

Les temps de parcours

Estimation, diffusion et approche multimodale



LES TEMPS DE PARCOURS

Estimation, diffusion et approche multimodale

Avril 2008

**Centre d'études sur les réseaux, les transports,
l'urbanisme et les constructions publiques**



Collection Dossiers

Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Ils pourront y trouver des repères qui les aideront dans leur démarche. Mais le contenu présenté ne doit pas être considéré comme une recommandation à appliquer sans discernement, et des solutions différentes pourront être adoptées selon les circonstances.

Le Certu publie également les collections : références, débats, rapports d'étude.

Remerciements

Cet ouvrage a été réalisé sous la direction de Jacques NOUVIER (Certu/SYS/GTT) et Alexis BACELAR (Certu/SYS/GTT).

Il a été rédigé par Frédéric PESTEIL (Cete du Sud-Ouest) et a bénéficié de contributions de la part de :

- Alexis BACELAR (Certu/SYS/GTT) ;
- Sylvain BELLOCHE (Cete de l'Ouest/DESGR) ;
- Nour-Eddin EL FAOUZI (Licit, ENTPE, Inrets).

Un groupe de travail, animé par le Certu, a validé et orienté les travaux de rédaction. Il était composé de :

- Alexis BACELAR (Certu/SYS/GTT) ;
- Sylvain BELLOCHE (Cete de l'Ouest/DESGR) ;
- Isabelle CABANNE (Certu/MOB) ;
- Roland COTTE (Certu/SYS/TTS) ;
- Nour-Eddin EL FAOUZI (Licit, ENTPE, Inrets) ;
- Jacques NOUVIER (Certu/SYS/GTT) ;
- Frédéric PESTEIL (Cete du Sud-Ouest/DSEIR) ;
- Stéphane VIANNEZ (Cete Lyon/DES).

Outre les membres de ce groupe de travail, nous remercions particulièrement :

- les exploitants enquêtés, pour les informations qu'ils ont pu nous donner sur les projets en cours ou à l'étude sur leur réseau ;
- les relecteurs :
 - Mehdi DANECH-PAJOUH (Inrets) ;
 - Patrick GENDRE (Cete Méditerranée) ;
 - Gildas GRENIER (Nantes Métropole) ;
 - Gildas LEMAITRE (Cete Méditerranée) ;
 - Gérard LOUAH (Cete de l'Ouest/DIE) ;
 - Danièle VULLIET (Certu/MOB).

Sommaire

1. Temps de parcours « Véhicule Particulier »	6
1.1 Qu'est-ce qu'un temps de parcours ?	6
1.2 Des temps de parcours pour quels usages ?	9
1.3 Variabilité, distribution et fiabilité des temps de parcours	11
1.4 Méthodes d'estimation de temps de parcours en temps réel	17
1.5 Prévision du temps de parcours	34
1.6 Méthodes de diffusion de temps de parcours	36
2. Temps de parcours TC et multimodaux	45
2.1 Définitions	45
2.2 Des temps de parcours multimodaux pour quels usages ?	46
2.3 Typologie des modes et temps de parcours associés	47
2.4 Combinaisons de modes et obtention du temps de parcours multimodal	56
2.5 Diffusion du temps de parcours multimodal	59
2.6 Panorama de l'information multimodale et des projets	61
2.7 Obstacles à l'information multimodale	69
3. Différentes étapes d'un projet d'information temps de parcours	73
3.1 Initialisation du projet	73
3.2 Vie du projet	74
3.3 Déploiement et mise en service	76
3.4 Évaluation	76
4. Évaluation des systèmes d'estimation des temps de parcours	77
4.1 Exigences attachées à la mesure ou à l'estimation des temps de parcours	78
4.2 Indicateurs, critères et moyens d'évaluation	83
5. Conclusion et perspectives	90

6. Liste des sigles	92
7. Bibliographie	94
8. Webographie	110

Introduction

Le développement prometteur des systèmes d'information routière et l'émergence de systèmes d'information liés à d'autres modes modifient en profondeur les pratiques d'exploitation des réseaux. L'information diffusée en temps réel a pour ambition de modifier le comportement de certains usagers et de rendre les déplacements plus sûrs et plus confortables. Parmi les informations diffusées, le temps de parcours occupe une place de choix pour les exploitants quel que soit le mode de transport.

Objectif de l'ouvrage

Cet ouvrage a pour but de fournir des éléments de réponse aux exploitants confrontés à la mise en œuvre d'un système de diffusion de temps de parcours en temps réel au travers d'un panorama le plus complet possible des expériences existantes ou projetées.

Il a également vocation à fournir des éléments de comparaison du temps de parcours entre les différents modes de transport disponibles pour l'utilisateur.

Structure de l'ouvrage

Ce document se compose de quatre grandes parties :

- la première partie traite du temps de parcours « véhicule particulier » ;
- la deuxième aborde l'aspect multimodal du temps de parcours ;
- la troisième décrit les différentes étapes pour la réalisation d'un système dédié au temps de parcours ;
- enfin, la dernière partie présente les méthodes d'évaluation des systèmes d'estimation du temps de parcours.

Pour chacune d'entre elles, le document fait référence à des opérations existantes ou en projet dans le domaine de l'estimation et de la diffusion des temps de parcours.

Limites de l'ouvrage

Cet ouvrage se veut relativement complet, et synthétique à la fois, compte tenu du foisonnement d'études, de publications et de recherches dans le domaine.

S'agissant d'un domaine qui évolue rapidement, il ne peut prétendre à l'exhaustivité.

La première partie de cet ouvrage n'a pas vocation à se substituer au précédent guide sur le sujet *Les temps de parcours – définitions, méthodes d'estimation, utilisations opérationnelles et procédés d'affichage* édité par le Certu en octobre 2002. Elle correspond simplement à une mise à jour synthétique de l'ouvrage en question, suite à certaines nouvelles opérations ayant vu le jour depuis lors.

1. Temps de parcours « Véhicule Particulier »

1.1 Qu'est-ce qu'un temps de parcours ?

1.1.1 Définitions de base

La notion de temps de parcours, fréquemment notée TP dans la suite du document, ne peut être définie de façon univoque que d'un point de vue individuel : le temps de parcours d'un véhicule entre un point A et un point B est trivialement le temps qui lui est nécessaire pour relier l'un à l'autre.

Dans des conditions parfaitement stationnaires avec tous les véhicules évoluant à la même vitesse, le temps de parcours du flux est par définition celui de chacun des véhicules qui le composent.

Lorsque ces conditions ne sont plus respectées, les temps de parcours sont susceptibles de varier d'un véhicule à l'autre en raison de :

- la disparité des comportements des conducteurs et des caractéristiques des véhicules ;
- la variation des conditions de trafic au cours du temps ;
- la variation de ces mêmes conditions dans l'espace.

C'est ainsi que l'on distingue la notion de temps de parcours individuel de celle de temps de parcours moyen.

Plus le trajet est long, plus il est difficile d'en estimer le temps de parcours.

1.1.1.1 Temps de parcours individuel

Le temps de parcours individuel d'itinéraire est, comme son nom l'indique, le temps mis par un véhicule pour parcourir un itinéraire donné. Il est composé d'un temps de « roulage » et d'un temps d'arrêt. Si l'on découpe cet itinéraire en tronçons consécutifs, ce temps de parcours correspond à la somme des temps de parcours sur ces différents tronçons.

Cette définition reste valable, pour un usager individuel, que les conditions de circulation soient ou non stationnaires dans le temps et uniformes dans l'espace.

1.1.1.2 Temps de parcours moyen

Le temps de parcours moyen sur un itinéraire pendant un laps de temps correspond à la moyenne arithmétique des temps de parcours individuels des véhicules sortis de cet itinéraire pendant cette période.

De même, si l'on découpe cet itinéraire en tronçons consécutifs, le temps de parcours moyen sur un tronçon de l'itinéraire pendant un laps de temps correspond à la moyenne arithmétique des temps de parcours individuels des véhicules sortis du tronçon pendant celui-ci.

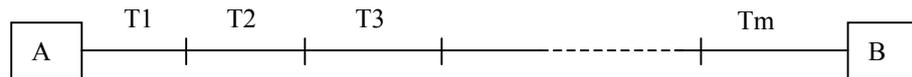
Contrairement au cas précédent, l'égalité stricte entre le temps de parcours moyen de l'itinéraire et la somme des temps de parcours moyens des tronçons qui le composent n'est vérifiée que si les conditions de trafic sont stationnaires et s'il n'existe aucune dispersion des vitesses individuelles.

1.1.2 Différents types de temps de parcours

Au-delà des problèmes liés à l'estimation du temps de parcours d'un flot de véhicules à partir des caractéristiques individuelles de chaque véhicule, différentes définitions du temps de parcours sont envisageables.

Pour les illustrer, supposons :

- un parcours de A vers B, itinéraire composé de m tronçons consécutifs ;
- que nous disposons d'une estimation des temps de parcours élémentaires TP_l , $l = 1 \dots m$ sur chacun des tronçons toutes les Δt (typiquement $\Delta t = 6$ min).



On distingue sept types de temps de parcours.

1.1.2.1 TP entrant réel

C'est le temps de parcours que va réaliser un véhicule qui entre sur l'itinéraire à l'instant courant t en A pour se rendre vers B.

Ce temps de parcours n'est pas accessible par la mesure directe ; on tente d'établir la meilleure approximation pour en informer l'utilisateur en temps réel.

1.1.2.2 TP instantané

C'est la somme des temps de parcours élémentaires à un instant t , calculés entre $(t - \Delta t)$ et t .

$$TP(t) = \sum_{l=1}^m TP_l(t)$$

Il s'agit du temps que mettrait un véhicule partant l'instant courant t de A pour aller vers B, si les conditions de circulation restaient, durant son trajet, identiques à celles de la période $(t - \Delta t) \rightarrow t$.

La prévision du temps de parcours entrant réel ainsi réalisée peut être satisfaisante si les conditions de circulation sont stationnaires et si les vitesses restent peu dispersées.

1.1.2.3 TP prévu

C'est l'estimation du temps de parcours entrant réel.

Son calcul nécessite une prévision des conditions de circulation que va rencontrer le véhicule partant à l'instant courant t de A pour se rendre au point B. La prévision repose sur l'estimation des données de trafic de chacun des m tronçons à l'horizon temporel minimum égal au temps de parcours estimé.

1.1.2.4 TP entrant reconstitué

C'est l'estimation du temps de parcours entrant réel sur un réseau dont on connaît les temps de parcours élémentaires passés sur chaque tronçon.

Connaissant les vitesses moyennes de chaque tronçon sur la période étudiée, on injecte un véhicule fictif de A vers B, on lui affecte un temps de parcours pour chaque tronçon correspondant à la vitesse moyenne du tronçon à sa date de passage

sur le tronçon considéré. On déduit le temps de parcours entrant reconstitué par différence entre la date d'arrivée en B et la date de départ en A.

Ce temps de parcours, utilisable seulement en temps différé, donne une image plus précise des conditions de circulation que le TP prévu et le TP instantané.

1.1.2.5 TP sortant réel

C'est le temps de parcours réalisé entre A et B par un véhicule qui vient d'atteindre le point B sans s'être arrêté hors circulation et ayant réalisé une vitesse analogue à celle du flot du trafic.

Il s'agit du temps de parcours que l'on essaie d'estimer par le calcul du temps de parcours sortant mesuré et du temps de parcours sortant reconstitué dont les définitions suivent.

1.1.2.6 TP sortant mesuré

C'est l'estimation du temps de parcours sortant réel à partir de la mesure du temps de parcours réalisé entre A et B par un véhicule qui atteint le point B.

Il s'agit typiquement du temps de parcours que peuvent fournir des véhicules traceurs (bus, taxis, véhicules identifiés et suivis par lecture de plaque minéralogique) ou l'exploitation de l'horodate des transactions de péage.

Cette estimation est biaisée notamment par les arrêts des véhicules hors circulation.

1.1.2.7 TP sortant reconstitué

C'est l'estimation du temps de parcours sortant réel sur un réseau dont on connaît les temps de parcours élémentaires passés sur chaque tronçon.

Connaissant les vitesses moyennes de chaque tronçon sur le passé récent, on envoie à l'instant courant un véhicule fictif « en marche arrière » (assimilable à un véhicule qui remonterait le temps) à partir de B vers A, on lui affecte un temps de parcours pour chaque tronçon correspondant à la vitesse moyenne du tronçon à sa date de passage sur le tronçon considéré. On en déduit le temps de parcours sortant reconstitué par différence avec sa date d'arrivée en A (cf. figure 1).

Par nature, ce temps de parcours donne une image précise mais retardée des conditions de circulation et constitue une estimation en temps réel peu fiable du temps de parcours entrant réel si les conditions de circulation se modifient à partir de l'instant courant t. Cette méthode peut cependant être utilisée en temps différé pour reconstituer le temps de parcours de référence.

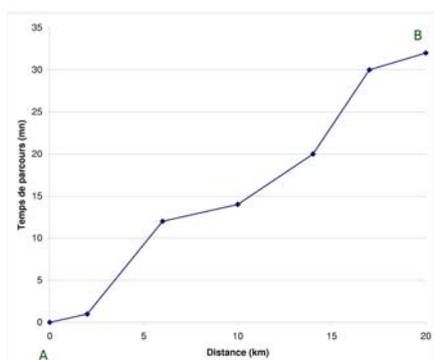


Figure 1 : courbe de reconstitution du temps de parcours sortant (source Inrets)

1.2 Des temps de parcours pour quels usages ?

Les enjeux d'une meilleure appréhension des temps de parcours, que ce soit en milieu urbain ou interurbain, sont multiples.

1.2.1 Pour l'utilisateur

La connaissance du temps de parcours est avant tout un élément de confort pour l'utilisateur, surtout lorsqu'il diffère du temps de parcours habituel. En effet, on observe une diminution de son stress avec modification de son comportement (baisse d'agressivité) lorsqu'il perçoit la durée prévisible de son déplacement (maîtrise de la variabilité du temps de parcours).

D'une part, l'information délivrée à l'utilisateur lui rend un service à titre individuel, que ce soit durant ou avant son déplacement. D'autre part, elle contribue aussi à l'intérêt collectif en influant progressivement sur sa demande dans le temps et dans l'espace, voire sur le choix de son mode de déplacement. L'information fournie à l'utilisateur durant le déplacement peut permettre d'optimiser en temps réel son itinéraire en exploitant au mieux, et de façon la plus judicieuse possible, le maillage du réseau.

Le conducteur possède donc une forme de maîtrise de son déplacement puisqu'il peut choisir soit de rester sur le réseau routier où il se trouve, en connaissance de cause, soit de changer d'itinéraire routier en suivant les itinéraires alternatifs préconisés. Des travaux ont essayé de déterminer un seuil au-delà duquel les utilisateurs décidaient de changer d'itinéraire. Si on fait la courbe du pourcentage de véhicules sortant du réseau principal en fonction du temps d'attente, on obtient une courbe avec un point de rupture (cf. figure 2).

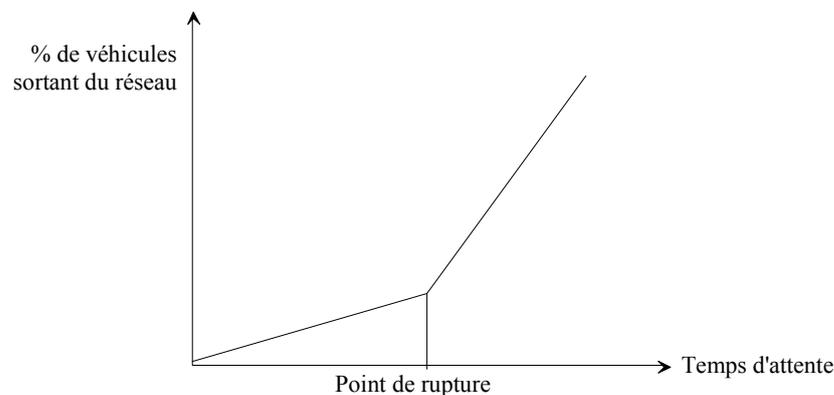


Figure 2 : courbe du pourcentage de véhicules sortant en fonction du temps d'attente

La réponse des utilisateurs n'est donc pas linéaire et dans l'exemple du tunnel de Fourvière à Lyon, la rupture intervient à la demi-heure.

Il arrive que du fait de la particularité du réseau (exemple : liaison entre Grenoble et Bourg-d'Oisans), il n'existe pas d'itinéraires de déviation attractifs. Dans ce cas, l'affichage des temps de parcours ne répond pas à un but de « re-routage » (délestage), mais permet à l'utilisateur de déterminer son heure d'arrivée et d'organiser son trajet.

Plusieurs enquêtes de satisfaction ont été réalisées auprès des usagers quant à l'affichage des temps de parcours. Les plus connues sont les enquêtes Sirius (novembre 2001), Coraly (2004) et Sdir (réalisée par la Zelt en 2005).

Globalement, plusieurs enseignements peuvent être tirés de ces enquêtes satisfaction :

- connaissance des temps de parcours :

Lorsqu'on demande aux usagers quel est le type de message le plus souvent lu sur les axes routiers, environ un quart disent avoir lu un message temps de parcours. Il faut noter que cette proportion monte à 48 % lorsqu'on évoque le terme temps de parcours dans la question. Les usagers occasionnels remarquent généralement plus les temps de parcours que les résidents (a priori à cause de leur plus grande attention) ;

- utilité des temps de parcours :

Les messages jugés les plus utiles sont à plus de 70 % les messages indiquant la présence d'événements (bouchon, accident, chantier...). Le message temps de parcours obtient la deuxième place avec environ 45 % ;

- satisfaction liée au temps de parcours :

L'information sur les temps de parcours est bien notée puisque 77 % des usagers lui donnent une note égale ou supérieure à 7 ;

- crédibilité des temps de parcours :

Les temps de parcours sont jugés crédibles par près de neuf usagers sur dix. C'est un résultat similaire à celui obtenu à propos de la crédibilité des panneaux à messages variables (PMV) ;

- performance des temps de parcours :

En règle générale, les usagers déclarent constater peu d'écarts entre les temps de parcours annoncés par les PMV et la réalité : seuls 15 % des usagers évoquent « souvent » des écarts sur les temps de parcours. Ce score est meilleur que celui obtenu par les autres messages.

L'écart accepté est fonction du temps annoncé : 45 % des usagers acceptent un écart de +/- 10 min pour un temps annoncé de 30 min. Ce taux monte à 64 % pour un temps annoncé de 45 min.

1.2.2 Pour l'exploitant

Pour les exploitants, l'intérêt de l'affichage des temps de parcours intervient à différents niveaux. En premier lieu, la diffusion de cette information permet de répondre à une demande sociale forte de la part des usagers qui veulent se déplacer le plus rapidement possible tout en étant correctement informés sur les éventuelles perturbations routières et les temps de trajet. Cet affichage permet de valoriser leur rôle de diffuseur d'informations auprès des usagers.

Le temps de parcours constitue aussi un indicateur synthétique, immédiatement compréhensible et facile à manipuler, de la qualité d'écoulement du trafic sur un réseau. Cette information vient compléter les autres moyens automatiques de recueil des conditions de circulation que sont les systèmes de recueil de données de trafic (RDT) ou de détection automatique d'incident (DAI).

Enfin, cet indicateur trouve son utilité dans le suivi des performances d'un réseau ou du système qui le contrôle. De plus, il sert d'indicateur d'aide à la prise de décisions, notamment celles relatives à la mise en œuvre de mesures de gestion de

trafic. Par exemple, on pourra mesurer le temps de traversée d'une perturbation suite à un accident.

1.2.3 Pour le maître d'ouvrage, pour l'élu

Comme pour l'exploitant, le temps de parcours constitue tout d'abord un indicateur de la qualité d'écoulement du trafic sur un réseau.

Cet indicateur permet également au maître d'ouvrage d'évaluer l'impact de ses différents investissements ou des différentes mesures d'exploitation mises en œuvre (exemple : reroutage longue distance).

Il peut également intervenir comme un critère de choix pour la réalisation ou l'optimisation d'une infrastructure, qu'il s'agisse d'une route ou d'une ligne de transports en commun.

Par ailleurs, lors de la transmission éventuelle de la gestion du réseau routier à une autre entité, il pourra (dans cette hypothèse d'école qui est, par exemple, celle des concessions), servir de référence dans l'optique du maintien du niveau de service.

1.2.4 Pour le prestataire de services

Les temps de parcours permettent au prestataire de services de fournir à l'utilisateur des services à valeur ajoutée, que ce soit au travers de systèmes de guidage dynamique ou de calcul d'itinéraires.

1.3 Variabilité, distribution et fiabilité des temps de parcours

1.3.1 Variabilité et distribution

La connaissance des distributions des temps de parcours est importante à deux titres :

- significativité d'une moyenne des temps de parcours : en effet, la définition d'un temps de parcours moyen renvoie à une population statistique. La moyenne n'a réellement de sens que lorsque la distribution des temps de parcours présente un seul mode¹ statistique (pic de la distribution) et relativement concentrée autour de sa moyenne (variance faible) ;
- modélisation de la variabilité des temps de parcours : détermination de l'incertitude associée à cette moyenne dans le cas où elle aurait un sens ainsi que son intervalle de confiance.

Peu de travaux ont réellement porté sur l'analyse des distributions des temps de parcours, et les rares études publiées à ce sujet font état exclusivement de distributions avec un seul mode statistique, faute de savoir traiter le cas de distributions avec plusieurs modes.

La distribution normale, avec son caractère symétrique autour de la moyenne, est souvent admise comme distribution des temps de parcours (cf. figure 3).

¹ Dans ce paragraphe, le *mode* désigne la valeur la plus fréquente d'une série statistique ; pour ne pas confondre avec le mode de déplacement, on utilisera plutôt le terme de mode statistique afin d'éviter toute ambiguïté.

