplacement des voitures à partir des autres stations moins sollicitées. Bien que cette approche nous apporte une correction sur certains aspects de management de ce type de système dynamique, le problème de l'indisponibilité n'est pas entièrement résolu. Des déséquilibres « offre-demande » peuvent être signalés dans la journée, malgré la tendance des gestionnaires d'encourager les mouvements pendulaires. La validation de cette approche d'évaluation du taux d'utilisation du service se fera lors du processus d'extension du service, pour le choix des sites pour de nouvelles stations.

V. REMERCIEMENTS

Ces travaux se sont déroulés dans le cadre du projet SUCCESS (programme européen CIVITAS II). Les auteurs remercient le Conseil Général de la Charente Maritime pour financer cette thèse de doctorat ainsi que David Mercier, MCF de l'Université de Béthune, pour ses conseils en théorie des croyances.

VI. REFERENCES

- [1] BOUSSIER J.M., ION L., BREUIL D., BENHABIB S. "Optimisation of car fleet exploitation using statistical and fuzzy logic approaches". BREBBIA C.A., WADHWA L.C. Eds. *Proceedings of the 11th International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century*, Algarve, Portugal. Southampton: WIT Press: p. 37-46, avril 2005
- [2] LAULY J.J., RINGLER J. Maîtriser la disponibilité : un enjeu économique, *CETIM*, p.15-29, 2002
- [3] BREUIL D., MOLLARD J., BOUSSIER J.M., "Improvement of Car Sharing Exploitation and Dimensioning: Organisation and Decision Tools". *2004 EET European ELE - DRIVE Transportation*, Estoril, Portugal, 2004
- [4] <http://www.comox.fr/1/200.aspx> : site Internet actif
- [5] BEN-AKIVA M., BIERLAIRE M. Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions. In: HALL R.W. Eds. *Handbook of Transportation Science*, p. 5-34, 1999
- [6] BEN-AKIVA M., BOWMAN J., RAMMING S., WALKER J. Behavioral Realism in Urban Transportation Planning Models. *Proceedings of the Transportation Models in the Policy-Making Process, A Symposium in Memory of Greig Harvey*, Pacific Grove, California, 16 p, march 1998
- [7] ZADEH L.A. Fuzzy sets. *Information and Computation*, volume 8, p. 338-353, 1965
- [8] NARAYANAN R., KUMAR K., SUBBARAJ L. "Quantification of Congestion using Fuzzy Logic and Network Analysis using GIS". <http://www.gisdevelopment.net/application/utility/transport>
- [9] MCDONALD M., WU J., BRACKSTONE M. Development of a fuzzy logic based microscopic Motorway simulation model. *Proceedings IEEE of ITSC 97*, Boston, November 1997
- [10] HENN V. « Fuzzy route choice model for traffic assignment ». *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 116, number 1, pp. 77-101, 2000
- [11] TAGUCHI G. *System of Experimental Design*. Dearbon : Don Clausing UniPub/Kraus International Publications, 1987.
- [12] BEN-AKIVA M., BIERLAIRE M. Discrete choice methods and their applications to short-term travel decisions. In: HALL R.W. Eds. *Handbook of Transportation Science*, p. 5-34, 1999
- [13] DEMPSTER A.P. A generalisation of Bayesian inference. *Journal of the Royal Statistical Society*, p. 205-247, 1968.
- [14] SHAFER G. *A mathematical theory of evidence*. Princeton: Princeton University press, 1976.