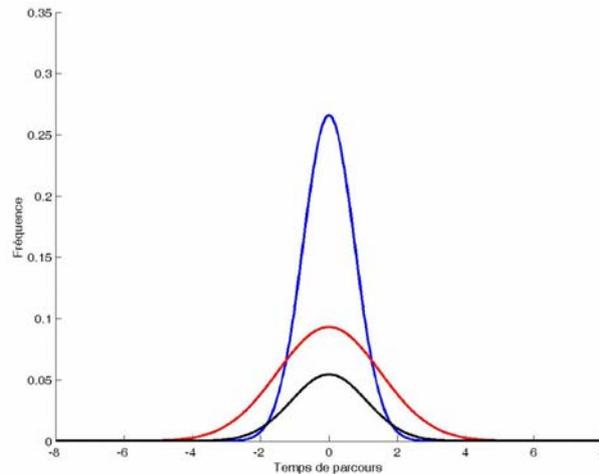


Figure 3 : distributions normales des temps de parcours centrées et pour diverses valeurs de variances (source Inrets)

L'adéquation de la loi normale aux données opérationnelles des temps de parcours n'est réellement fondée que lorsque la variance des temps de parcours est faible devant la moyenne. Au-delà, la loi normale est remise en cause ainsi que la représentativité même de la moyenne à cause de l'aspect plat de la distribution.

D'autres études ont mis en évidence que les temps de parcours ont souvent des distributions asymétriques. Cette asymétrie est essentiellement causée par la fréquence de fortes valeurs des temps de parcours. Ces fortes valeurs sont le plus souvent dues aux perturbations des conditions de circulation (cf. figure 4) et / ou à la composition du trafic (présence de VL et de PL).

Forts de ce constat, certains auteurs (cf. ([9], [11]), préconisent l'emploi de la loi log-normale comme distribution théorique des temps de parcours.

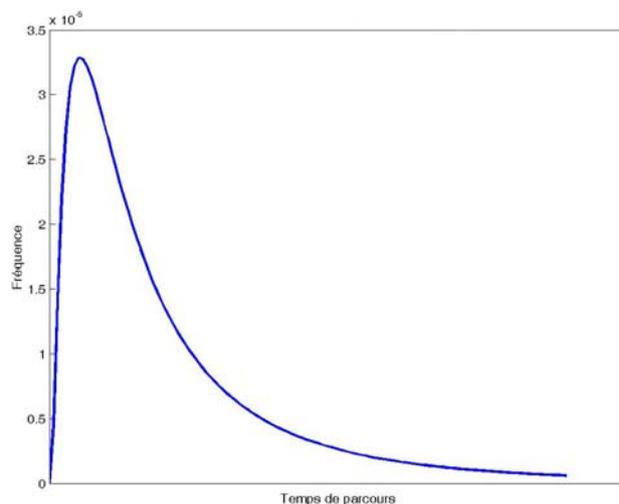
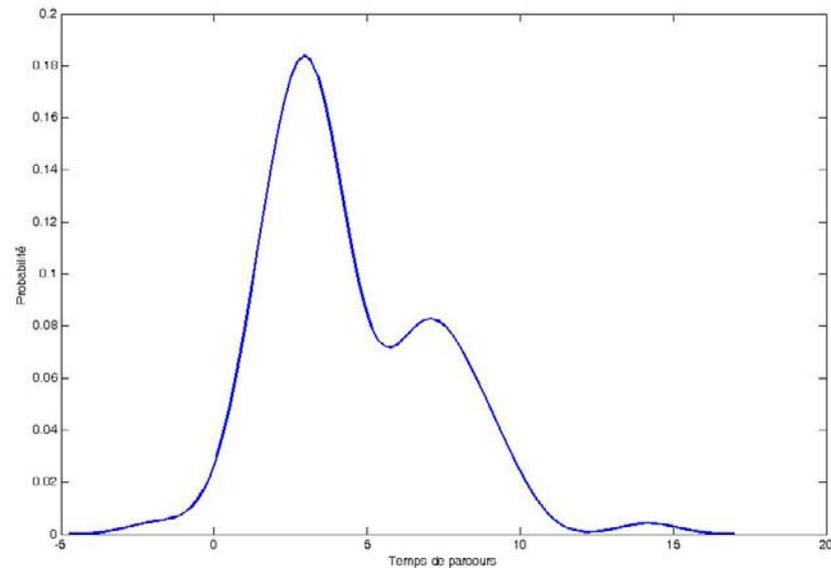


Figure 4 : distribution log-normale des temps de parcours (source Inrets)

Dans le cas où la distribution des temps de parcours fait apparaître plusieurs modes statistiques, la démarche classiquement utilisée consiste à l'ajuster par une combinaison de plusieurs distributions normales, voire log-normales (cf. [7]).



**Figure 5 : mélange de deux
composantes normales des temps de
parcours (source Inrets)**

Les travaux sur l'analyse et la modélisation de variabilité des temps de parcours ont connu un renouveau récemment avec l'exigence de qualité de l'information temps de parcours diffusée à destination des usagers. En effet, plusieurs études et enquêtes ont montré que l'utilisateur ne se contente plus d'une moyenne des temps de parcours, mais il est de plus en plus intéressé par une quantification de la variabilité de cette moyenne. Cette variabilité permet alors de fournir à l'utilisateur non seulement un temps en moyenne mais aussi en variance conditionnellement à l'horaire de son départ. Cette exigence est à rapprocher des prévisions météorologiques qui fournissent une situation avec un indice de confiance (cf. 1.3.2).

Les sources de variabilité des temps de parcours sont multiples et résultent des modes associés à la circulation automobile et à ses dimensions spatio-temporelles. Ainsi,

- les variations temporelles peuvent provenir de changements de flux du trafic routier, de la composition du trafic (pourcentage de poids lourds), des classes de conducteurs, des conditions météorologiques, et des éventuels incidents ;
- les variations spatiales peuvent être transversales (selon la voie, la direction...) et/ou longitudinales, dues à des différences de flux du trafic, à la conception du réseau routier, et/ou à la régulation du trafic ;
- enfin, les variations modales peuvent provenir de différences de comportement des conducteurs combinées à la disparité des caractéristiques et des performances de leurs véhicules et aux conditions de trafic rencontrées ; elles peuvent provenir aussi de régulations particulières (ex : priorité des bus aux feux tricolores).

1.3.2 Fiabilité des temps de parcours

Le développement et la généralisation des systèmes de transport intelligents (ITS), comme moyen de réduire les effets de la congestion qui affectent les réseaux routiers, ont donné naissance à une variété de recherches portant sur l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des opérations de gestion de la route. Le concept de fiabilité, et plus particulièrement celle des temps de parcours, s'est donc imposé en tant que mesure du niveau de service offert aux usagers.

La fiabilité de réseau, notion récemment émergée comme question importante dans le transport, tente de quantifier la probabilité avec laquelle un réseau de transport assure aux usagers le niveau de service attendu. Cette préoccupation a initialement été étudiée dans la modélisation des effets de grandes catastrophes naturelles, tels inondations ou tremblements de terre sur les infrastructures routières. L'impact de ces recherches a favorisé et stimulé l'étude de la fiabilité de temps de parcours sous des perturbations journalières, tels la météorologie, les incidents ou les travaux, susceptibles d'affecter les opérations de gestion du trafic.

Pour le planificateur, la fiabilité des temps de parcours devient une mesure de performance liée à la conception et à l'évaluation des réseaux de transport (cf. [13]). Pour les usagers, cette notion joue un rôle majeur dans le choix d'itinéraires voire dans le choix modal. Pour illustrer cet effet de la fiabilité sur le choix d'itinéraires, considérons une paire origine-destination reliée avec deux itinéraires A et B, ayant le même temps de parcours moyen mais dont les variances sont très différentes. Prenons ainsi le cas où la variance des temps de parcours sur l'itinéraire A soit plus faible que celle des temps de parcours sur B (cf. figure 6). Les usagers supportant mal le risque ou dans l'obligation d'arriver à l'heure à destination préféreront l'itinéraire A dans la mesure où celui-ci possède de faibles variations du temps de parcours (cf. [12], [14] et [17]).

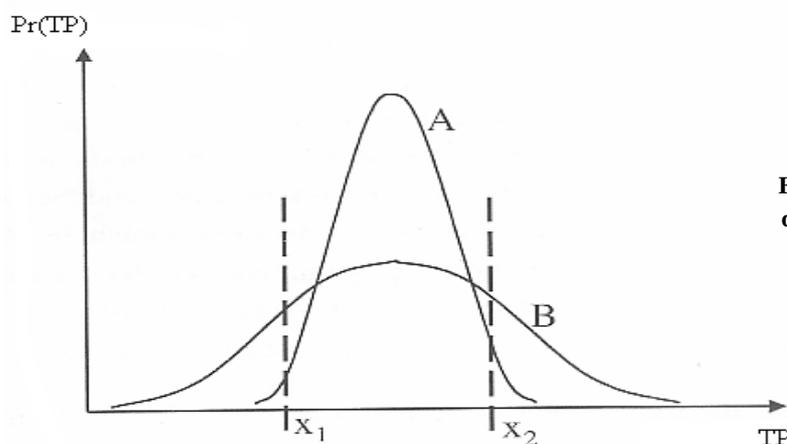


Figure 6 : distribution des temps de parcours sur deux itinéraires A et B (source Inrets)

1.3.2.1 Définition de la fiabilité

Historiquement, la fiabilité a été associée à la performance des équipements mécaniques. Dans ce contexte, la fiabilité est définie comme la probabilité qu'un dispositif exécute son objectif dans un intervalle de temps prévu et dans les conditions de fonctionnement spécifiées.

Pour ce qui est des temps de parcours, bien qu'il n'y ait pas encore de consensus sur la définition de la fiabilité, nous proposons la définition suivante : la fiabilité des temps de parcours associés à un couple origine-destination est la probabilité que le temps de parcours réalisé soit effectivement égal à celui annoncé à une marge d'erreur autorisée près.

La marge d'erreur en question est soit celle spécifiée dans le cahier des charges soit une mesure de la précision perçue par l'utilisateur.

Le calcul de cette probabilité fait appel le plus souvent à la caractérisation de la distribution statistique des temps de parcours et de leur variance (cf. 1.3.1).

En pratique, on utilise le plus souvent l'écart type (σ) du temps de parcours comme mesure de la fiabilité. Autrement dit, la fiabilité du temps de parcours est donnée par la variabilité entre un temps de parcours théorique ou moyen et le temps de parcours réalisé (cf. figure 7).

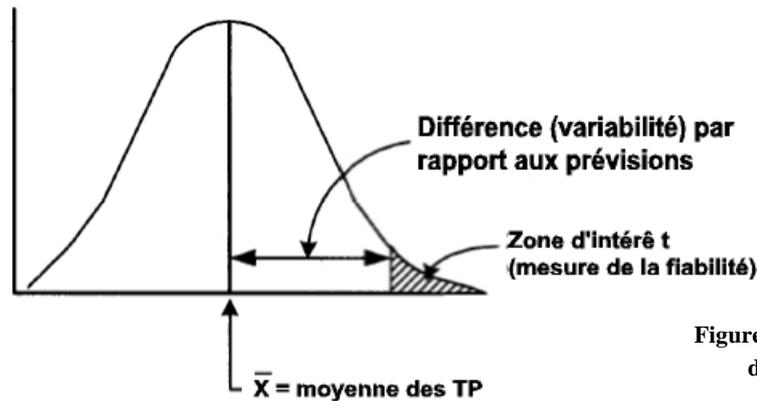


Figure 7 : variabilité comme mesure de fiabilité (source Inrets)

Le coefficient de variation (rapport de l'écart type par la moyenne) est parfois préféré à la variance dans la mesure où l'écart type est un indice de dispersion sensible à la valeur moyenne et à l'unité de mesure utilisée. Le coefficient de variation permet d'obtenir un indice général, indépendant des unités de mesure employées.

1.3.2.2 Quelques métriques de la fiabilité des temps de parcours

Plusieurs métriques associées à la fiabilité ont été proposées sur la base de la variabilité des temps de parcours (cf. [15] et [16]).

Méthode de fiabilité de Floride (MFF)

FDOT (Florida Department Of Transport) a proposé une méthode spécifique à la fiabilité des temps de parcours sur autoroute. Cette méthode définit la fiabilité comme le pourcentage des valeurs des temps de parcours inférieures ou égales à la valeur du temps de parcours prévu, augmentée d'un seuil (risque autorisé par l'utilisateur).

Indice des temps de parcours (ITP)

Cet indice, analogue dans son principe à l'indice de trafic de la Dirif (ex-Siser), repose sur la comparaison des temps de parcours expérimentés avec celui correspondant à un trafic fluide. Il est donné par le ratio du temps de parcours moyen en cas de congestion sur le temps de parcours en régime fluide.

$$ITP = \left(TP_{\text{expérimenté}} / TP_{\text{fluide}} \right)$$

Comme pour le temps de parcours, on peut étendre cette notion de fiabilité aux tronçons. Ainsi un tronçon sera-t-il qualifié de fiable à 100 % si l'indice des temps de parcours est égal à 1.

D'autres variantes de cet indice peuvent être proposées. Par exemple, on peut redéfinir l'indice précédent en utilisant le 95^e percentile des temps de parcours :

$$ITP' = \frac{95^{\text{ème}} \text{ percentile des TP}}{TP_{\text{en fluide}}}$$

Ainsi, une valeur de 1,60 signifie que l'utilisateur doit prévoir un temps de déplacement de 60 % supérieur au temps de parcours en fluide pour lui assurer une arrivée dans les temps à destination dans 95 % des cas.

Indice du temps tampon (ITT)

Cet indice correspond au temps supplémentaire (tampon) nécessaire pour une arrivée à destination dans les temps.

$$ITT (\%) = \frac{(95^{\text{ème}} \text{ percentile du TP} - TP_{\text{moyen}})}{TP_{\text{moyen}}} \times 100$$

La somme du temps de parcours moyen et du temps tampon est le temps qui garantit une arrivée à destination à l'heure souhaitée (*planning time*).

Par exemple, une valeur de 40 % de l'indice précédent signifie que l'on doit prévoir 8 min additionnelles pour un parcours de 20 min (en moyenne) garantissant ainsi une arrivée à l'heure dans 95 % des cas.

Cet indice est à la base des systèmes actuellement opérationnels aux États-Unis (cf. [14]). Les figures ci-dessous fournissent une illustration de cette situation.

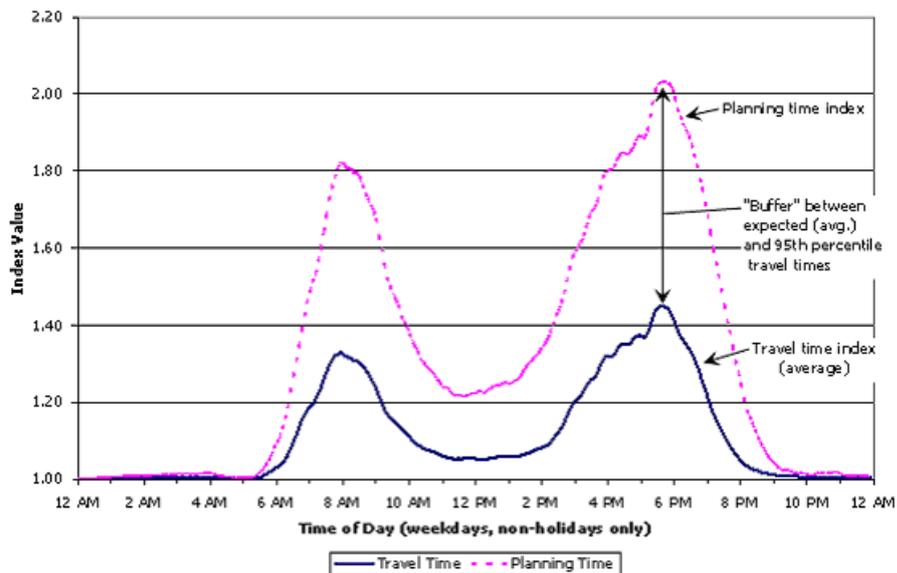


Figure 8 : indice de fiabilité fondé sur l'indice tampon (source : Mobility Monitoring Program, FHWA)

Washington State Department of Transportation [News](#) | [Contact WSDOT](#) | [WSDOT Home](#)

Traffic & Roads | Projects | Business | Environment | Maps & Data

Search **Reliable Travel Times** text size: T T T

Local Traffic Info **WSDOT - 95% Reliable Travel Times**

- [Puget Sound Traffic Cameras](#)
- [Traffic Conditions](#)
- [Incidents](#)
- [Travel Times](#)
- [Local Construction](#)
- [Map Archive](#)

Where are you starting from ?

Where are you going ?

What time do you need to get there? :



Everett - Seattle

Your 95% Reliable Travel Time is **58** minutes.
95% of the time you would need to leave at **6:02 AM** to arrive by 7:00 AM.

Figure 9 : feuille de route avec la valeur du temps de parcours et de sa fiabilité (source : WSDOT's Calculate Your Commute web page)

1.4 Méthodes d'estimation de temps de parcours en temps réel

Il existe essentiellement trois familles de méthodes d'estimation des temps de parcours en temps réel :

- la conversion des mesures globales du trafic (débit, densité ou taux d'occupation et vitesse) ;
- le suivi de véhicules ;
- la combinaison des deux précédentes familles pour permettre l'amélioration des performances de l'estimation. Il s'agit d'un problème de fusion de données délicat, étant donné notamment la différence de nature des deux TP à exploiter.

1.4.1 Conversion des mesures de trafic

Cette famille repose sur l'emploi de moyens de mesure liés à l'infrastructure. Il s'agit surtout de détecteurs de mobiles localisés physiquement le long du réseau étudié, comme par exemple les capteurs de trafic classiques (électromagnétiques, essentiellement).

Ces techniques nécessitent de fragmenter :

- les itinéraires du réseau en tronçons élémentaires auxquels on associe un ensemble de capteurs de mesures représentatives des conditions de circulation ;
- le temps en séquences élémentaires pour recueillir les données de trafic, les transformer en une estimation du temps de parcours et les actualiser.

Les conditions de circulation se doivent d'être les plus homogènes (dans l'espace) et stationnaires (dans le temps) possible. Le temps de parcours de l'itinéraire est alors déduit de la somme des temps de parcours moyens estimés sur chacun des tronçons.

Méthode de la vitesse moyenne

Cette méthode consiste à estimer le TP instantané de chaque tronçon ou le TP sortant reconstitué d'un itinéraire en calculant la vitesse moyenne du flot de circulation à partir des mesures de trafic disponibles sur le tronçon. La densité des capteurs dépend essentiellement de la configuration du réseau et des caractéristiques du trafic supporté.

Adaptée à la configuration autoroutière, elle est utilisée par des systèmes opérationnels un peu partout dans le monde et particulièrement en France sur voies rapides urbaines (Paris, Lyon, Marseille, Lille) et sur autoroutes interurbaines. En revanche, cette méthode ne convient pas pour un réseau urbain régulé par feux.

Pour les VRU, la méthode consiste à estimer le temps de parcours instantané de chaque tronçon. Les principes de l'estimation des temps de parcours instantanés à partir de données de trafic reposent sur la construction d'un indicateur de vitesse moyenne de trafic. Ces données sont principalement fournies par les boucles électromagnétiques implantées sous la chaussée mais d'autres systèmes sont utilisés tels les capteurs infrarouge².

Cette méthode peut être utilisée de différentes manières pour :

- diffuser en temps réel l'estimation de temps de parcours aux usagers et disposer d'une aide à la gestion du trafic. Pour cela on utilise les vitesses (V) ou les taux d'occupation (T) selon le nombre de boucles disponibles par voie ;
- établir en temps différé un indicateur des conditions de circulation en pondérant ce calcul par les débits (Q) supportés par chacun des tronçons.

Le tableau suivant récapitule, de manière synthétique, les méthodes mises en œuvre par les différents exploitants français de VRU.

² Cette technique est actuellement généralisée sur le réseau SAPN de l'ordre de 220 km en complémentarité des systèmes de boucles.

	Sirius (région parisienne)	Coraly (Lyon)	Marius (Marseille)	Allegro (Lille)
Nature du temps de parcours estimé	TP instantané			
Agrégation spatiale	Somme des TP estimés sur chaque tronçon sans pondération par les débits			
Nombre de boucles par voie	1 ou 2	1 ou 2	2	2
Espacement entre les sites de recueil de données	500 m	500 à 800 m	500 m	600 à 700 m
Nature des données recueillies	Mesures individuelles : date de passage, temps de présence sur la boucle, L^3	Mesures moyennes sur 1 min par voie : Q, T, V	Mesures individuelles date de passage, V	Mesures moyennes sur 1 min par voie : Q, T, V
Fréquence du recueil	20 s	1 min	6 s	1 min
Traitement des données individuelles	Données moyennes 20 s : Q, T, L	Sans objet	Vitesse moyenne des 20 derniers véhicules calculée toutes les 12 s	Sans objet
Séquence d'agrégation de l'indicateur TP	TP calculé sur 4 min à partir des 12 dernières périodes de 20 s	TP calculé sur 1 min à partir d'une moyenne glissante pondérée des 6 dernières périodes de 1 min	TP calculé sur 1 min	TP calculé sur 1 min à partir d'une moyenne glissante pondérée des 5 dernières périodes de 1 min
Fréquence d'actualisation du calcul	1 min			

Sur autoroute interurbaine, vu la faible densité de capteurs, on peut procéder au calcul du temps de parcours sortant reconstitué qui est une estimation du temps de parcours sortant réel (cf. 1.1.2.7).

Son principe repose sur la simulation de l'envoi, à l'instant présent, d'un véhicule fictif « en marche arrière » à partir de la sortie de l'itinéraire concerné, afin de calculer son instant d'entrée sur l'itinéraire et finalement reconstituer son temps de parcours sortant par différence avec l'instant présent.

La fiche suivante décrit une expérimentation réalisée par la société des Autoroutes du Sud de la France (ASF) à partir de cette méthode (cf. [3]).

3 Longueur du véhicule

Méthode de la vitesse moyenne	
Lieu	Réseau autoroutier ASF (Autoroutes du Sud de la France).
Statut	Premiers tests réalisés durant l'été 1998 sur les autoroutes A7 et A9 entre les villes de Vienne, Lançon et Montpellier. Diffusion opérationnelle depuis 1999 sur les axes les plus chargés du réseau ASF avec une zone de couverture actuelle de l'ordre de 1200 km.
Exploitant	Autoroutes du Sud de la France (ASF).
Type de réseau	Routes à chaussées séparées (trajets s'échelonnant entre 50 et 250 km).
Description du contexte	Les axes autoroutiers faisant l'objet d'estimations de temps de parcours sont soumis à des points de trafic importantes et récurrentes à l'occasion des grands départs. Le service temps de parcours permet d'informer les clients dès que les conditions de circulation se dégradent (diffusion de temps de traversée sur perturbation localisée et de temps de parcours sur itinéraire en cas de perturbation plus généralisée).
Méthode de calcul	Méthode de la vitesse moyenne – Estimation du temps de parcours sortant reconstitué et du temps de parcours instantané.
Description du dispositif	La vitesse prise en compte dans l'algorithme est obtenue en interpolant quatre valeurs de vitesse mesurées aux stations en amont et en aval et lors des deux séquences de mesures encadrant l'instant considéré.
Performance du système / Résultats obtenus	La précision est comprise entre 5 et 10 %, soit une incertitude comprise entre 6 et 12 min pour un parcours d'une durée de 2 h. L'erreur quadratique moyenne est de 7 % environ pour des temps de parcours compris entre 1 h 30 et 3 h. L'erreur maximale est de 15 min sur un parcours de 3 h.
Type d'évaluation	Les algorithmes ont été validés à plusieurs reprises à partir de valeurs de référence issues de campagnes de mesures par véhicules flottants.
Méthodes de diffusion	Les temps de parcours sont diffusés par le biais de PMV, sur les ondes d'Autoroute Info (107.7) ainsi que sur Internet.
Illustrations	<p style="text-align: center;">Figure 10 : comparaison entre temps de parcours mesuré et reconstitué (source ASF)</p>

Méthodes basées sur les lois du trafic

Deux types de modèles ont été testés dans le cadre de l'estimation de temps de parcours :

- les modèles issus de la théorie des files d'attente consistent à estimer les TP à partir des débits et de la longueur estimée de la file d'attente ;
- les modèles dérivés de la théorie du trafic : lois d'écoulement (macroscopiques) du trafic.

On peut citer la méthode dite « des stocks », expérimentée par les Autoroutes Paris-Rhin-Rhône (APRR), par les Autoroutes Rhône-Alpes (Area) et en cours de mise en œuvre chez ASF.

Cette technique est fondée sur une équation de bilan entre les débits en entrée et en sortie du tronçon.

Cette méthode :

- évalue le stock (le nombre de véhicules présents sur le tronçon, à chaque pas de temps) ;
- calcule le temps de parcours instantané sur ces tronçons en effectuant le rapport entre le stock et le débit de sortie du tronçon.

$$TP_{A \rightarrow B}(t) = \sum_{i=1, \dots, m} \frac{S_i(t)}{Q_{s,i}(t)}$$

Où $S_i(t)$ = stock du tronçon i à l'instant t ;

$Q_{s,i}(t)$ = débit de sortie du tronçon i à l'instant t .

L'absence de moyens de mesure de toutes les entrées et sorties de l'itinéraire (échangeurs, aires de service et de repos) entraîne des dérives, constituant le défaut de cette méthode.

D'une manière générale, ces méthodes présentent l'avantage d'être plus précises que la méthode de la vitesse moyenne lors des phases transitoires de trafic entre situations fluide et saturée et peuvent aussi prendre en compte les afflux de trafic et les temps de traversée des échangeurs autoroutiers.

C'est ainsi que la société APRR expérimente une solution mixte basée sur la méthode de la vitesse moyenne en situation fluide ou chargée sans congestion et sur la méthode des stocks dès l'apparition d'une congestion. Cette solution permet de calculer le temps de traversée d'un bouchon.

Méthodes statistiques

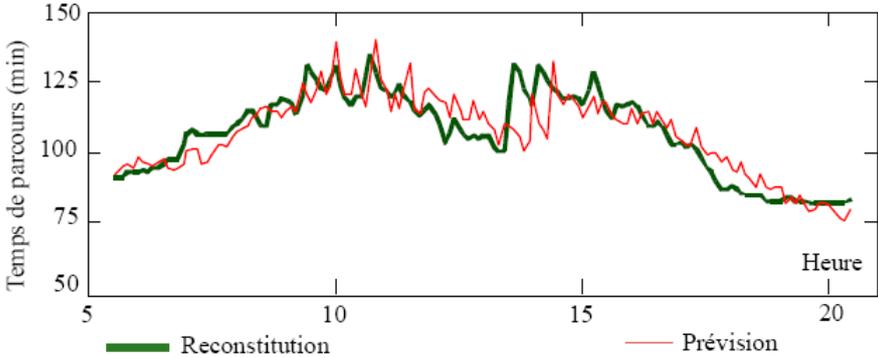
Cette famille aborde l'estimation du temps de parcours comme un problème de (auto)régression en utilisant des caractéristiques du trafic réputées pertinentes (principalement le débit et le taux d'occupation) pour la reconstitution du temps de parcours. Hormis l'hypothèse de causalité entre le temps de parcours et les caractéristiques retenues, aucune loi de comportement n'est imposée et les paramètres du modèle sont estimés à partir des données.

Ces méthodes sont les mieux adaptées au milieu urbain car elles permettent de prendre en compte l'ensemble des perturbations affectant les TP.

Le principe est de rechercher, à partir de données disponibles, une relation entre les caractéristiques du trafic (débit, taux d'occupation) et l'estimation de TP.

La précision des estimations ainsi obtenues est relativement correcte bien que ces techniques souffrent d'un inconvénient majeur, intrinsèque à la modélisation statistique, qui est que les paramètres du modèle résultant ne sont pas réifiants (absence de sens physique des paramètres du modèle). La portée d'un tel modèle ne peut alors être que locale, car intimement liée au contexte de modélisation, ce qui limite sa transférabilité sur d'autres sites et l'universalité d'un système d'estimation statistique du temps de parcours.

La page suivante décrit l'expérimentation menée par ASF pour établir une prévision du temps de parcours reconstitué (cf. [3]).

Méthode statistique	
Lieu	Réseau autoroutier ASF (Autoroutes du Sud de la France).
Statut	Premiers tests réalisés durant l'été 1998 sur les autoroutes A7 et A9 entre les villes de Vienne, Lançon et Montpellier. Diffusion opérationnelle depuis 1999 sur les axes les plus chargés du réseau ASF avec une zone de couverture actuelle de l'ordre de 1200 km.
Exploitant	Autoroutes du Sud de la France (ASF).
Type de réseau	Routes à chaussées séparées (trajets s'échelonnant entre 50 et 250 km).
Description du contexte	Les axes autoroutiers faisant l'objet d'estimations de temps de parcours sont soumis à des points de trafic importantes et récurrentes à l'occasion des grands départs. Le service temps de parcours permet d'informer les clients dès que les conditions de circulation se dégradent (diffusion de temps de traversée sur perturbation localisée et de temps de parcours sur itinéraire en cas de perturbation plus généralisée).
Méthode de calcul	Prévision du temps de parcours reconstitué (noté TPP) sur un modèle de régression linéaire multiple.
Description du dispositif	<p>L'algorithme utilise les variables agrégées disponibles pour chaque itinéraire.</p> $TPP(t) = aTPI(t) + bV(t) + cQ(t) + dOCC(t) + e + \varepsilon$ <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> - TPI désigne le temps de parcours instantané - V désigne la moyenne arithmétique des vitesses mesurées par les stations présentes sur l'itinéraire ; - Q désigne la moyenne arithmétique des débits mesurés ; - OCC désigne la moyenne arithmétique des taux d'occupation mesurés ; - a, b, c, d et e sont calibrés sur des échantillons de référence ; - ε correspond à un terme aléatoire de moyenne nulle.
Performance du système / Résultats obtenus	L'erreur relative ne dépasse pas 10 % en moyenne, soit un niveau de précision a priori satisfaisant.
Type d'évaluation	L'algorithme a été validé à partir de valeurs de référence issues du calcul des temps de parcours reconstitués.
Méthodes de diffusion	Les temps de parcours sont diffusés par le biais de PMV, sur les ondes d'Autoroute Info (107.7) ainsi que sur Internet.
Illustration	 <p style="text-align: center;">Figure 11 : comparaison entre temps de parcours reconstitué et prédit (source ASF)</p>

Méthodes BRP

L'indicateur BRP (cf. [22]) est fréquemment utilisé en milieu urbain. L'idée de base est d'associer chaque point de mesure (boucle électromagnétique) à une zone de l'itinéraire dont il est représentatif. Il s'agit donc de découper l'itinéraire en plusieurs chaînons (autant que de capteurs), de telle sorte que sur chacun d'entre eux le trafic soit dans un état le plus stationnaire possible, et qu'ils forment une partition de l'itinéraire : les chaînons sont consécutifs et leur union recouvre la totalité de l'itinéraire.

Pour le calcul du temps de parcours, l'indicateur se fonde sur l'existence d'une relation linéaire entre le temps de parcours et le taux d'occupation sur chaque chaînon. Ainsi si TP_i est le temps de parcours moyen sur le chaînon i , To_i le taux d'occupation mesuré sur le capteur situé dans ce chaînon et Q_i le débit traversant le chaînon, alors :

$$TP_i = a_i To_i + b_i$$

Les deux paramètres a_i et b_i sont identifiés en utilisant les deux conditions limites suivantes :

- en situation fluide, c'est-à-dire quand To_i tend vers 0, le temps de parcours TP_i tend vers TPL_i , qui est le temps de parcours libre correspondant au temps de parcours à la vitesse désirée. On en déduit $b_i = TPL_i$;
- en situation de saturation, c'est-à-dire quand To_i tend vers 1 et que Q_i tend vers 0, le chaînon est considéré comme plein et le temps total passé par unité de temps dans le chaînon $Q_i \times TP_i$ est égal au nombre maximum de véhicules qu'il peut contenir, N_{max_i} .

De l'équation $Q_i \times TP_i = N_{max_i}$, on déduit $a_i = N_{max_i} / Q_i - TPL_i$.

L'équation (1) s'écrit alors :

$$TP_i = To_i \times (N_{max_i} / Q_i) + (1 - To_i) \times TPL_i$$

Le temps de parcours (instantané) associé à l'itinéraire est alors défini par la somme des temps de parcours des chaînons.

L'utilisation de cette méthode pour estimer un temps de parcours nécessite donc de nombreux paramétrages : en particulier, le découpage de l'itinéraire en chaînons, le choix de la période d'agrégation du débit et du taux d'occupation, ainsi que les capacités des divers chaînons et leurs temps de parcours libres.

Son application est opérationnelle sur le réseau urbain de la ville de Paris depuis 1987 et plus récemment dans le cadre du projet Info Circulation de la ville de Nantes.

1.4.2 Techniques de suivi des véhicules

Cette seconde famille est fondée sur l'utilisation de la mesure de TP individuels sortant des véhicules concernés.

Selon les techniques, il est possible :

- d'identifier les véhicules en des points fixes et de calculer leurs TP individuels ;
- de recueillir les TP individuels calculés par des systèmes embarqués à bord des véhicules.

Dans tous les cas, ces techniques nécessitent de disposer d'un moyen de localisation automatique des véhicules :

- soit des points fixes d'identification et de communication avec les véhicules ;
- soit un système de localisation embarqué (GPS) et un moyen de communication sol-véhicule.

Exploitation des transactions de péage

L'exploitation des données de péage fournit une estimation du TP sortant mesuré par différence entre les horodatages d'entrée et de sortie du réseau soumis à péage d'un même véhicule.

Cette méthode offre l'avantage de fournir un grand nombre de données sans mise en œuvre de capteurs de trafic. En contrepartie, ces données doivent être analysées afin d'épurer les données aberrantes résultant d'un arrêt volontaire du véhicule (pause sur aire de repos ou de service) durant son parcours.

Cette méthode, expérimentée en France par des sociétés concessionnaires, connaît actuellement un regain d'intérêt comme en témoignent les travaux récents conduits par l'Inrets (cf. [30]) et la mise en œuvre opérationnelle par Area.

Lecture de plaques minéralogiques

Cette méthode consiste à suivre les véhicules sur un réseau défini à partir de caméras implantées le long de celui-ci et destinées à la lecture automatisée de plaques minéralogiques. Un logiciel analyse les images renvoyées par ces caméras et horodate le passage des véhicules aux différents points du réseau. Les mesures sont ensuite filtrées puis agrégées de manière à supprimer toutes les valeurs aberrantes.

On déduit le TP individuel sortant mesuré de la différence entre les horodatages de reconnaissance du même véhicule.

Cette méthode, utilisée un peu partout dans le monde, par exemple en Grande-Bretagne depuis 1994, a récemment fait l'objet d'une expérimentation en France dans la vallée de l'Oisans (cf. [31] et [32]).

La page suivante illustre cette méthodologie au travers de l'expérimentation de la DDE de l'Isère.

Technique de suivi de véhicules	
Lieu	Vallée de l'Oisans (France) entre Grenoble et Bourg-d'Oisans.
Statut	Expérimentation de janvier 2004 à avril 2006.
Exploitants	Direction départementale de l'Équipement et Conseil général de l'Isère.
Type de réseau	Route à chaussée bidirectionnelle (45 km) composée d'un tronçon sans dépassement possible (N85) et d'un tronçon de « rase campagne » avec des créneaux de dépassement (N91).
Description du contexte	L'unique axe routier assurant la desserte de l'Oisans est le théâtre d'encombres récurrents lors des grandes migrations saisonnières en particulier hivernales. Le trafic atteint alors 17 000 véh/j, notamment les samedis. Il n'existe aucun itinéraire de substitution et l'élargissement de la voirie existante est difficile.
Méthode de calcul	La méthode utilisée est basée sur le suivi des véhicules par lecture de plaques minéralogiques à partir de caméras implantées le long du réseau. Les temps de parcours sont calculés toutes les 3 min.
Description du dispositif	Cinq sites ont été équipés dans différentes configurations : lecture sur les plaques arrière, lecture sur les plaques avant, caméras localisées dans une armoire technique ou sur potence.
Performance du système / Résultats obtenus	Au-delà du taux de reconnaissance de 77,8 %, on retiendra que la lecture sur les plaques avant et son implantation sur potence lui confèrent une certaine résistance aux influences extérieures telles que la météo, d'où une grande régularité dans les résultats. On constate en effet une baisse de seulement 5 % du taux de reconnaissance par temps de pluie et la nuit. Les temps de parcours sont assez fiables. Moins de 1 % des TP affichés présentent un écart supérieur à 10 min par rapport aux TP réalisés par les usagers.
Type d'évaluation	Acceptabilité des usagers : une enquête d'avril 2005 (par distribution de questionnaires) indique des résultats très satisfaisants en matière d'acceptabilité des usagers. Moins de 10 % des usagers ayant répondu estiment le dispositif inutile et moins de 13 % d'entre eux jugent l'information incorrecte.
Méthodes de diffusion	Les temps de parcours sont diffusés par le biais de PMV, sur les ondes de Radio France Bleue et prochainement sur Internet.
Illustration	
	Figure 12 : exemple d'affichage de temps de parcours sur PMV (source Dirce et CG38)

Signature des véhicules

Cette méthode consiste à suivre les véhicules sur un réseau à partir de leur signature électromagnétique. Lorsqu'un véhicule passe sur une boucle électromagnétique, il laisse une « empreinte », appelée encore signature électromagnétique, déterminée par les propriétés ferromagnétiques de son châssis. L'empreinte est donc spécifique à un modèle de véhicule donné. Par conséquent lorsque ce véhicule se déplace sur un tronçon de voie équipé de boucles inductives, l'empreinte laissée sur chaque capteur va permettre de l'identifier et de le suivre dans son déplacement.

Suivre un véhicule sur un tronçon élémentaire équipé de boucles en entrée et en sortie revient donc à comparer la signature d'un véhicule sortant à l'ensemble des signatures des véhicules entrés précédemment sur une période donnée. De là, on déduit le TP individuel sortant mesuré, à partir de la différence entre les horodatages de reconnaissance du même véhicule.

Un principe assez simple a priori, mais que complique le fait que les signatures de VL sont très ressemblantes. S'ajoutent également des distorsions dans les signatures dues à des capteurs de sensibilité variable ou (et) à des passages plus ou moins centrés sur ceux-ci.

Pourtant, les taux de véhicules « bien identifiés » sont aujourd'hui de l'ordre de 50 % pour les VL et nettement supérieurs pour les PL. Ceci est largement suffisant pour obtenir une bonne estimation des TP sortants, comme le montrent les expérimentations récentes réalisées aux USA (cf. [24]) et en France (cf. [25]).

Sachant que les algorithmes n'impliquent pas de contraintes particulières pour les exploitants, des développements opérationnels devraient donc voir le jour prochainement.

Par rapport aux autres techniques de suivi de véhicule, l'approche boucles électromagnétiques présente l'avantage d'être anonyme (pas de crainte d'atteinte aux libertés individuelles) et de s'appuyer sur un réseau de capteurs très dense déjà en place.

Lecture de badges spécifiques

Cette méthode consiste à équiper les véhicules de badges qui seront identifiés lors de leur passage devant des balises hyperfréquences implantées le long du réseau routier.

Deux technologies différentes de communication sont actuellement utilisées : le DSRC (Dedicated Short-Range Communications) et la localisation satellitaire (GPS, EGNOS, et bientôt Galileo...). Les systèmes de télépéage reposent sur ces technologies.

Cette méthode est utilisée en France par des sociétés concessionnaires d'autoroutes comme par exemple sur le secteur périurbain de Nice (Escota) mais aussi en Europe sur l'autoroute E18 à Oslo, application dont un détail est fourni dans le tableau suivant.

Technique de suivi de véhicules	
Lieu	Autoroute E18 au sud d'Oslo (Norvège).
Statut	Système opérationnel depuis 1994.
Exploitant	
Type de réseau	Routes à chaussées séparées de 45 km comprenant une section à 2X2 voies et une section à 2X3 voies.
Description du contexte	La rocade d'Oslo est payante avec un système de télépéage. Elle connaît de fortes perturbations aux heures de pointe.
Méthode de calcul	Suivi de badges de télépéage.
Description du dispositif	Quatre sites de lecture de badges ont été installés. Chaque site lit et enregistre les données (trois derniers caractères du numéro d'identification du badge, date et heure de passage) des véhicules équipés de badges et les transmet toutes les 5 min à un PC central. Celui-ci calcule les TP des véhicules reconnus par les unités d'enregistrement puis détermine un TP moyen.
Performance du système / Résultats obtenus	Environ 30 % des véhicules sont équipés de badges, ce qui permet d'obtenir une moyenne de vingt TP toutes les 5 min pendant la journée. La précision des mesures est considérée comme correcte.
Type d'évaluation	Les TP calculés ont été comparés à des mesures par véhicules flottants.
Méthodes de diffusion	PMV, radio, Internet.
Illustrations	 <p>Figure 13 : affichage du temps de parcours et de la tendance (avtagende = croissant et økende = décroissant)</p>

Suivi des véhicules équipés de téléphones mobiles

Cette méthode consiste à utiliser les infrastructures des opérateurs de téléphonie mobile pour suivre, en respectant les libertés individuelles, grâce aux fonctions de localisation fournies par un système tel que GSM, les véhicules des usagers qui en disposent et en déduire leur temps de parcours sortant sur l'itinéraire emprunté.

Cette solution est prometteuse en milieu interurbain compte tenu du parc important de téléphones mobiles utilisés par le grand public et de l'économie qu'elle représente en équipements au sol. Elle nécessite le développement d'applications logicielles pour la localisation et le suivi des téléphones à travers les réseaux de télécommunications existants, et, selon les techniques de localisation, des modifications plus ou moins importantes des infrastructures, voire des mobiles, existants.

Plusieurs sites avec des résultats tangibles et positifs émergent pour l'instant : citons en particulier :

- l'Écosse où le recueil par GSM fait partie des technologies utilisées pour calculer l'information temps de parcours ;
- Kansas City (Missouri) où cette technologie a permis de diminuer sensiblement les coûts d'investissement et de maintenance par rapport à l'utilisation des boucles électromagnétiques ;
- et surtout la province du Nord-Brabant (Pays-Bas) qui a mis en place un contrat avec la société LogicaCMG pour acquérir les données en temps réel. Ce projet, mis en place dans le cadre d'une stratégie d'amélioration du niveau de service, a été étendu fin 2004 après 18 mois d'expérimentation, et est utilisé dans plusieurs applications : site Internet, affichage temps de parcours sur PMV, analyses en temps différé, indicateurs de niveaux de service, temps de parcours bus/autocar, modélisation du trafic, gestion d'incidents. La précision des temps de parcours (de l'ordre de 20 %) est jugée acceptable et le projet tout à fait « rentable ». Sur cette base, un service est déjà commercialisé par un prestataire de guidage (TomTom).

Suivi de véhicules traceurs

Cette méthode consiste à équiper des véhicules pilotes (encore appelés véhicules traceurs) avec des capteurs spécifiques et des capacités de transmission adaptées pour les faire circuler sur le réseau étudié. Des algorithmes d'analyse permettent d'en déduire des informations sur le trafic routier, dont le temps de parcours.

Malgré un fort potentiel, les implantations opérationnelles restent à ce jour moins nombreuses qu'espéré, du fait du coût élevé des moyens de communication.

Ces dernières reposent essentiellement sur les systèmes de gestion de flottes que ce soit pour les taxis comme en France (Paris), en Autriche (Vienne) ou en Chine (Ningbo City) ou pour les bus comme en Chine (Pékin).

1.4.3 Techniques de fusion de données

Pour améliorer la couverture du réseau ou la performance de l'estimation des temps de parcours, une méthode consiste à combiner les deux techniques précédentes (traitement des mesures de trafic et suivi des véhicules). Il s'agit d'un problème de fusion de données délicat étant donné la différence de nature des deux temps de parcours à exploiter.

Définition

La fusion de données peut être définie comme le processus permettant de combiner au mieux un ensemble de données multisource, éventuellement hétérogènes, pour produire une information résultante de meilleure qualité.

Processus

On distingue quatre étapes communes à tout processus de fusion, qui s'enchaînent, chacune correspondant à un ou plusieurs traitements des données à fusionner :

- *Représentation homogène et recalage des informations pertinentes* : transformation des données initiales en informations équivalentes dans un espace commun où s'effectuera la fusion ;
- *Modélisation des connaissances* : les données provenant de chaque source ne sont pas forcément exploitables en tant que telles. Une étape essentielle consiste alors à modéliser et à évaluer la connaissance apportée à chaque source ;
- *Combinaison* : c'est à ce niveau du processus que la fusion proprement dite est réalisée. Les informations recalées et remodelées sont combinées selon une règle propre au cadre méthodologique choisi. À ce niveau du processus, la fusion doit être capable de gérer les informations contradictoires et modéliser les conflits potentiels des sources ;
- *Décision par choix de stratégies* : c'est le choix de l'information la plus vraisemblable au sens d'un critère. Le choix du critère dépend du cadre dans lequel le processus de fusion a été développé et de l'objectif à atteindre en particulier selon le niveau de précision et/ou de certitude recherchée.

Techniques

Pour l'estimation des temps de parcours, la fusion peut se concevoir à au moins trois niveaux :

- à un niveau simple, la fusion consiste à utiliser des données TP issues de véhicules traceurs pour la réalisation d'identification en ligne ou tout au moins de mise à jour des paramètres structuraux des algorithmes d'estimation des TP (ex : recalage de la valeur du stock dans la méthode du même nom) ;
- à un niveau intermédiaire, chaque source en présence fournit un estimateur du TP et le problème revient alors à élaborer des schémas méthodologiques permettant la combinaison de ces estimateurs ;
- au niveau le plus complet, cela consiste à fusionner les données issues de chacune des sources.

Ce dernier niveau est certainement le plus intéressant car permettant une exploitation optimale des complémentarités et des redondances des sources d'information. Cependant, cette synergie n'est possible que si l'on est capable d'évaluer finement la connaissance contenue dans chacune des sources de données.

Après plusieurs travaux théoriques et études de faisabilité de ce type d'approches, le Licit (Inrets-ENTPE) a développé une méthode d'estimation en temps réel du temps de parcours des véhicules en fusionnant les données des boucles et des transactions péages. Les résultats obtenus, dont la figure ci-dessous donne une illustration, sont très satisfaisants.

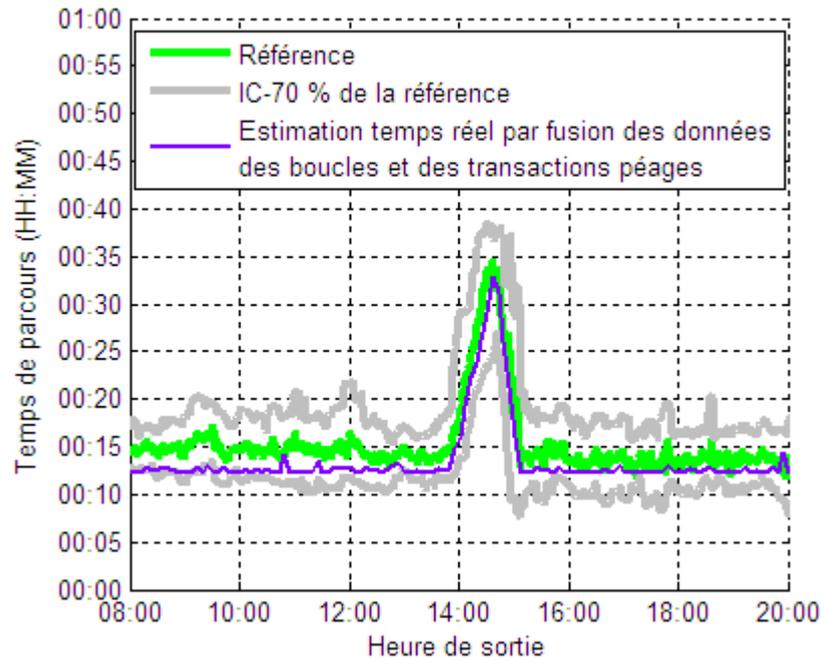


Figure 14 : comparaison entre le temps de parcours de référence et l'estimation du temps de parcours par fusion de données (source Inrets)

Il a également été montré que l'intégration des données péages aux techniques classiques d'estimation des temps de parcours basées sur les données boucles (méthode des vitesses ou méthode des stocks) permet réellement de corriger les défauts de ces méthodes.

Fusion en temps réel des données trafic et des transactions péages	
Lieu	Autoroutes.
Statut	Étude de faisabilité dans le cadre d'un projet européen <i>Intelligent Roads</i> (Intro).
Laboratoire	Laboratoire d'ingénierie circulation transports (Licit), ENTPE-Inrets.
Type de réseau	Sections autoroutières à 2X2 voies de l'ordre de 20 km.
Description du contexte	Les données utilisées ont été fournies par deux sociétés d'autoroutes : Area et APRR.
Méthode de calcul	Fusion des données.
Description du dispositif	L'objectif consiste à développer une méthode d'estimation en temps réel du temps de parcours en fusionnant les données des capteurs et des transactions péages préalablement filtrées. C'est cette idée qui a permis de mettre en œuvre une méthode originale, intégrant en temps réel les données péages (selon leur disponibilité) aux techniques classiques d'estimation des temps de parcours basées sur les données capteurs (méthode des vitesses ou des stocks).
Performance du système	Cette fusion permet de corriger efficacement les biais connus de la méthode des stocks classique.
Type d'évaluation	Les TP calculés ont été comparés à des mesures issues de transactions de péages.
Illustration	<div style="text-align: center;"> <p>Estimation temps réel des TP : boucles et transactions péages</p> <p>01:00 00:55 00:50 00:45 00:40 00:35 00:30 00:25 00:20 00:15 00:10 00:05 00:00</p> <p>08:00 10:00 12:00 14:00 16:00 18:00 20:00</p> <p>Heure de sortie</p> <p>Temps de parcours (HH:MM)</p> <p>Longueur de bouchon (km)</p> <p>— Référence — IC-70 % de la référence — Estimation temps réel par fusion des données des boucles et des transactions péages * Km bouchon (patrouilleurs)</p> </div> <p>Les estimations (courbe en violet) sont très proches des temps de parcours de référence (courbe en vert). Les longueurs de bouchons (en km) relevées par les patrouilleurs sont représentées par des barres rouges.</p>

1.4.4 Tableau de synthèse

	Méthode	Nature du temps de parcours	Domaine d'emploi
Estimation des TP par conversion des mesures du trafic	Méthode de la vitesse moyenne	instantané sortant reconstitué	VRU Autoroutes interurbaines
	Méthode des stocks	instantané sortant reconstitué	Autoroutes interurbaines
	Méthode BRP	instantané sortant reconstitué	Voies urbaines
	Méthodes de prévision de trafic	prévu	Tous types de réseaux
Mesure des TP par suivi de véhicules	Exploitation des données de péage	sortant mesuré	Autoroutes à péage Trajets courts
	Lecture de plaques minéralogiques	sortant mesuré	Tous types de réseaux
	Reconnaissance de la signature des véhicules	sortant mesuré	Tous types de réseaux
	Lecture de badges	sortant mesuré	Tous types de réseaux
	Suivi des téléphones mobiles	sortant mesuré	Routes interurbaines
	Véhicules traceurs	sortant mesuré	Tous types de réseaux
Fusion de données	Exploitation combinée des méthodes précédentes	instantané sortant reconstitué sortant mesuré	Tous types de réseaux

1.5 Prédiction du temps de parcours

La prédiction du temps de parcours ou estimation du temps de parcours prévu est le résultat d'un calcul qui, à partir des conditions courantes de circulation, évalue le temps de parcours qui sera mis par le véhicule en train d'entrer sur le tronçon pour traverser celui-ci, si les conditions de trafic restent les mêmes pendant la durée du trajet.

Ce type d'estimation repose sur deux grandes classes de méthodes :

- on prévoit les conditions de trafic à partir des conditions courantes et passées, puis ces conditions prévues sont converties en temps de parcours. Cette prédiction repose sur des outils de simulation ou sur des techniques statistiques de type économétrique ;
- on exploite une base historique des temps de parcours réalisés pour rechercher des profils semblables à ceux récemment observés. Cette prédiction utilise essentiellement des techniques de séries temporelles.

De nombreuses recherches ont été menées dans ce domaine et rares sont les résultats satisfaisants en situation de congestion. En particulier, les TP prévus sur la région parisienne ne se sont pas avérés beaucoup plus précis que les TP instantanés calculés actuellement.

Le problème essentiel de la prédiction réside dans l'incertitude de l'évolution des conditions de trafic :

- soit l'évolution est récurrente et une prédiction par analogie avec un historique de données est possible ;
- soit l'évolution est aléatoire et il est alors difficile, voire impossible, de la déterminer car elle est dépendante de la durée de l'incident.

Des recherches se poursuivent dans ce domaine de manière à fournir des temps de parcours référentiels sur la base calendaire, en tenant compte du type de jour, de l'heure de la journée, voire même des conditions météorologiques (temps sec, pluvieux,...).

Dans le cadre de la Predim, l'Inrets a expérimenté un algorithme d'estimation d'un temps de parcours moyen de référence (TPM) à partir d'un historique de données d'environ un an portant sur 36 capteurs de l'autoroute A4 reliant Paris à Strasbourg. Le tableau de la page suivante présente cette expérimentation, que l'on peut retrouver sur le site tpm.inrets.fr.

Prévision du temps de parcours	
Lieu	Autoroute A4 entre Paris et Strasbourg.
Statut	Recherche menée par le laboratoire Gretia de l'Inrets et appuyée par la Predim.
Exploitant	Sanef.
Type de réseau	Réseau autoroutier.
Description du contexte	Cette recherche comporte un double objectif : - disposer d'un algorithme et d'un moteur de calcul de TPM par itinéraire en utilisant des données historiques des capteurs Siredo déjà implantés sur les routes ; - étudier la faisabilité d'un système d'information routière sur les temps de parcours moyens et des services associés.
Méthode de calcul	Prévision du temps de parcours en exploitant une base historique de données de trafic.
Description du dispositif	L'idée est de développer une méthode d'estimation du temps de parcours moyen de référence (TPM) par itinéraire, par type de jour et par heure de la journée. De plus, le modèle permet d'estimer le temps de retard dû aux événements exogènes perturbant la capacité des voiries tout au long d'un itinéraire, comme certains chantiers ou les mauvaises conditions météorologiques. Le moteur de calcul dispose actuellement d'un historique de données d'environ un an portant sur 36 capteurs de l'autoroute A4. Il comprend deux variantes de calcul, une pondérée et une non pondérée, fonctionnant dans les deux sens de parcours.
Performance du système	Les distributions statistiques des temps de trajet individuel (TTI) mesurés à partir des données de péages et des TPM bâtis par itinéraire sont relativement proches.
Type d'évaluation	Les TPM calculés ont été comparés à des mesures issues de transactions de péages.
Méthodes de diffusion	La diffusion de l'information se fera selon deux axes : - une information de type statique sous la forme d'un tableau de temps de parcours mis à jour périodiquement ; - une information de type dynamique sous la forme d'un service donnant les temps de parcours en situation de perturbation.

1.6 Méthodes de diffusion de temps de parcours

Dans le contexte actuel, la diffusion d'informations aux usagers prend une ampleur considérable qu'il s'agisse de messages de sécurité, de gestion de trafic ou d'aide au déplacement.

Cette diffusion peut être :

- soit prévisionnelle de manière à permettre à l'utilisateur de planifier son départ et de choisir son itinéraire ou son mode de transport ;
- soit en temps réel de manière à améliorer son confort et lui permettre de modifier son itinéraire, voire son mode de déplacement.

1.6.1 Panneaux à messages variables

Les panneaux à messages variables (PMV) constituent l'un des médias les plus utilisés et les plus efficaces pour la diffusion en temps réel des temps de parcours aux usagers de la route. Ils peuvent être classés selon les catégories suivantes :

PMV « classiques »

Ces panneaux sont en général des panneaux multilignes positionnés sur le bord de la chaussée (sur potence) ou bien au-dessus des voies de circulation (sur portique). On les retrouve aussi bien en urbain, en périurbain qu'en interurbain.

Ils ne sont pas, en général, dédiés à l'affichage de temps de parcours mais permettent de diffuser divers types d'informations aux usagers.



Figure 15 : PMV indiquant les temps de parcours dans l'agglomération de Nantes (source Nantes Métropole)

PMV « diagrammatiques »

Ces panneaux affichent un schéma du réseau concerné et traduisent en couleurs le niveau de saturation des différents tronçons constituant ce réseau. Certaines variantes permettent aussi de donner les temps de parcours entre différents pôles.

Ils sont généralement localisés en amont d'un point de choix offert à l'utilisateur.

Très courant au Japon et en Corée du Sud, ce type de panneau commence à s'implanter en Europe.



Figure 16 : exemple d'affichage sur PMV à Amsterdam
(source RWS)

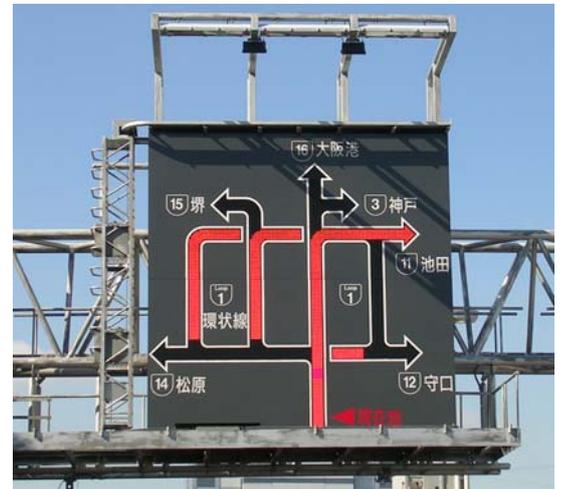


Figure 17 : exemple d'affichage sur PMV à Tokyo
(source Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan)

PMV « mixtes »

Ces panneaux sont composés d'une partie fixe, correspondant aux pôles à atteindre, et d'une partie variable indiquant le temps de parcours pour atteindre ces pôles. Comme pour les panneaux « diagrammatiques », certains d'entre eux permettent en plus d'afficher l'état du trafic par des couleurs conventionnelles.



Figure 18 : exemple de PMV
« mixte » sur l'A2 aux Pays-Bas
(source RWS)

1.6.2 Internet

La diffusion de temps de parcours sur les sites Internet se généralise que ce soit sur les sites des exploitants des réseaux concernés ou sur les sites d'opérateurs de services.

Deux grandes fonctionnalités y sont disponibles :

- visualisation cartographique des temps de parcours ;
- calculateur d'itinéraires.

Visualisation cartographique

Le réseau est fractionné en tronçons élémentaires ayant des conditions de circulation les plus homogènes possible. Ces conditions sont représentées par des codes couleurs sur chacun des tronçons. Une deuxième couche d'information indique entre chaque tronçon ou entre deux pôles importants le temps de parcours calculé en temps réel.

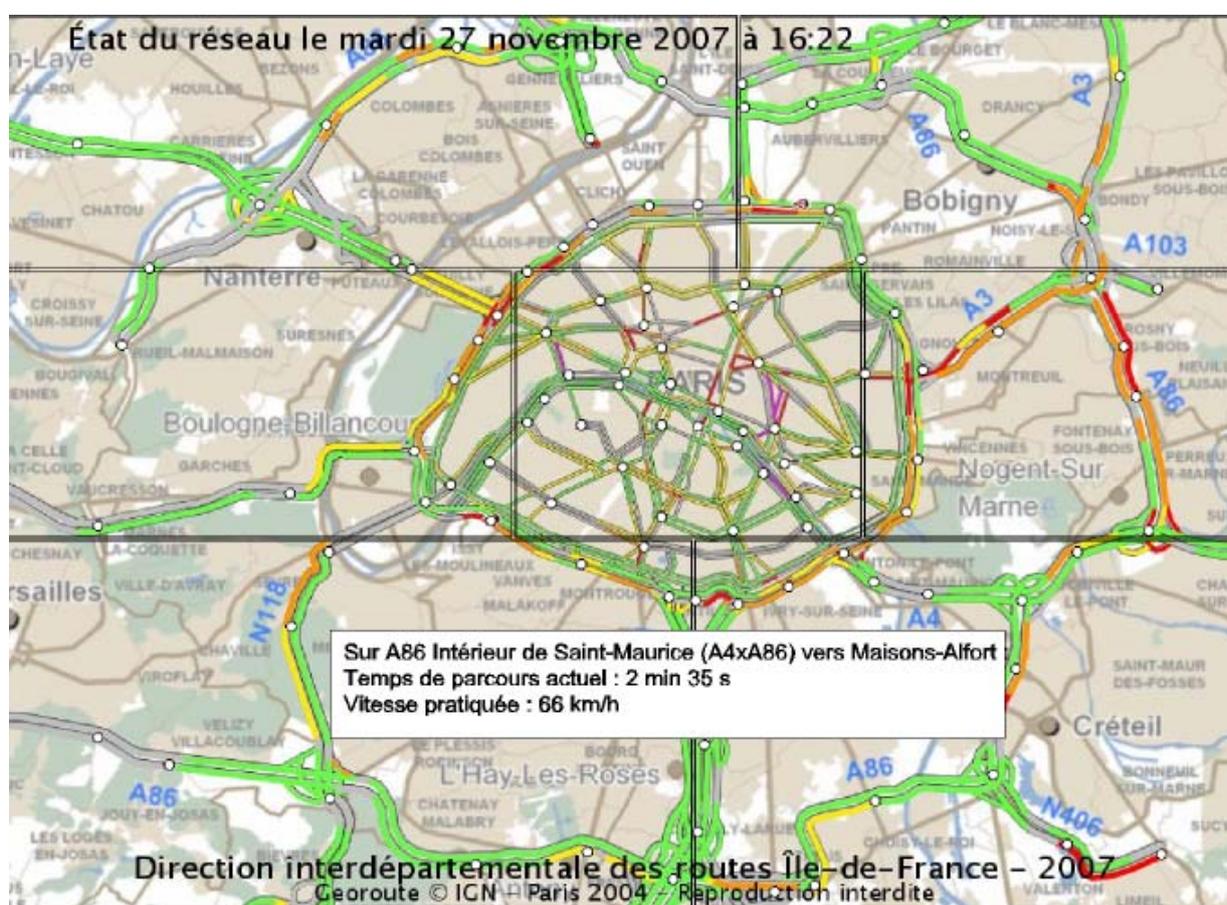
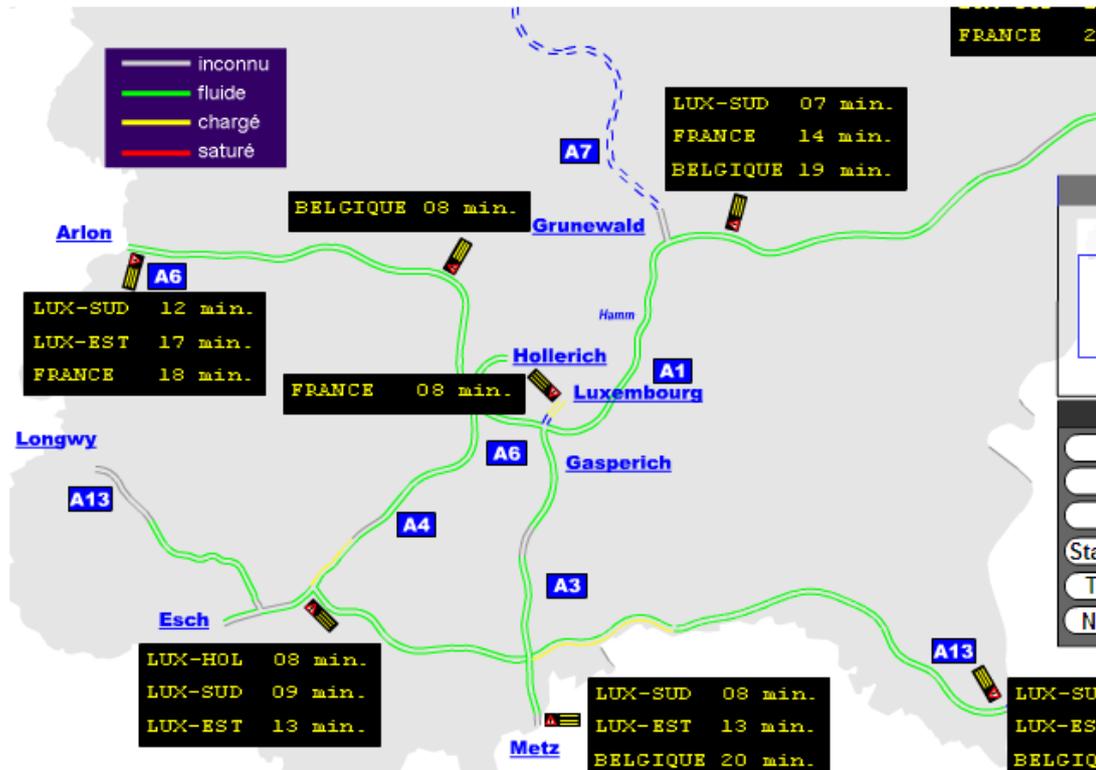


Figure 19 : affichage des temps de parcours sur le site de la Dirif

Ci-dessus, l'affichage des temps de parcours sur le site de la Dirif (exploitant des VRU de Paris) : un simple clic sur un tronçon fait apparaître une fenêtre indiquant la vitesse moyenne et le temps de parcours correspondant sur ce tronçon. Cette information est mise à jour toutes les minutes.

Adresse : <http://www.sytadin.equipement.gouv.fr/>



Le ministère des Travaux publics luxembourgeois diffuse sur son site Internet les temps de parcours de l'ensemble de son réseau autoroutier tels qu'ils sont affichés sur les PMV.

Adresse : <http://www.cita.lu/>

Figure 20 : affichage des temps de parcours sur le site du ministère des Travaux publics luxembourgeois

Calculateur d'itinéraires

La plupart des calculateurs d'itinéraires se basent sur des valeurs moyennes de vitesse en fonction du type de route empruntée et sans tenir compte des conditions de circulation et des événements (bouchon, accident, travaux) présents sur le réseau. Le temps de parcours n'est donc donné que pour un régime fluide. Ces calculateurs permettent, en plus du temps de parcours, de calculer le coût du trajet (consommation essence + péage).

Votre itinéraire

De **Bordeaux (33, France)** [26°C] A **Egletons (19300, France)** [24°C]

Itinéraire **Express** Distance **260.65 km** Voies express **218.54 km** Durée (1) **02H57**
 Essence **22.04 € (22 l)** Indemnités **0.00 €** Véhicule **Routière**

Péages (2) **FRA : 14.80 EUR** **99 707**

(1) Hors pause, conditions normales de météo et trafic
 (2) Hors ponts et tunnels payants hors de France

[Modifier les options](#)

La carte



Carte générale Carte détaillée

[Sauvegarder](#) [Personnaliser](#) [Itinéraire retour](#) [Imprimer](#) [Nouvelle recherche](#)

Cumul	Temps	Feuille de route
0 m	0H00	Bordeaux (33, France)
		Sortir de Bordeaux [3.93km]
3 Km	0H06	Prendre la N10 [3.38km]
7 Km	0H12	A Canon prendre la N89/E70 [18.55km]
25 Km	0H30	Continuer sur l' A89 [139.04km] en suivant le panneau
		LYON CLERMONT-FERRAND PÉRIGUEUX LIBOURNE-NORD
25 Km		Ticket de péage passage à proximité de Libourne
97 Km		Péage : 8.20 EUR passage à proximité de Périgueux
164 Km		Péage : 3.40 EUR
164 Km	01H45	Sortir et prendre la N89 [26.83km]

Ci-dessus un exemple de calcul d'itinéraire sur le site Internet de Mappy®.

Il suffit de définir un point de départ, un point d'arrivée et en option une étape ou un point de passage obligatoire.

On retrouve des informations générales sur le trajet (durée, distance, coût), dont une représentation cartographique est suggérée, ainsi qu'une feuille de route en détaillant les caractéristiques.

Adresse : <http://www.mappy.fr/>

Figure 21 : calcul d'itinéraire sur Mappy®

L'utilisation des temps de parcours en temps réel apporte une certaine valeur ajoutée à ces calculateurs d'itinéraires classiques. En effet, le calcul est optimisé dans le sens où il prend en compte les conditions de circulation en temps réel.

❖ **Résultat de la recherche en temps réel** ❖

Caractéristiques de la recherche en temps réel: [Ajouter aux itinéraires favoris](#) ❖

- Depuis **Combs-la-Ville (D48)** jusqu'à **Créteil Pompadour**.
- Distance parcourue : **37,9 km**.
- Itinéraire pour le trajet le plus rapide.

Votre trajet à la date du 27/11/2007 à 16h30:

- Temps de parcours : **30mn** - Fiabilité (données renseignées): **73%**
- Temps habituel : **28mn**

Feuille de route: [Voir l'itinéraire](#) 

Etapes	Distance	Durée (temps réel)
N104 jusqu'à Lognes (A4xN104xVPO)	20,0 km	15 mn
A4 jusqu'à Saint-Maurice (A4xA86)	13,6 km	11 mn
A86 jusqu'à Créteil Pompadour	4,2 km	4 mn

[Modifier la recherche](#) ❖
[Nouvelle recherche](#) ❖

En cas de pic pollution, merci de respecter les vitesses réglementaires

Figure 22 : calcul d'itinéraire sur le site de la Dirif

Le calcul d'itinéraires proposé par la Dirif s'effectue en choisissant directement sur la carte l'origine et la destination de son parcours.

L'indice de fiabilité correspond au taux de disponibilité relatif des données de trafic sur l'ensemble des mailles du parcours (rapport entre le nombre de mailles disponibles et le nombre total de mailles pondéré par les longueurs des mailles empruntées).

1.6.3 Téléphonie mobile

L'émergence de la téléphonie mobile a permis aux différents opérateurs de proposer des services d'information à leur clientèle comme les conditions de circulation et les temps de parcours. Plusieurs possibilités sont offertes aux utilisateurs de ces services :

- le système WAP propose sous forme graphique des rubriques de trafic et de calcul d'itinéraire ;
- l'envoi de SMS permet de cibler et de personnaliser l'information souhaitée.

WAP

Le WAP (Wireless Application Protocol ou protocole d'application sans fil) est un protocole de communication qui permet à un terminal mobile (téléphone portable, PDA , etc.) d'accéder à Internet. Il s'agit d'une série de normes permettant de communiquer avec un serveur installé sur le réseau des opérateurs de téléphonie mobile. D'où la possibilité pour les appareils mobiles d'accéder à des services sur Internet.

Cette technologie, utilisée en amont du voyage, permet à l'utilisateur de préparer son déplacement.

SMS

Les opérateurs de téléphonie mobile offrent également la possibilité aux usagers d'envoyer des messages écrits de petite taille depuis leur téléphone portable. C'est ce que l'on appelle les SMS (*Short Message Service*).

Ainsi, l'utilisateur (de préférence le passager) peut demander des informations sur son trajet en envoyant un SMS à un numéro particulier. Il reçoit en retour un bulletin détaillant le temps de parcours total sur l'axe demandé, ainsi que les temps de parcours intermédiaires majeurs.

Cette information trafic est par exemple proposée par ViaMichelin® à partir des données de la Ville de Paris qui sont mises à jour toutes les 3 min.

D'autres services, qui fonctionnent en mode alerte, permettent de recevoir automatiquement des messages en fonction d'éléments préétablis.

Par exemple, le ministère des Travaux publics luxembourgeois propose le service Tact (transmission automatique des conditions de trafic) qui permet aux souscripteurs de celui-ci de recevoir jusqu'à quatre fois par jour un message SMS sur leur GSM ou un e-mail indiquant l'état du trafic autoroutier sur un trajet préalablement sélectionné. Ainsi, si l'on souhaite, par exemple, être informé lorsque le temps de parcours entre la frontière franco-luxembourgeoise et Luxembourg-Sud est supérieur à 25min, il suffit de définir une alerte de ce type.

Ce type d'application pose bien évidemment le problème de la lecture de SMS en conduisant. À quoi on peut rétorquer que le SMS n'est pas obligatoirement reçu par le conducteur (de même que le véhicule n'est pas forcément en mouvement quand le message arrive). Par ailleurs, on se trouve sans doute dans une situation intermédiaire, à l'aube du jour où les constructeurs automobiles intégreront ce type d'informations dans le tableau de bord (le danger de la lecture sera alors fortement réduit).

1.6.4 Serveurs vocaux

Les serveurs vocaux utilisent des technologies de reconnaissance et de synthèse vocale pour échanger de l'information avec les usagers.

De plus en plus, ces systèmes intègrent dans leur « flash circulation » des notions de temps de parcours.

1.6.5 Radio

Les sociétés d'autoroutes diffusent régulièrement (en moyenne tous les quarts d'heure, et plus si l'actualité l'exige) des bulletins d'information routière sur une fréquence spécifique couvrant la quasi-totalité du réseau concédé : la FM 107.7.

Les temps de parcours sont annoncés sur ces ondes dès l'instant où une perturbation est détectée sur le réseau ou bien lors de périodes prédéfinies aux approches des grandes agglomérations.

Par exemple, aux heures de pointes, un point spécial est diffusé toutes les 10 min sur les temps de parcours en Ile-de-France.

1.6.6 Systèmes d'information embarqués dans les véhicules

Omniprésente sur les systèmes de navigation et de guidage dynamique de dernière génération, l'information sur le trafic est en passe de se généraliser. Cette technologie, fondée sur la localisation satellitaire (GPS, Egnos et bientôt Galileo), permet en effet au conducteur de connaître, de façon simple, l'état de la circulation sur son parcours.

L'un des principes des systèmes de navigation et de guidage dynamique consiste à proposer le plus court chemin entre un point origine A et un point destination B, puis à calculer la durée du trajet selon une vitesse moyenne. Cependant, la pertinence de ces informations demeure aléatoire, le système ne tenant en effet pas compte des événements, voire des incidents, qui peuvent survenir inopinément, sur un itinéraire, comme les accidents, les embouteillages, les travaux, les fermetures de routes, etc.



Figure 23 : exemple de système embarqué fourni dans les véhicules du groupe Renault

Les systèmes de navigation, jusqu'alors confinés au sein des automobiles (« *on-board* ») pour des raisons diverses (autonomie énergétique, fonctionnalité dédiée uniquement au guidage automobile...) commencent à se « nomadiser ». Ces systèmes nomades pourront accompagner le voyageur multimodal tout au long de son trajet, en voiture, à pied ou dans les transports publics.

Le guidage multimodal est un marché émergent qui doit, pour être réellement pertinent et opérationnel, résoudre divers problèmes : la création et la mise à disposition de cartographies adaptées à la marche à pied, la collecte et l'agglomération de données multimodales, le traitement des pôles d'échanges, le calcul de temps de parcours multimodaux intégrant si possible la composante stationnement.

2. Temps de parcours TC et multimodaux

La notion de temps de parcours multimodaux est aujourd'hui émergente, notamment en lien avec les objectifs des plans de déplacements urbains visant généralement à augmenter la part des modes alternatifs à la voiture.

Cette notion étant récente, projets et réalisations sont encore peu nombreux. Ce chapitre a donc plus une vocation prospective que descriptive.

Nous nous limiterons dans ce guide à la description du temps de parcours des modes les plus couramment utilisés, à savoir : marche à pied, vélo, véhicule particulier, et transports en commun.

Cependant, d'autres modes de transport existent comme le covoiturage, la voiture en temps partagé, le taxi collectif, le transport à la demande...

2.1 Définitions

Ce premier paragraphe pose les définitions importantes qui seront utilisées par la suite dans le document.

2.1.1 Multimodalité et intermodalité

Bien que récentes, les notions de multimodalité et d'intermodalité ont déjà donné lieu à de multiples définitions. Elles se partagent en deux catégories, suivant qu'elles se réfèrent à une organisation de l'offre de transport ou à un constat du comportement de l'utilisateur.

En se plaçant dans une logique d'information ou de guidage de l'utilisateur, on retiendra les définitions suivantes, parues dans le rapport du groupe de projet ITS-France *Pour un développement de l'information multimodale en agglomération : freins et perspectives* :

- la multimodalité est l'offre de plusieurs moyens de transport pour un déplacement entre une origine et une destination. Elle se situe donc en amont, et couvre une proposition faite à l'utilisateur où chaque possibilité de choix peut être monomodale (un seul moyen à utiliser) ou intermodale (plusieurs moyens successifs à utiliser) ;
- l'intermodalité est l'enchaînement de différents moyens de transport pour un déplacement entre deux points.

Lorsque l'enchaînement des modes de transport ne concerne que les modes de transport collectif, on devrait de préférence employer le terme de comodalité.

La multimodalité fait donc référence à un environnement dans lequel coexistent plusieurs modes de transport. Cet environnement est nécessaire à l'utilisateur pour pratiquer des déplacements intermodaux.

2.1.2 Nœud de multimodalité

La pratique de l'intermodalité ne peut se faire que si des lieux permettent à l'utilisateur de changer de mode. Aussi, par la suite, appellerons-nous « nœud de multimodalité » une zone où coexistent plusieurs modes de transport et sur laquelle un utilisateur peut changer de mode de transport.

Le parc-relais, lieu aménagé où l'on dépose sa voiture pour continuer son trajet en transport en commun, est l'exemple type d'un nœud de multimodalité ; la gare, un arrêt de bus en sont d'autres exemples.



Figure 24 : parc-relais à Nantes

2.2 Des temps de parcours multimodaux pour quels usages ?

Les plans de déplacements urbains (PDU) ont actuellement pour objectif de réduire la part modale de la voiture au profit des transports en commun.

Ce paragraphe ne vise pas à amender ni à critiquer ce choix de société, mais plus simplement à décrire les utilisations possibles de ce temps de parcours multimodal pour ceux qui seraient confrontés à cette notion.

D'un point de vue global, l'objectif principal de la multimodalité reste l'optimisation de la complémentarité entre les modes de transport et de l'usage des infrastructures existantes.

2.2.1 Une utilisation quotidienne par l'utilisateur dans ses déplacements pendulaires

Dans le cadre des déplacements domicile-travail, l'utilisateur connaît généralement bien son parcours. En fonction des conditions rencontrées sur le terrain et de ses contraintes, il dispose d'un ou de plusieurs itinéraires types qu'il emprunte régulièrement.

L'utilisation du temps de parcours multimodal va lui permettre d'optimiser son trajet, et de repérer les lieux où il est judicieux pour lui de changer de mode en

fonction de l'état annoncé des différents réseaux existants. Cette optimisation peut se faire au jour le jour, l'utilisateur changeant ses habitudes en fonction des temps de parcours affichés. L'information lui permet alors de choisir le mode ou la combinaison modale la plus avantageuse.

L'utilisation aux heures de pointe de cette information « temps de parcours multimodal » permet également aux exploitants d'optimiser en temps réel les réseaux de transport, de connaître les principales difficultés existantes sur leur réseau, mais aussi sur les réseaux voisins : en cas de crise sur un réseau, cette information permet de guider l'utilisateur vers les autres réseaux. Ceux-ci peuvent être méconnus d'un usager ; l'information « temps de parcours multimodal » devra permettre d'orienter l'utilisateur jusqu'à sa destination.

Un usage statistique de cette information permettra aux différents gestionnaires de réseaux de comprendre où résident les principales difficultés et les aidera à décider des investissements et aménagements à effectuer.

La collaboration entre gestionnaires est donc primordiale.

2.2.2 Une utilisation exceptionnelle par l'utilisateur pour ses déplacements inhabituels

Dans ce cas, l'utilisateur connaît généralement peu les réseaux de transport existants et l'offre correspondant à ces réseaux. Le rôle de cette information est de l'aider à connaître ces réseaux et de l'orienter à travers les différentes possibilités qui s'offrent à lui : amener l'utilisateur en voiture jusqu'à une gare qu'il ne connaissait pas peut s'avérer intéressant pour effectuer le trajet.

Plus qu'une information de confort, il s'agit donc d'une information de guidage et d'aide au choix des modes à utiliser.

Une étude préalable à la mise en place de TransportDirect (cf. 2.6.3) a indiqué que 27 % des usagers avaient déterminé leur mode de transport après avoir consulté une source d'information pour des déplacements longs occasionnels.

2.3 Typologie des modes et temps de parcours associés

En ce qui concerne l'aspect « temps de parcours », les différents modes traités dans ce chapitre peuvent être rangés en trois catégories :

- modes collectifs (ensemble des TC) ;
- modes individuels sans contrainte de stationnement (marche à pied, vélo) ;
- modes individuels avec contrainte de stationnement (VP) ; comme cette dernière catégorie est largement traitée par ailleurs dans ce document, ne seront abordés ici que les aspects temps de parcours liés à l'interfaçage avec d'autres modes.

2.3.1 Modes collectifs

2.3.1.1 Composantes du temps de parcours

Les transports en commun possèdent des caractéristiques propres à leur manière de fonctionner :

- un réseau ayant des entrées et des sorties en des lieux spécifiés ;
- une définition par horaire ou fréquence ;

- un parcours prédéfini et généralement fixe dans la durée ;
- pas de temps de stationnement à prendre en compte par l'utilisateur.

Ces caractéristiques permettent de définir des composantes spécifiques au temps de parcours en transports en commun :

- un temps d'accès au mode T_a ;
- un temps d'attente au point d'entrée du mode T_{att} ;
- un temps de voyage ou de transport T_v ;
- éventuellement, un temps de correspondance T_c ;
- un temps de sortie du mode T_s .

Le temps de parcours type pour les transports en commun est alors égal à la somme de ces temps :

$$TP = T_a + T_{att} + T_v + T_c + T_s$$

En cas de correspondance(s), le temps passé à attendre un autre moyen de transport est considéré comme faisant partie du temps de correspondance.



Figure 25 : calculateur d'itinéraires TC (site de la RATP).

Dans ce cas, on fixe T_{att} (temps d'attente) = 0.

2.3.1.2 Approches des composantes du temps de parcours

2.3.1.2.1 Temps d'accès T_a et temps de sortie T_s

Le temps d'accès correspond au temps que met un usager à rejoindre le mode collectif depuis son point de départ. Généralement, cet accès se fait à pied, et on peut alors avoir la relation :

$$T_a = \frac{d_a}{v_m}$$

avec d_a la distance en mètres entre l'origine du trajet et le point d'entrée du réseau de transports en commun et v_m représentant la vitesse de marche (en m/s si d_a est en m). Pour plus de détails sur la vitesse de marche, on se référera au paragraphe 2.3.2.2.2.1.

Par analogie, le temps de sortie sera :

$$T_s = \frac{d_s}{v_m}$$

avec d_s la distance en mètres entre le point de sortie du réseau et la destination du trajet.

2.3.1.2.2 Temps d'attente T_{att}

Le temps d'attente correspond au temps passé par l'utilisateur, une fois à l'arrêt, à attendre le véhicule de la ligne qu'il souhaite emprunter.

Pour les transports en commun ayant une fréquence F^4 définie, et en considérant une arrivée aléatoire des usagers à l'arrêt – ce qui suppose d'avoir F le plus faible possible⁵ et que l'utilisateur ne soit pas en correspondance – le temps d'attente peut être approché grâce à la formule suivante :

$$T_{att} = \frac{1}{2} \times F$$

Si la fréquence devient trop élevée, cette formule n'est plus exacte : l'arrivée des usagers à l'arrêt n'est plus aléatoire car l'utilisateur ne va plus tenir compte de la fréquence, mais de l'horaire de passage du prochain véhicule si celui-ci est connu.

Le temps d'attente va alors être égal à la différence entre l'heure d'arrivée de l'utilisateur à l'arrêt et l'heure de passage du prochain véhicule.

De nature prévoyante, l'utilisateur va avoir tendance à arriver en avance à l'arrêt afin d'être sûr de ne pas rater le passage du mode collectif à l'arrêt. Ainsi, une étude menée dans une gare (Kaufmann) a montré que l'utilisateur arrivait avec 3 min d'avance en moyenne.

Cette attente admet également une valeur limite : elle définit le temps maximal (hors correspondances) qu'un usager est prêt à attendre pour être sûr d'emprunter

⁴ La fréquence désigne l'intervalle de temps moyen entre le passage de deux véhicules de transport en commun d'une même ligne.

⁵ Une valeur limite de l'utilisation de la formule pourrait être prise égale à 10 min.

le mode de transport collectif choisi. Cette valeur a été estimée à 7,5 min par certains auteurs (cf. [77]).

2.3.1.2.3 Temps de voyage T_v

Il s'agit du temps que l'utilisateur passe à bord du véhicule depuis la station de départ jusqu'à celle d'arrivée.

Ce temps est généralement connu à l'avance pour des modes de transport guidés ou en site propre (du type métro ou tramway) : les aléas sont faibles et les temps de parcours observés proches des temps de parcours théoriques.

En revanche, pour les modes de transport soumis à la circulation automobile, les temps de parcours sont difficilement prévisibles. Pour un bus hors site propre, le temps de déplacement peut être décomposé en quatre composantes d'ordres de grandeur similaires :

- temps d'attente aux feux ;
- temps d'attente aux arrêts⁶ ;
- temps d'attente dans les encombrements ;
- temps de roulage.

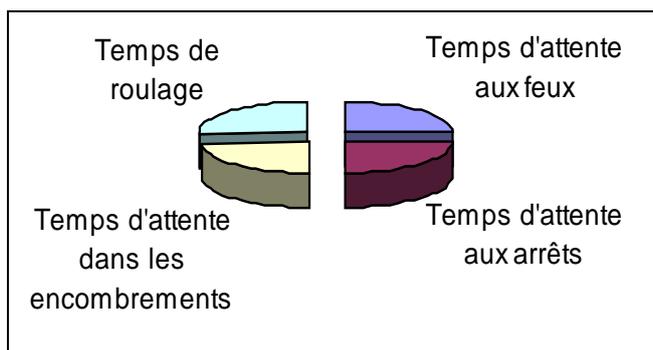


Figure 26 : décomposition usuelle du temps de parcours d'un bus

Dans l'idéal, les perturbations affectant le temps de voyage doivent pouvoir être connues en temps réel afin d'orienter les usagers en fonction de leur itinéraire et du maillage du réseau. Les systèmes d'aide à l'exploitation et à l'information voyageurs (SAEIV) permettent de récupérer des données dont le traitement vise à remplir cet objectif.

2.3.1.2.4 Temps de correspondance T_c

Ce temps n'intervient qu'en cas de rupture de charge. Il correspond au temps mis par un usager pour aller de l'arrêt de descente du premier véhicule jusqu'à l'arrêt de montée dans un deuxième véhicule de transport en commun, auquel on ajoute le temps d'attente du deuxième véhicule (noté T'_{att}).

Ce temps varie en fonction de la distance entre les arrêts et peut être approché par la relation suivante :

⁶ Ce temps d'attente aux arrêts correspond au temps nécessaire à faire monter et descendre les usagers à l'arrêt, ainsi qu'à un éventuel temps de régulation (temps pendant lequel le bus attend pour respecter un écart minimal avec le bus le précédent).

$$T_C = \frac{d_{A \rightarrow B}}{v_m} + T_{att}$$

avec $d_{A \rightarrow B}$ la distance entre l'arrêt A de descente et l'arrêt B de montée.

Si cette distance est nulle (arrêts confondus), le temps de correspondance est égal au seul temps d'attente.

Dans le cas de nœuds de multimodalité, la connaissance du temps de correspondance dépend de la finesse de leur modélisation, de la connaissance des équipements disponibles (ascenseur, trottoir roulant...) et enfin de leur niveau de saturation.

2.3.2 Modes individuels sans contrainte de stationnement

Pour illustrer ce paragraphe, une focalisation sera effectuée sur les deux modes individuels sans contrainte de stationnement principalement utilisés⁷ : la marche à pied et le vélo.

Il convient de noter que le vélo utilisé comme mode collectif (vélo partagé) a davantage les caractéristiques d'un mode de transport en commun (entrées / sorties du réseau connues et fixées, facilité de correspondances avec d'autres modes de transport collectif...).

2.3.2.1 Composantes du temps de parcours

Ces modes peuvent être caractérisés ainsi :

- une utilisation sur de courtes distances ;
- une combinaison fréquente avec d'autres modes de déplacement ;
- une sensibilité aux conditions météorologiques ;
- pas de temps de stationnement à prendre en compte, mais éventuellement un temps de prise en charge.

Le temps de parcours de la classe comprend alors les composantes suivantes :

- temps de prise en charge et de dépose T_{pc} ;
- temps de voyage T_v .

Le temps de parcours est égal à la somme des composantes :

$$T_P = T_{pc} + T_v$$

2.3.2.2 Approches des composantes du temps de parcours

2.3.2.2.1 Temps de prise en charge et de dépose T_{pc}

Pour la marche, ce temps est considéré comme nul.

Pour le vélo, la Fédération des usagers de la bicyclette (Fubicy) indique que ce temps ne dépend pas du trajet à effectuer, et qu'il peut donc être considéré comme constant. Cette constante est prise égale à 5 min.

⁷ Selon le résultat d'enquêtes-ménages.

2.3.2.2.2 Temps de voyage T_v

Ce temps peut être approché par la formule suivante :

$$T_v = \frac{d}{V_{\text{mode}}}$$

où d représente la distance à parcourir et V_{mode} la vitesse de déplacement du mode considéré.

Des indications de vitesse moyenne peuvent être données pour chaque mode.

2.3.2.2.2.1 Vitesse de marche à pied

La vitesse de déplacement à pied varie selon les individus. De même que, selon les sources, varie la vitesse moyenne de déplacement à pied d'un individu. Ainsi, la vitesse de référence est de 1 m/s en France⁸ pour 1,2 m/s en Grande-Bretagne.

En France, cette vitesse a été déterminée en fonction du temps nécessaire aux piétons pour traverser les carrefours régulés par feux en toute sécurité.

Des calculateurs d'itinéraires piétons, comme sur les sites de Mappy© ou Via-Michelin©, considèrent des vitesses de déplacement de l'ordre de 1,1 à 1,2 m/s.

Une vitesse comprise entre 1 et 1,2 m/s paraît donc appropriée pour estimer le temps de voyage à pied.

À noter que pour la marche à pied, le principal problème consiste à connaître la distance de marche : la cartographie actuelle n'est pas suffisamment détaillée pour connaître l'ensemble des cheminements piétons possibles (entrées des parcs et jardins, passages sous immeubles...).

2.3.2.2.2.2 Vitesse de déplacement à vélo

Les résultats d'enquête montrent que la vitesse moyenne de déplacement à vélo est de l'ordre de 14 km/h. Cette valeur a également été retenue par la Fubicy comme valeur moyenne de déplacement.

Cependant, cette valeur cache de nombreuses disparités, puisque selon les catégories d'individus, ce chiffre oscille entre 10 et 21 km/h environ.

2.3.3 Modes individuels avec contrainte de stationnement

2.3.3.1 Composantes du temps de parcours

La différence principale entre cette catégorie et la précédente est la nécessité pour l'utilisateur de trouver un emplacement de parking pour son moyen de transport.

Aussi, le temps de parcours peut être divisé selon les composantes suivantes :

- temps d'accès T_a ;
- temps de voyage T_v ;
- temps de recherche d'une place de stationnement T_{stat} ;
- temps de sortie, ou temps mis par l'utilisateur pour se déplacer depuis le lieu du stationnement jusqu'à sa destination, T_s .

⁸ Soit 3,6 km/h.

Le temps de parcours est égal à la somme des composantes :

$$TP = T_a + T_v + T_{stat} + T_s$$

2.3.3.2 Approches des composantes du temps de parcours

2.3.3.2.1 Temps d'accès T_a et de sortie T_s

Le temps d'accès et de sortie sont similaires à ceux définis au paragraphe 2.3.1.2.1: le mode d'accès et de sortie reste la marche à pied. D'où :

$$T_a = \frac{d_a}{v_m} \quad \text{et} \quad T_s = \frac{d_s}{v_m}$$

2.3.3.2.2 Temps de voyage T_v

Le temps de voyage est celui qui correspond à la première partie du présent guide (cf. chapitre 1). On se réfèrera donc à cette partie pour son estimation ou sa prévision.

2.3.3.2.3 Temps de recherche d'une place de stationnement T_{stat}

Le temps de recherche d'une place de stationnement correspond au temps mis par l'utilisateur à trouver une place de stationnement à proximité de sa destination (ou d'un nœud de multimodalité) et au temps qu'il met pour s'y garer.

Quand l'utilisateur possède un emplacement à destination, ce temps de recherche correspond évidemment uniquement au temps mis par l'utilisateur pour se garer.

Dans le cas contraire, le temps passé par l'utilisateur à rechercher une place de stationnement est difficile à déterminer : il dépend non seulement de l'attente de l'utilisateur en terme de stationnement, mais aussi de paramètres exogènes.

2.3.3.2.3.1 Stratégies de l'automobiliste en matière de stationnement

L'automobiliste a des attentes qui vont conditionner sa stratégie de recherche d'une place de stationnement. Ces attentes listées dans le guide *Politique de stationnement : l'enjeu de la communication* du Certu, sont les suivantes :

- proximité (lieu) de la place de stationnement ;
- immédiateté (temps de recherche) du stationnement ;
- garantie du stationnement ;
- sécurité, tant pour le conducteur que pour son véhicule ;
- gratuité du stationnement.

Selon l'importance accordée à chacun de ces critères, les usagers ne vont pas adopter la même stratégie pour se garer, et le temps de recherche associé sera différent.

En outre, la stratégie de l'automobiliste peut « basculer » lors de la recherche : s'il ne trouve pas une place de stationnement gratuite sur voirie au bout d'un certain temps, il peut s'orienter vers la recherche d'une place payante, sur voirie ou en ouvrage, voire se résoudre à un emplacement interdit (cf. [74]).

2.3.3.2.3.2 Temps de recherche d'une place sur voirie

La stratégie d'un automobiliste n'est pas la seule composante déterminant le temps de recherche d'une place de stationnement sur voirie. D'autres paramètres rentrent en jeu :

- la présence de places disponibles ou non à proximité de la destination : ce paramètre permet de déterminer si le stationnement est immédiat ou non ;
- le taux de rotation : il détermine la facilité à trouver une place quand il n'y en a pas de disponible à proximité de la destination. Il dépend du moment d'arrivée dans le quartier (heure et jour) ;
- l'accessibilité de l'emplacement (taille de la place par rapport à celle de la voiture) ;
- la nature du trafic (fluide, embouteillé...) : le temps de recherche augmente avec le caractère embouteillé de la rue ou du quartier ;
- ...

La société JMJ Conseil a effectué une étude sur le temps de recherche d'une place de stationnement (cf. [72]) pour le compte de la Drast en 2003. Une synthèse de cette étude montre que « *le taux de rotation est certes un facteur décisif (pour la durée de recherche), mais la position des emplacements (...) ainsi que le nombre de places disponibles ne peuvent manquer de jouer aussi* ».

L'estimation du temps de recherche d'une place de stationnement sur voirie n'est donc réellement possible que par une méthode empirique tenant compte de l'heure et du jour de la recherche.

Ce temps de recherche d'une place de stationnement sur voirie est évoqué dans un guide méthodologique du Certu (cf. [73]).

Une autre étude a été menée par la société Sareco en 2005. Elle a donné les résultats suivants (cf. [74]) :

Quartier étudié	Temps moyen de recherche (min)
Grenoble (quartier Vaucanson)	3,3
Lyon (quartier Presqu'île)	11,8
Paris (quartier Commerce)	10
Paris (quartier Saint-Germain)	7,7

Ces résultats révèlent une forte disparité entre les quartiers, et montrent que le temps de recherche d'une place de stationnement est parfois loin d'être négligeable.

L'étude menée par JMJ Conseil (cf. [72]) a montré qu'une fois sur trois dans le quartier Presqu'île de Lyon, les enquêteurs n'ont pas réussi à trouver une place de stationnement en moins de 20 min, essentiellement en raison des embouteillages dans ce secteur.

2.3.3.2.3.3 Temps de recherche d'une place en ouvrage

Indépendamment de la stratégie de l'automobiliste, le temps de recherche d'une place en ouvrage dépend essentiellement de son taux de remplissage.

D'autres paramètres interviennent cependant. Ainsi, la connaissance de l'offre de stationnement est également un facteur de gain de temps pour l'automobiliste : une étude menée au Royaume-Uni a montré une diminution du temps de recherche d'une place lorsqu'une information sur les disponibilités des parkings était donnée à l'utilisateur (cf. [70]).

Cette connaissance peut être améliorée par la mise en place d'un système de jalonnement dynamique des parkings d'une ville ou agglomération. Ce système permet alors à l'utilisateur de savoir quelles sont les conditions de stationnement dans la zone qui l'intéresse, et donc de limiter la durée de recherche d'une place de stationnement.



Figure 27 : jalonnement dynamique du stationnement à Lille

Une autre possibilité de réduction du temps de recherche d'une place de stationnement en ouvrage consiste à équiper le parking d'un système de guidage de l'utilisateur depuis l'entrée du parking jusqu'à la première place disponible. Ces systèmes, assez récents, présentent également l'avantage d'obtenir rapidement une approximation du temps de recherche par la connaissance en amont de la place que l'automobiliste va occuper.

Une estimation du temps de recherche d'une place de stationnement en ouvrage a été donnée par Axhausen dans les Cahiers du ministère wallon de l'Équipement, avec la formule suivante (ouvrage isolé) :

$$T_{stat} = \frac{\alpha}{1 - \frac{Occ}{C}}$$

avec α : le paramètre structurel de la relation de performance du stationnement ;
 Occ : l'occupation estimée du parking ;
 C : la capacité du parking.

Suite à des expériences menées aux Pays-Bas, la formule paraît convenable. Nous manquons cependant de retour sur son utilisation pour pouvoir conclure précisément.

Cette formule devient cependant inadaptée quand le parking est quasi complet, le temps de recherche tendant alors vers l'infini. Cette formule ne permet également pas de prendre en compte la durée d'une file d'attente éventuelle devant le parking.

À notre connaissance, peu de recherches ont été effectuées sur le temps de recherche d'une place de stationnement en ouvrage. La problématique des gestionnaires de parkings en ouvrage est de savoir si leur parking répond aux besoins des usagers. L'intérêt porte donc davantage sur la connaissance du taux de remplissage du parking que sur la connaissance du temps mis par l'utilisateur pour trouver une place.

En conclusion, le temps de recherche d'une place de stationnement reste assez largement méconnu. Or, c'est précisément cette composante du temps de parcours qui va permettre – ou décourager – l'intermodalité. Cette composante mérite donc d'être mieux connue, car selon le bureau d'études Sareco (cf. [74]), la part de la circulation urbaine engendrée par les véhicules en recherche de stationnement peut atteindre 5, voire 10 %.

2.4 Combinaisons de modes et obtention du temps de parcours multimodal

Le temps de parcours pour chaque type de mode a été introduit. Ce paragraphe vise à combiner ces temps de parcours monomodaux pour former des temps de parcours multimodaux.

Les combinaisons théoriques possibles sont multiples, mais toutes ne reflètent pas les combinaisons possibles sur le terrain. Ce paragraphe a donc également pour but de donner des axes de réponse dans l'aide à apporter à l'utilisateur pour choisir entre toutes ces combinaisons.

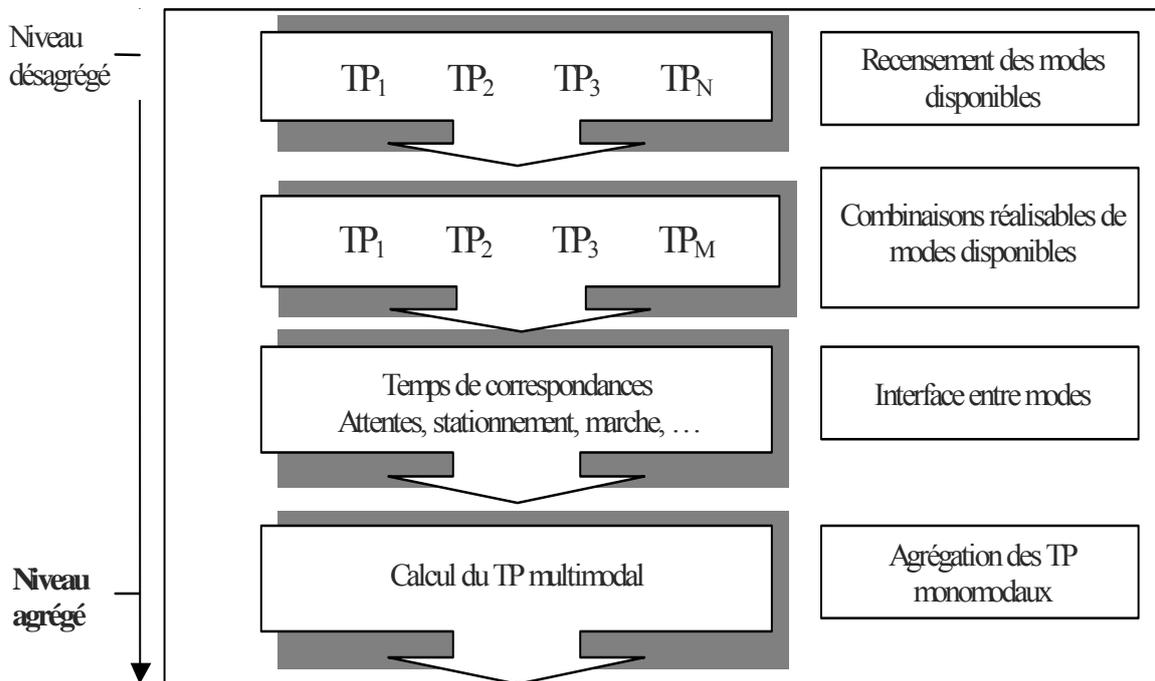


Figure 28 : élaboration du temps de parcours multimodal

2.4.1 Combinaisons réalisables

Toutes les combinaisons modales obtenues ne sont pas réalisables pour un usager.

Ainsi, une combinaison « VP puis TC puis VP » est-elle quasiment irréalisable en pratique, du fait de l'impossibilité d'avoir une voiture disponible en deux lieux distincts.

Les résultats des enquêtes-ménages sur les aspects déplacements montrent que les hypothèses suivantes peuvent être émises dans une optique de simplification :

- il n'est utilisé qu'un mode de transport individuel pour un trajet ;
- suite à l'utilisation d'un mode de transport collectif, il n'est pas utilisé de mode de transport individuel⁹.

Ces règles supposent cependant qu'un vélo ne peut pas être transporté avec l'usager dans un autre mode de transport (du type voiture ou TC).

Les déplacements les plus fréquemment observés :

- ne font intervenir qu'un seul mode (voiture, vélo, marche à pied) ;
- ou font intervenir plusieurs modes : un mode individuel auquel sont combinés des modes de transport collectif (voiture + TC, marche + TC...).

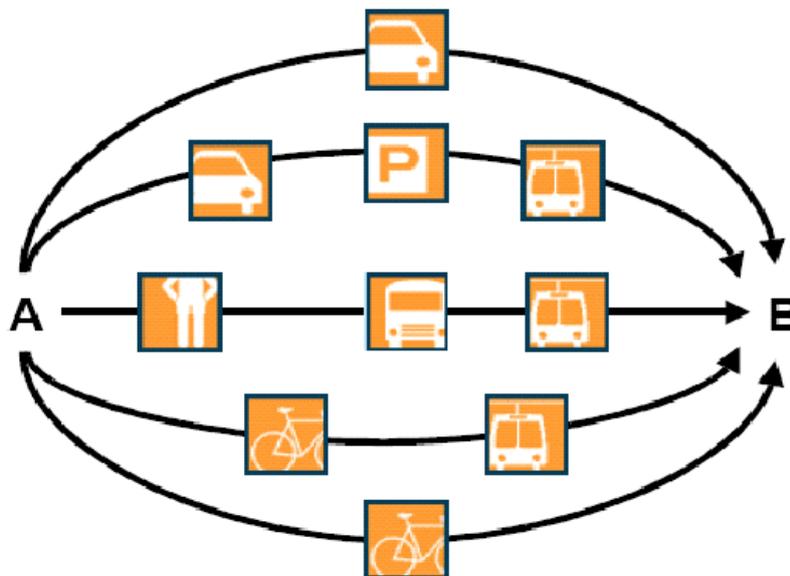


Figure 29 : les différentes possibilités de combinaisons modales effectuées par le calculateur de Transbâle

À noter que ces combinaisons ne font pas apparaître les modes d'accès et de sortie, toujours présents, mais considérés comme des modes « secondaires ».

⁹ En cas d'utilisation d'un mode individuel comme mode de transport collectif (exemple de « Vélo'V » à Lyon, où des vélos sont à la disposition de l'ensemble du public en différents points de la ville, ou voiture en temps partagé), ce mode sera considéré comme un mode de transport collectif.

2.4.2 Agrégation des temps de parcours monomodaux

Le temps de parcours multimodal est obtenu par agrégation des temps de parcours monomodaux, dans lesquels sont inclus les temps liés aux changements de mode.

$$TP_{\text{multimodal}} = \Sigma TP_{\text{monomodaux}}$$

Pour chaque combinaison modale peuvent exister plusieurs itinéraires, en raison notamment des possibilités offertes de changement de mode. Dans ce cas, et pour chaque combinaison modale, un temps de parcours multimodal optimal doit être recherché.

2.4.3 Notion de coût généralisé

Le temps de parcours multimodal résultant de la somme des temps de parcours monomodaux est purement quantitatif.

Il ne prend pas en compte tous les inconforts liés au trajet. Ceux-ci peuvent être nombreux : nombre de changements de mode de transport, temps de marche à pied élevé, inconfort sensoriel. Ces inconforts sont ressentis différemment selon l'utilisateur : untel va accepter de marcher longtemps quand un autre va préférer prendre sa voiture ou son vélo pour effectuer le même trajet.

Ces inconforts vont être pris en compte par l'utilisateur quand il en a connaissance, mais sa réaction face aux désagréments va être subjective et donc difficilement prévisible.

La notion de coût généralisé est une réponse possible à la prise en compte des inconforts. Cette notion revient à traduire le résultat quantitatif et les désagréments du trajet en coûts, en prenant en compte les souhaits de l'utilisateur. Elle permet également de prendre en compte le coût financier du trajet (coût du carburant, des tickets de transport en commun, du parking).

Il s'agit d'une solution lourde nécessitant de recenser toutes les sources possibles d'inconfort, de connaître les sensibilités de l'utilisateur et de traduire ces données en coût. Mais cette solution permet de donner à l'utilisateur le meilleur trajet pour lui.

Voyages-sncf.com a ainsi mis en ligne un éco-comparateur permettant de prendre comme critère d'aide à la décision la composante environnementale (rejet de CO₂). Cette première initiative permet d'introduire la dimension « gaz à effet de serre » parmi les critères de choix du voyageur. Elle doit engager à poursuivre la démarche en affinant la modélisation afin de rendre ce critère parfaitement pertinent.



L'EcoComparateur

Les meilleures propositions du site Voyages-sncf.com : train, avion et voiture pour votre recherche :

ALLER : le 14/03 entre : 07h00 et 10h00

Voire recherche :

PARIS
MARSEILLE

Passager(s): 1

Aller (JJ/MM/AAAA)
14/03/2007

07h-10h

Comparer

	Train	Vol Low Cost*	Vol Régulier	Voiture Personnelle
Prix total (TTC) Aller Simple	25.00 €	Aucun vol low cost* ne correspond à votre recherche.	57.08 €	124.36 €
Durée aller	03h00		01h15	07h34**
Voyage avec	TCV Duplex		AIR FRANCE	Voiture moyenne
Indice environnement (Emissions de CO ₂)	5 kg CO ₂		94 kg CO ₂	157 kg CO ₂

Les chiffres de l'indice environnement (Emissions de CO₂) sont calculés à partir de valeurs moyennes. Fournis à titre indicatif, ils représentent des ordres de grandeur du poids relatif des différents modes de transport.

NB : L'EcoComparateur est en phase de rodage, l'ensemble des tarifs aériens et ferroviaires est accessible depuis le moteur de recherche de la [page d'accueil](#).

Lettre d'information

Figure 30 : prise en compte du critère environnemental sur l'écocompareur de Voyages-sncf.com

2.4.4 Impartialité de l'information

Afin d'optimiser les réseaux de transport, l'information délivrée à l'utilisateur doit être la plus parfaite et donc la plus impartiale possible. Une mauvaise estimation du temps de parcours entraînerait à très court terme une décrédibilisation de l'information aux yeux de l'utilisateur.

Ainsi, favoriser une combinaison modale au détriment d'une autre en modifiant les temps de parcours estimés ou en omettant – volontairement ou non – d'ajouter une composante (par exemple le stationnement dans le cas d'une combinaison VP puis TC) sera aisément décelé par l'utilisateur. Si ce dernier ne rejette pas le système d'information, il apportera de lui-même la correction nécessaire résultant de son expérience pour obtenir un temps de parcours conforme à son trajet.

Il est donc essentiel de prendre en compte les temps liés au(x) changement(s) de mode. Ces temps sont souvent négligés, mais leur obtention permet une information fiable que les usagers peuvent utiliser pour optimiser leur trajet.

2.5 Diffusion du temps de parcours multimodal

La communication du temps de parcours multimodal peut être effectuée par les mêmes médias que ceux servant à la diffusion du temps de parcours monomodal.

Cependant, l'information « temps de parcours multimodal » étant plus complexe à délivrer, certains types de médias se prêtent davantage à la diffusion de cette information : cette plus grande complexité oblige en effet les médias à délivrer une plus grande quantité d'informations.

2.5.1 Médias délivrant de l'information

Ces médias ne peuvent pas communiquer directement avec l'utilisateur : celui-ci subit donc le message reçu sans pouvoir demander plus de renseignements. Le message

affiché doit donc être suffisamment clair pour pouvoir être compris, d'une part, et suivi, d'autre part.

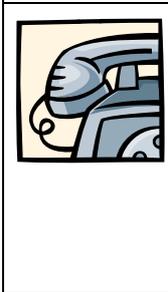
Un premier pas vers l'information multimodale reste l'élaboration d'horaires papier pour les transports en commun, mais d'autres médias permettent de donner une information plus élaborée. Une liste non exhaustive est donnée ci-dessous :

	<p>Radio : l'information TP multimodal qui peut être délivrée par ce média est suffisamment explicite pour être comprise par un usager. Cependant, plus le message est complexe et long, plus il sera difficile à retenir pour l'utilisateur.</p> <p>Celui-ci peut avoir le message avant ou pendant son trajet (107.7 par exemple).</p>
	<p>Panneau d'information : ce média peut délivrer une information TP multimodal complète, permettant à l'utilisateur de choisir entre plusieurs itinéraires concurrents.</p> <p>Cependant, ces panneaux sont généralement utilisés pour un seul mode de transport, ce qui limite la possibilité d'une information multimodale.</p> <p>L'utilisateur doit également faire le détour par le panneau pour voir et assimiler ce qui y est écrit : attention donc au choix de l'emplacement lors de la mise en place du panneau.</p> <p>L'exemple ci-contre montre le panneau mis en place à la gare de la Défense à Paris.</p>
	<p>PMV : ce média est très utilisé pour délivrer une information TP routier à un usager. Il devient cependant difficile de donner une information TP multimodal exhaustive en raison du faible nombre de caractères. On doit alors restreindre l'information au minimum compréhensible par un usager.</p> <p>À la lecture du message, l'utilisateur doit avoir reçu les informations suivantes : la destination et le temps de parcours associé, le mode emprunté pour aller jusqu'à la destination, le lieu de changement de mode éventuel.</p>

2.5.2 Médias interagissant avec l'utilisateur

Cette catégorie de médias permet à l'utilisateur de demander les renseignements qu'il désire obtenir. Ils sont adaptés à la diffusion du TP multimodal car ils permettent de délivrer un message complexe que l'utilisateur peut prendre le temps d'assimiler.

Par définition, du moins aujourd'hui, ces médias sont essentiellement consultés avant le voyage. Une liste non exhaustive des vecteurs d'une telle information est donnée ci-dessous :

	<p>Internet : c'est le média le plus riche en terme de possibilités. Il peut prendre en compte la demande exacte de l'utilisateur et retourner tous les renseignements que celui-ci désire obtenir pour effectuer son trajet. Il permet surtout de bien guider l'utilisateur dans ses changements de mode.</p>
	<p>Téléphone : si un service est offert, ce média remplit les mêmes fonctions qu'Internet mais ne permet pas à l'utilisateur de comparer visuellement plusieurs itinéraires.</p> <p>Aujourd'hui, les prestataires de services ne renseignent généralement que sur un seul mode de transport, ce qui limite la possibilité d'information multimodale !</p> <p>Exemple d'information multimodale par téléphone : 9292 ou site web : www.9292ov.nl aux Pays-Bas (cf. 2.6.3).</p>
	<p>Téléphone mobile : ce média permet d'obtenir une information en tout lieu ou presque. Les renseignements peuvent donc être obtenus en cours de déplacement.</p> <p>Comme pour le téléphone fixe, les renseignements obtenus ne couvrent généralement qu'un seul mode. De plus, le message délivré doit rester succinct en raison de la taille de l'écran, rendant donc difficile la diffusion d'une information TP multimodale précise.</p>

2.6 Panorama de l'information multimodale et des projets

Étant donné l'évolution rapide des projets et les développements apportés aux réalisations, il serait prétentieux de viser l'exhaustivité. Aussi, l'objectif de ce paragraphe est-il davantage de montrer, au travers de certains projets et réalisations, l'éventail de possibilités de diffusion d'information multimodale.

2.6.1 Calculateurs d'itinéraires en transports en commun

De multiples réalisations ont été effectuées dans le domaine des calculateurs d'itinéraires en transports en commun. Parfois à travers des filiales (comme CanalTP filiale de Keolis ou CityWay filiale de Veolia Transport), des opérateurs de services ont développé ces applications mises ensuite en ligne à disposition du futur usager.

Cependant, ces recherches d'itinéraires sont très généralement liées à un seul exploitant de transport en commun.

Le point faible de ces calculateurs reste encore l'estimation du temps d'attente (cf. 2.3.1.2.2) : le temps d'attente à l'arrivée du premier arrêt est souvent supposé nul,

ce qui sous-entend que l'utilisateur arrive à l'arrêt en même temps que le mode de transport en commun.

Or, en pratique, sauf dans le cas d'un intervalle de temps faible entre le passage de deux véhicules de transport en commun d'une même ligne, l'utilisateur arrivera quelques minutes avant l'horaire indiqué pour être sûr de ne pas rater ce premier mode de transport.

Ces calculateurs donnent le plus souvent des résultats liés aux horaires théoriques, sans prendre en compte les perturbations prévues (travaux, manifestations...) ou non (bouchons, accidents...).

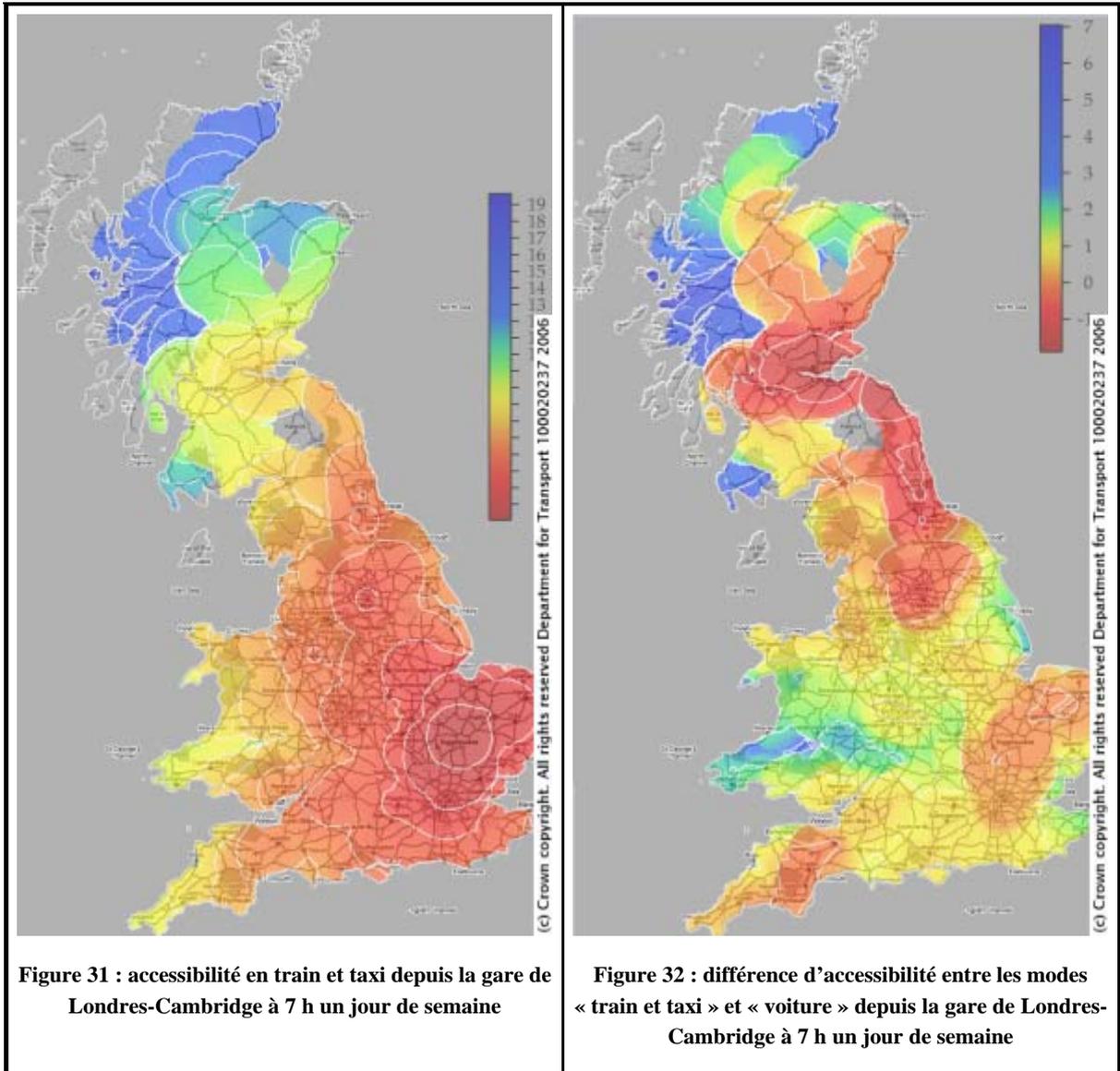
2.6.2 Cartes d'accessibilité

Les cartes d'accessibilité permettent de visualiser le temps de trajet depuis (ou vers) un point quelconque.

La méthodologie de réalisation d'une telle carte sur une zone prédéfinie est la suivante : à partir d'un point donné (comme la place centrale d'une ville), les temps de parcours entre ce point et les autres points de la zone sont calculés. Les points de la zone sont coloriés en fonction du résultat ainsi obtenu.

La difficulté réside dans la définition d'hypothèses réalistes par rapport aux trajets effectués, notamment en ce qui concerne l'estimation des temps d'attente et de correspondance.

Les cartes ci-après illustrent les possibilités offertes par ce mode de représentation sur un exemple anglais.



Ces résultats sont exprimés en heures.

La figure 31 représente la durée du trajet en train et en taxi ; plus la couleur tend vers le bleu, plus le temps de trajet est long.

La figure 32 compare les durées de trajet entre train et voiture ; les couleurs rouge et orange correspondent à un trajet plus rapide en train par rapport à la voiture ; en bleu et en vert, la voiture est plus rapide. En jaune, on peut considérer qu'il n'y a pas de grande différence entre les deux modes de transport.

2.6.3 Projets et réalisations de systèmes d'information multimodale

Si les initiatives et les volontés de mise en place de systèmes d'information multimodale sont nombreuses, la démarche aboutit rarement et prend souvent beaucoup de temps.

Toutefois, face à l'évolution des projets et aux développements effectués, ce paragraphe serait très vite dépassé s'il faisait un état des lieux complet de l'information multimodale. L'état des lieux étant beaucoup plus facile à mettre à jour sur Internet, le lecteur pourra se retourner vers le site de la plate-forme de recherche et d'expérimentation pour le développement de l'information multimodale (Predim¹⁰) pour obtenir des informations à jour sur les différents projets.

Ce paragraphe ne présente donc que quelques projets majeurs, ayant abouti ou non, mais dont les concepts peuvent servir d'exemple pour la mise en place d'un système d'information multimodale à une échelle donnée.

Ces projets sont les suivants :

- « Transbâle », à l'échelle de l'agglomération de Bâle ;
- « LePilote », à l'échelle du département des Bouches-du-Rhône ;
- « TransportDirect », à l'échelle de la Grande-Bretagne.

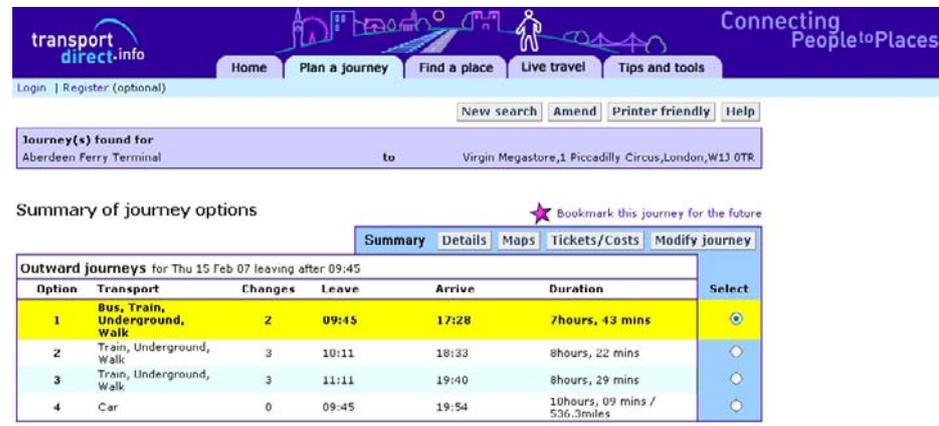
La présentation de ces projets est complétée en fin de paragraphe par un petit tour d'horizon des projets en cours et de réalisations en France comme à l'étranger.

¹⁰ <http://www.predim.org>.

Transbâle : Information multimodale sur Bâle	
Zone couverte	Agglomération tri-nationale de Bâle (Suisse, Allemagne, France) : 750 000 habitants.
Statut	Projet lancé en 2000. Expérimentation débutée en 2001 et arrêtée en 2004 faute de moyens financiers dédiés au fonctionnement du système. Le projet trouverait prochainement une application élargie en Suisse.
Modes de transport	Voiture, vélo, marche à pied, bus, tramway, train.
Contexte	Projet intégré au 5 ^e programme-cadre R&D de l'Union européenne IST (<i>Information Society Technologies</i>) dont l'objectif était la mise en œuvre et l'exploitation expérimentale d'un service d'information multimodale fondé sur des données en temps réel pour l'agglomération de Bâle.
Services offerts	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Calculateur d'itinéraires multimodaux basé sur des données théoriques (TC) ou en temps réel pour certains tronçons routiers. ➤ État du trafic en temps réel sur autoroutes A35 et A36, modélisé sur réseau urbain. ➤ Taux de remplissage des parkings en nombre de places disponibles. ➤ Webcams sur autoroutes.
Description du calculateur d'itinéraires	Les données (statiques, horaires et dynamiques) des exploitants et gestionnaires de réseaux sont transférées après préparation dans une même base de données. Un algorithme de type « plus court chemin » permet de calculer le temps de parcours minimal pour chaque combinaison modale possible. Trois résultats sont ensuite donnés à l'utilisateur sous forme d'une comparaison des temps de parcours pour chaque mode ou combinaison de modes.
Moyen de diffusion	Site Internet trilingue : http://www.transbale.com .
Utilisateurs	100 visiteurs par jour en décembre 2002.
Retours/Évaluation	Une enquête de satisfaction a été menée en 2003 auprès d'utilisateurs du site. Le service de comparaison d'itinéraires est jugé utile ou très utile par 81 % des répondants, et crédible par 58 % d'entre eux (contre 18 % pour non crédible). 17 % ont indiqué leur intention de modifier leur trajet (mode, itinéraire ou heure de départ). Ces résultats portent sur 88 réponses. Une enquête plus large a montré que 70 % des sondés recommanderaient ce site à un ami.

<p>Illustration</p>	 <p>The screenshot shows the 'TRANS 3' website interface. At the top, there are navigation links: 'Votre itinéraire', 'Parking', 'Trafic', 'Webcams', 'Projet', 'Contact', and 'Liens'. The main heading is 'Votre itinéraire'. Below it, there's a search bar and a button 'Les résultats de votre requête'. The search results are displayed in a table:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Moyens de transport</th> <th>Lieu de départ</th> <th>Lieu d'arrivée</th> <th>Durée de trajet</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td>EuroAirport (Schweiz) 14:00</td> <td>Barfüsserplatz (Basel) 14:21</td> <td>21 mn.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td>EuroAirport (Schweiz) 13:56</td> <td>Barfüsserplatz (Basel) 14:21</td> <td>25 mn.</td> </tr> <tr> <td> </td> <td>EuroAirport (Schweiz) 13:56</td> <td>Barfüsserplatz (Basel) 14:24</td> <td>28 mn.</td> </tr> </tbody> </table>	Moyens de transport	Lieu de départ	Lieu d'arrivée	Durée de trajet	 	EuroAirport (Schweiz) 14:00	Barfüsserplatz (Basel) 14:21	21 mn.	 	EuroAirport (Schweiz) 13:56	Barfüsserplatz (Basel) 14:21	25 mn.	 	EuroAirport (Schweiz) 13:56	Barfüsserplatz (Basel) 14:24	28 mn.
Moyens de transport	Lieu de départ	Lieu d'arrivée	Durée de trajet														
 	EuroAirport (Schweiz) 14:00	Barfüsserplatz (Basel) 14:21	21 mn.														
 	EuroAirport (Schweiz) 13:56	Barfüsserplatz (Basel) 14:21	25 mn.														
 	EuroAirport (Schweiz) 13:56	Barfüsserplatz (Basel) 14:24	28 mn.														
<p>LePilote : Information multimodale dans les Bouches-du-Rhône</p>																	
<p>Zone couverte</p>	<p>Département des Bouches-du-Rhône (y compris Marseille et son agglomération).</p>																
<p>Statut</p>	<p>Association LePilote créée en 1999. Le site est en ligne depuis 2001, mais des développements sont en cours.</p>																
<p>Modes de transport</p>	<p>Voiture, métro, tramway, bus, car, train.</p>																
<p>Contexte</p>	<p>LePilote a été lancé dans le cadre du projet européen Stradivarius dont l'objectif était d'inciter à l'utilisation des transports collectifs grâce à une meilleure information et à une tarification intégrée.</p>																
<p>Services offerts</p>	<p>La liste des horaires des transports en commun, une recherche d'itinéraires, une recherche de lieux publics avec les offres de transports pour s'y rendre, l'information en temps réel sur l'état de la circulation et les perturbations des réseaux de transports en commun et des conditions de circulation.</p>																
<p>Description du calculateur d'itinéraires</p>	<p>Le calculateur d'itinéraires est aujourd'hui basé uniquement sur les horaires des transports en commun. Trois ou quatre propositions sont faites à l'utilisateur, en fonction de ses critères. <i>En projet</i> : la proposition d'itinéraires intermodaux VP+TC avec changement de mode au niveau de parcs-relais ou pôles d'échanges.</p>																
<p>Moyens de diffusion</p>	<p>Site Internet : http://www.lepilote.com La mise en place d'un serveur vocal (0810 001326) est effective depuis début 2007. L'envoi d'informations sur les perturbations par courriel et par SMS est à l'étude.</p>																
<p>Utilisateurs</p>	<p>5671 visites/jour en octobre 2007. Le nombre de visites augmente régulièrement depuis la mise en ligne du site. L'une des rubriques les plus consultées est la recherche d'itinéraires (plus de 106 000 recherches en septembre 2007).</p>																
<p>Retours/Évaluation</p>	<p>Un sondage mené en 2003-2004 (185 réponses) a permis de constater que 94 % des nouveaux utilisateurs du site pensent revenir le consulter.</p>																

Illustration	<p>Pour votre déplacement Lepilote a trouvé l'itinéraire suivant :</p> <table border="1"> <tr> <td>Départ : 16:47</td> <td>Arrivée : 18:04</td> </tr> <tr> <td>Durée totale du trajet : 1h17</td> <td>Accès et attente au premier arrêt : 4 min</td> </tr> <tr> <td>Nombre de changements : 1</td> <td>Durée du trajet à partir du premier arrêt : 69 min</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Dép. 16:47</td> <td>Départ de l'adresse 20 LA CANEBIERE (MARSEILLE)</td> <td>Plan</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Prenez la rue : QUAI DES BELGES</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Marchez jusqu'à la station de métro VIEUX PORT</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Prenez la ligne RTM : M1 LA RESE - LA TIMONE En direction de : TIMONE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dép. 16:51 Arr. 16:52</td> <td>De : VIEUX PORT A : TIMONE</td> <td>Plan</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Marchez jusqu'à l'arrêt : METRO LA TIMONE de la ligne 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Prenez la ligne RTM : 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE En direction de : GARE D'AUBAGNE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dép. 17:04 Arr. 18:04</td> <td>De : METRO LA TIMONE A : AUBAGNE</td> <td>Plan</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Marchez le long de la rue : AVENUE LOULOU DELFIEU</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Prenez la rue : RUE DE LA REPUBLIQUE</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Prenez la rue : BOULEVARD JEAN JAURES</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Vous arrivez à AUBAGNE au site Hôtel de Ville</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arr. 18:04</td> <td>Arrivée au site Hôtel de Ville (AUBAGNE) Plus d'infos sur ce site...</td> <td>Plan</td> </tr> </table> <p>Légende</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Marche</td> <td>METRO</td> <td>BUS</td> </tr> </table>	Départ : 16:47	Arrivée : 18:04	Durée totale du trajet : 1h17	Accès et attente au premier arrêt : 4 min	Nombre de changements : 1	Durée du trajet à partir du premier arrêt : 69 min	Dép. 16:47	Départ de l'adresse 20 LA CANEBIERE (MARSEILLE)	Plan		Prenez la rue : QUAI DES BELGES			Marchez jusqu'à la station de métro VIEUX PORT			Prenez la ligne RTM : M1 LA RESE - LA TIMONE En direction de : TIMONE		Dép. 16:51 Arr. 16:52	De : VIEUX PORT A : TIMONE	Plan		Marchez jusqu'à l'arrêt : METRO LA TIMONE de la ligne 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE			Prenez la ligne RTM : 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE En direction de : GARE D'AUBAGNE		Dép. 17:04 Arr. 18:04	De : METRO LA TIMONE A : AUBAGNE	Plan		Marchez le long de la rue : AVENUE LOULOU DELFIEU			Prenez la rue : RUE DE LA REPUBLIQUE			Prenez la rue : BOULEVARD JEAN JAURES			Vous arrivez à AUBAGNE au site Hôtel de Ville		Arr. 18:04	Arrivée au site Hôtel de Ville (AUBAGNE) Plus d'infos sur ce site...	Plan				Marche	METRO	BUS
Départ : 16:47	Arrivée : 18:04																																																			
Durée totale du trajet : 1h17	Accès et attente au premier arrêt : 4 min																																																			
Nombre de changements : 1	Durée du trajet à partir du premier arrêt : 69 min																																																			
Dép. 16:47	Départ de l'adresse 20 LA CANEBIERE (MARSEILLE)	Plan																																																		
	Prenez la rue : QUAI DES BELGES																																																			
	Marchez jusqu'à la station de métro VIEUX PORT																																																			
	Prenez la ligne RTM : M1 LA RESE - LA TIMONE En direction de : TIMONE																																																			
Dép. 16:51 Arr. 16:52	De : VIEUX PORT A : TIMONE	Plan																																																		
	Marchez jusqu'à l'arrêt : METRO LA TIMONE de la ligne 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE																																																			
	Prenez la ligne RTM : 49 METRO LA TIMONE-AUBAGNE En direction de : GARE D'AUBAGNE																																																			
Dép. 17:04 Arr. 18:04	De : METRO LA TIMONE A : AUBAGNE	Plan																																																		
	Marchez le long de la rue : AVENUE LOULOU DELFIEU																																																			
	Prenez la rue : RUE DE LA REPUBLIQUE																																																			
	Prenez la rue : BOULEVARD JEAN JAURES																																																			
	Vous arrivez à AUBAGNE au site Hôtel de Ville																																																			
Arr. 18:04	Arrivée au site Hôtel de Ville (AUBAGNE) Plus d'infos sur ce site...	Plan																																																		
																																																				
Marche	METRO	BUS																																																		
TransportDirect : information multimodale en Grande-Bretagne																																																				
Zone couverte	Grande-Bretagne (Angleterre – Écosse – Pays de Galles).																																																			
Statut	<p>TransportDirect est un volet du plan « Transport 2010 » lancé en 2000. Le site Internet a été mis en ligne en 2003.</p> <p>Le budget d'investissement du projet était d'environ 75 millions d'euros sur trois ans.</p>																																																			
Modes de transport	Voiture, métro, bus, cars, train, avion, bateau, vélo, marche à pied (à terme).																																																			
Contexte	Le retrait du contrôle de l'État anglais dans la définition des lignes, des horaires et des tarifs (la « dérégulation » par le « Transport Act » de 1985), et la privatisation des compagnies publiques de transports ont complexifié la diffusion de l'information aux voyageurs. La mise en place d'un service d'information sur les transports collectifs sur tout le territoire s'est alors avérée nécessaire.																																																			
Services offerts	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Calculateur d'itinéraires multimodaux basé sur des données statiques (horaires...) ou en temps réel pour certains tronçons routiers. L'utilisateur peut également chercher son itinéraire en fonction de son choix modal (train, voiture, voiture + bus...), ou en imposant des étapes. ➤ Localisateur de lieux. ➤ Événements en temps réel ayant une incidence sur le trajet recherché. ➤ Achat de billets en ligne (avec l'ensemble des réductions possibles). 																																																			
Description du calculateur d'itinéraires	Une recherche préalable sur les lieux de départ et d'arrivée est effectuée pour connaître l'ensemble des points d'arrêts des transports en commun.																																																			
Moyens de diffusion	<p>Site Internet : http://www.transportdirect.info</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le service est également disponible par téléphone portable et PDA. 																																																			
Utilisateurs	Depuis le lancement du site : 10 millions d'utilisateurs (fin 2006) dont 1 million la première année. Chaque semaine : 80 000 utilisateurs environ.																																																			

<p>Retours/ Évaluation</p>	<p>Un sondage en ligne a donné les résultats suivants (470 réponses) : 10 % des utilisateurs ont changé de mode de transport en commun, 6 % des utilisateurs sont passés de la voiture aux transports en commun, 2 % sont passés du transport en commun à la voiture, 17 % ont changé d'itinéraire, 20 % ont changé leur heure de départ.</p>																																			
<p>Illustration</p>	 <p>Summary of journey options</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>Transport</th> <th>Changes</th> <th>Leave</th> <th>Arrive</th> <th>Duration</th> <th>Select</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Bus, Train, Underground, Walk</td> <td>2</td> <td>09:45</td> <td>17:28</td> <td>7hours, 43 mins</td> <td><input checked="" type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Train, Underground, Walk</td> <td>3</td> <td>10:11</td> <td>18:33</td> <td>8hours, 22 mins</td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Train, Underground, Walk</td> <td>3</td> <td>11:11</td> <td>19:40</td> <td>8hours, 29 mins</td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Car</td> <td>0</td> <td>09:45</td> <td>19:54</td> <td>10hours, 09 mins / 536.3miles</td> <td><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>	Option	Transport	Changes	Leave	Arrive	Duration	Select	1	Bus, Train, Underground, Walk	2	09:45	17:28	7hours, 43 mins	<input checked="" type="radio"/>	2	Train, Underground, Walk	3	10:11	18:33	8hours, 22 mins	<input type="radio"/>	3	Train, Underground, Walk	3	11:11	19:40	8hours, 29 mins	<input type="radio"/>	4	Car	0	09:45	19:54	10hours, 09 mins / 536.3miles	<input type="radio"/>
Option	Transport	Changes	Leave	Arrive	Duration	Select																														
1	Bus, Train, Underground, Walk	2	09:45	17:28	7hours, 43 mins	<input checked="" type="radio"/>																														
2	Train, Underground, Walk	3	10:11	18:33	8hours, 22 mins	<input type="radio"/>																														
3	Train, Underground, Walk	3	11:11	19:40	8hours, 29 mins	<input type="radio"/>																														
4	Car	0	09:45	19:54	10hours, 09 mins / 536.3miles	<input type="radio"/>																														

« Destineo.fr » : l'information sur les déplacements en transports en commun sur la Région Pays de la Loire

Dans le cadre du projet européen Itiss, la Région des Pays de la Loire a mis en ligne un calculateur d'itinéraires multimodaux sur le site : <http://www.destineo.fr>.

Ce calculateur prend en compte l'ensemble des transports en commun des collectivités partenaires, y compris l'avion au départ de l'aéroport de Nantes-Atlantique. À terme, il devrait prendre en compte les modes voiture et vélo.

Le coût du projet est estimé à 1,5 million d'euros, répartis sur quatre ans (2006-2009).

« Toulouse 2 » : le projet d'information multimodale sur l'agglomération toulousaine

Lancé en 1993 sur le périmètre de l'agglomération toulousaine, le projet de système de gestion globale des déplacements (SGGD) a permis de réunir l'ensemble des gestionnaires, exploitants et forces de l'ordre au sein d'un même bâtiment.

Aujourd'hui, le projet Toulouse 2 vise à mettre en place deux grands chantiers qui sont :

- l'estimation du temps de parcours et le calcul d'itinéraires multimodaux ;
- la mise en place d'une information d'alerte (événements...) multi-réseaux.

Il s'agit d'un projet de mise en cohérence des sites Internet Toulouse déplacements et Tisséo-SMTC avec intégration de la plate-forme Claire-Siti pour agrégation des données, estimation de temps de parcours multimodaux.

« VMZBerlin » : information multimodale sur Berlin

Sur le site d'information multimodale de la ville-Land de Berlin, <http://www.vmzberlin.de>, le calculateur d'itinéraires permet à l'utilisateur de choisir son mode (ou sa combinaison de modes) de transport. Ainsi, il coche

l'option « bike-and-ride » s'il souhaite effectuer son déplacement en utilisant d'abord son vélo et ensuite les transports en commun.

Le calculateur d'itinéraires retourne ensuite les trajets correspondant au mieux aux choix de l'utilisateur, en tenant compte de paramètres comme la distance de marche maximale souhaitée, le nombre maximal de changements souhaité...

9292 : la centrale d'information des transports en commun aux Pays-Bas

Lancée en 1992, la centrale d'information téléphonique sur les transports en commun aux Pays-Bas s'est rapidement imposée comme un fournisseur incontournable d'information multimodale, recensant jusqu'à 13 millions d'appels en 1998 (soit avant lancement du site Internet).

Cette société privée offre désormais ses services sur plusieurs médias : site Internet, centrale téléphonique, SMS, PDA... L'information fournie est payante, sauf sur Internet, ce qui permet à la société de s'autofinancer.

En 2002, 13 millions de requêtes ont été effectuées par Internet, et 4 à 5 millions par téléphone. D'après un sondage, 98 % des usagers obtiennent l'information recherchée. Cependant, la mise en service d'une telle structure n'a pu voir le jour que par l'obligation faite par l'état néerlandais aux gestionnaires et exploitants de réseaux de transport en commun de fournir les données théoriques (horaires, itinéraires...).

« Plate-forme Claire-Siti » : système de supervision de réseaux multimodaux

Développée par l'Inrets/Gretia, cette plate-forme vise à gérer conjointement des modes différents comme la VP et les TC et à définir des fonctions de gestion à valeur ajoutée par la considération de données provenant de sources multiples.

Le système de supervision de Claire-Siti repose sur une fusion/intégration de données (de type mesure ou événement) en provenance des différents modes de transport. En cas de perturbation, un diagnostic multicritère basé sur la définition d'indicateurs est établi, permettant au système de proposer des réponses en fonction de ces perturbations. Un modèle informationnel permet ensuite de cibler la diffusion auprès des usagers susceptibles d'être concernés par la perturbation. Le système leur délivrera en sortie une information formalisée et structurée.

Claire-Siti a ainsi été utilisé pour permettre le remplissage du formulaire relatif au type d'informations à diffuser sur le réseau routier toulousain. Des services ont également été développés autour de la plate-forme, comme l'information individuelle sur PDA sur les conditions de trafic, les événements sur un réseau et les itinéraires pondérés en temps réel.

Le système Claire-Siti est opérationnel sous diverses formes sur plusieurs sites (Toulouse, Bruxelles, Paris), mais a vocation à être mis en œuvre en d'autres lieux dans le but de créer de nouveaux partenariats et de poursuivre les recherches sur les modes de supervision des réseaux multimodaux.

2.7 Obstacles à l'information multimodale

Les obstacles à l'information multimodale se situent au niveau de la coopération entre les différents gestionnaires et exploitants de réseaux. Cette coopération peut être freinée aux niveaux : politique, institutionnel et technique.

2.7.1 Freins politiques et institutionnels

Une première étape consiste à réunir autour d'un objectif commun l'ensemble des acteurs concernés, et ce en dépassant les enjeux politiques et institutionnels locaux.

Cette réunion permettra alors la définition de ce que chacun doit apporter à l'entreprise pour qu'elle puisse fonctionner. Cependant, devant les enjeux financiers ou en raison des droits de propriété des données, la définition de la contribution de chacun n'amène pas nécessairement le consensus indispensable à la mise en route du projet.

Ces freins politiques et institutionnels sont renforcés par la passation d'appels d'offres pour la délégation de services publics pour l'exploitation de réseaux : la concurrence entre sociétés privées peut engendrer une réticence de la part de celles-ci à fournir des données qu'elles détiennent et qu'elles souhaitent garder privées.

2.7.2 Freins techniques

Les systèmes informatiques quand ils existent et les bases de données de deux opérateurs différents ont rarement été développés en même temps ni par la même société : la communication entre ces systèmes est alors difficile voire impossible.

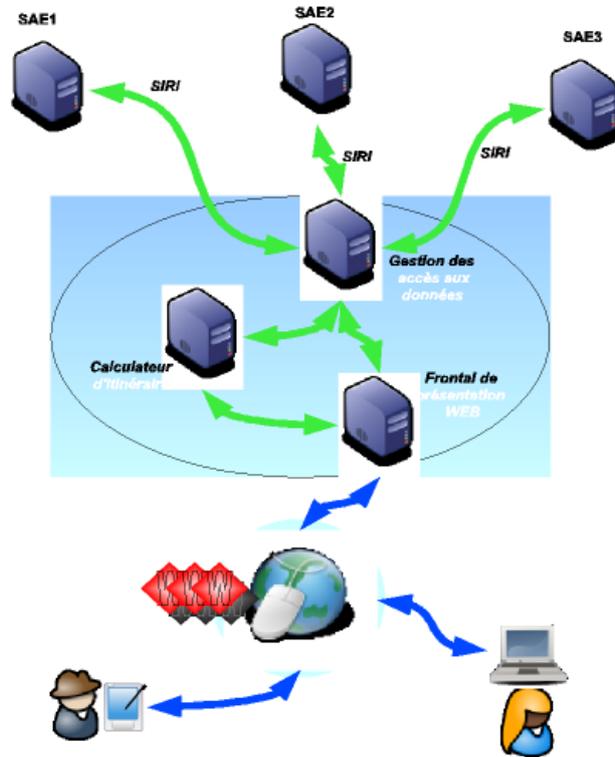
L'enjeu de la normalisation des bases de données et des interfaces d'échange est d'offrir la possibilité aux différents fournisseurs de services de faire tomber cette barrière technique en adoptant un même standard pour la formulation de leurs données.

La question de l'information voyageurs est traitée au sein du bureau de normalisation Afnor/BNEVT/CN03/GT7 qui travaille sur l'information des voyageurs et la recherche d'itinéraires multimodaux en examinant trois thématiques principales :

- les échanges de données en temps réel : norme CEN SIRI – TS 15531 1/2/3 ;
- la modélisation et la description détaillée des points d'arrêt et des pôles d'échanges : IFOPT – Work Item du CEN/TC278/WG3/SG6 ;
- la description statique d'un réseau et les horaires théoriques : depuis 2003, les résultats du projet européen Trident (TRansport Intermodality Data sharing and Exchange NeTwork) définissent les mécanismes standard d'échanges de données multimodales théoriques (bus, tram, métro, fer et route) entre opérateurs de transports et fournisseurs de services.

Afin de favoriser l'utilisation des standards décrits par Trident (cf. [42]), un outil open-source baptisé Chouette a été développé. Il permet de tester Trident sur des données réelles, de transformer des fiches horaires au format Trident, de gérer des centrales d'information pour de petites autorités organisatrices, ou de s'appropriier le logiciel dans le cas de réseaux plus importants.

De plus amples informations sur Chouette et Trident sont disponibles sur le site Internet de la Predim : <http://www.predim.org>



© Dryade - M. Christophe Duquesne - www.dryade.net

Figure 33 : Siri – Exemple de cas d'utilisation - Alimenter une centrale de mobilité (calcul d'itinéraires, information horaire temps-réel, « Travel Angel »)

3. Différentes étapes d'un projet d'information temps de parcours

Ce chapitre présente les principales étapes du projet depuis les premières phases d'études jusqu'à la mise en œuvre et la maintenance du système. Il n'est pas spécifique au temps de parcours, mais adapté à n'importe quel système d'information.

Les éléments indiqués dans ce chapitre n'ont pas de caractère obligatoire. Il s'agit d'une démarche type donnée à titre indicatif, et dont l'exploitant pourra s'inspirer.

La principale particularité d'un projet temps de parcours reste avant tout la démarche partenariale dans laquelle il s'inscrit, en particulier lorsqu'on souhaite intégrer des informations issues de différents modes de transport.

En effet, si la multimodalité sous-entend plusieurs modes de transport, elle suggère également un nombre quasiment aussi important de gestionnaires et d'exploitants de réseaux qui ont chacun des objectifs et des rapports à leurs usagers différents.

3.1 Initialisation du projet

Cette première phase sera d'autant plus longue et nécessaire que le nombre d'acteurs sera important. Elle devra avant tout permettre de fédérer l'ensemble des acteurs autour d'un objectif à atteindre.

Pour formaliser ce dernier, plusieurs questions méritent d'être posées :

- sur quels déplacements souhaite-t-on mettre en place une information ?
- quels modes doit-on prendre en compte ?

Même si elles sont qualifiées de floues ou d'ambitieuses dans un premier temps, les réponses à ces questions permettent de donner des limites au projet.

Ces limites peuvent être :

- une zone géographique : selon le type de déplacement sur lequel l'information doit porter, la zone géographique peut être plus ou moins étendue. Ainsi, si l'on souhaite mettre en place une information sur les migrations pendulaires, une zone géographique de type agglomération ou aire urbaine sera davantage appropriée qu'une zone correspondant à une région ;
- un ensemble de modes couverts : il convient de lister dans un premier temps l'ensemble des modes couverts pour définir les gestionnaires et exploitants concernés par le projet¹¹. Cependant, le listing effectué pourra être amendé tout au long de la vie du projet pour laisser la possibilité à des gestionnaires « oubliés » de s'intégrer, voire à d'autres gestionnaires assez peu armés devant la complexité des moyens à mettre en œuvre de se retirer du projet. Par exemple, dans le cas d'une agglomération, peuvent être inclus les transports en commun (métro, tramway, bus...), le train, la voiture, le vélo, le taxi, la voiture partagée...

Ce dernier critère vient également compléter le premier. En effet, l'information délivrée par un gestionnaire le sera en cohérence avec son réseau. Or, celui-ci n'est

¹¹ Pour certains modes individuels (marche à pied, vélo individuel), il n'y a ni gestionnaire ni exploitant de réseau. Il ne faut cependant pas « oublier » ces modes.

pas nécessairement en adéquation avec la zone géographique considérée initialement. Cette zone pourra donc être élargie (ou, plus rarement, rétrécie) suivant les possibilités offertes par le gestionnaire ou l'exploitant.

Cette phase d'initialisation du projet doit déboucher sur la constitution de comités de suivi de projet : un premier à un niveau technique, un deuxième à un niveau stratégique. Ces comités auront par la suite la charge de préciser les réponses à apporter aux questions qui se poseront, chacun dans son domaine.

Le processus lié à cette démarche d'initialisation montre qu'elle est avant tout la résultante de la volonté d'un gestionnaire ou d'un institutionnel. Ce personnage aura un rôle d'autant plus moteur dans le projet qu'il sera à même de fédérer à partir de son poids politique ou de sa couverture géographique. Il devra alors réunir les futurs partenaires du projet autour d'un objectif défini collégialement.

3.2 Vie du projet¹²

L'objectif premier étant défini, cette seconde phase aura pour but de préciser les contours et le contenu du projet.

Elle comprend plusieurs étapes :

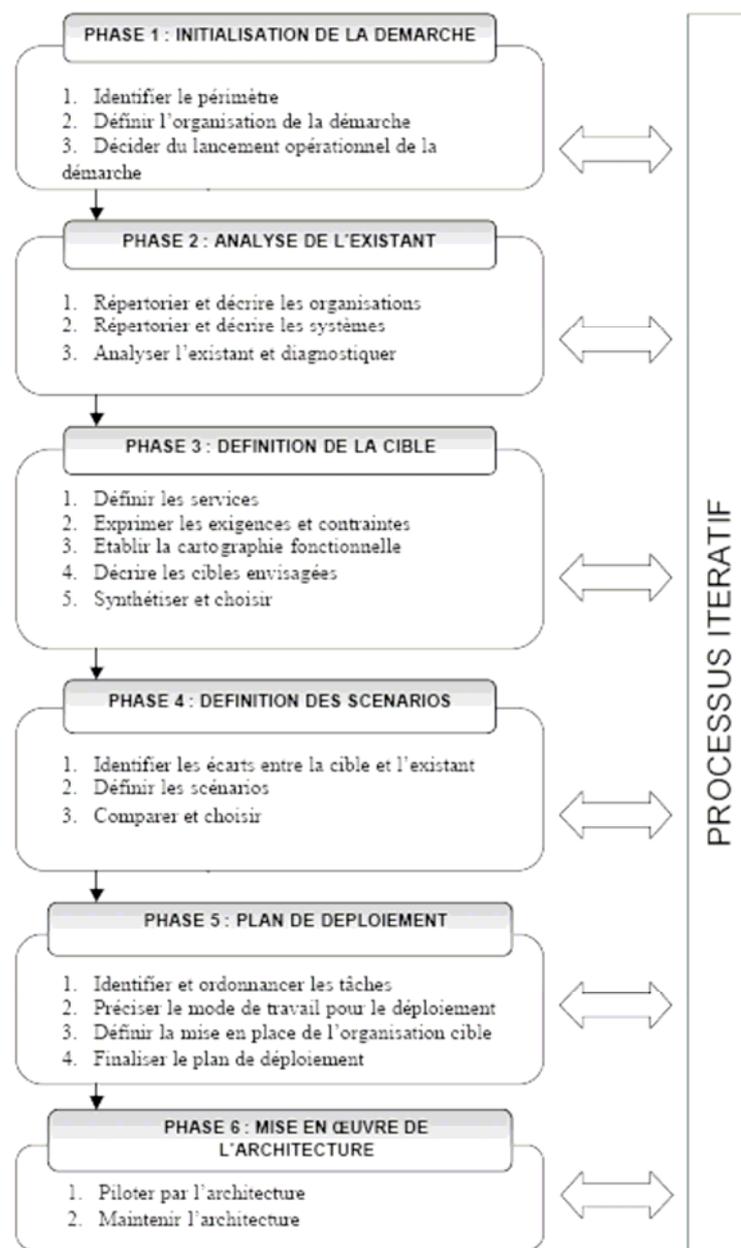
- une étude d'opportunité permettant de définir dans les grandes lignes le contenu du projet. Dans cette étude seront inclus le rappel de l'objectif poursuivi, un diagnostic des réseaux et des nœuds de multimodalité éventuels, les politiques d'aménagement et d'évolution des réseaux, et les variantes possibles en fonction des moyens de recueil et des aspects stratégiques définis par chacun des acteurs ;
- une étude sommaire, permettant de définir pour chacun les moyens à mettre en œuvre, tant financièrement que techniquement, afin d'atteindre pleinement l'objectif défini suite à l'étude d'opportunité ;
- une étude-projet, permettant d'élaborer sur le cahier des charges nécessaire à la phase de consultation des entreprises.

Chaque étape devra être validée par l'ensemble des acteurs, aussi bien aux niveaux technique que stratégique. Cette validation est importante dans la mesure où chaque acteur doit contribuer à la mise en place du système en mettant à disposition des informations dont il est propriétaire (cf. 2.7).

Pour définir précisément les rôles de chacun et les données à fournir par chacun et ainsi permettre une vision claire du projet, une démarche de type Actif¹³ pourra être engagée. Cette démarche a en effet été conçue spécifiquement pour améliorer les relations entre acteurs dans un projet partenarial. Pour plus d'informations, on pourra se référer au site Internet <http://www.its-actif.org/>

¹² Un guide technique Certu (à paraître) détaille ce chapitre sur les projets d'information multimodale.

¹³ Actif : aide à la conception de systèmes de transport interopérables en France.



Pendant cette phase, le choix d'une aide à la maîtrise d'ouvrage peut s'avérer judicieux pour éviter une appropriation du projet par un seul des acteurs et donc éviter une démotivation des acteurs les moins impliqués.

Figure 34 : présentation de la méthode développée dans Actif (source Actif)

3.3 Déploiement et mise en service

Cette phase fait suite au choix des entreprises devant développer le système d'information. Elle doit permettre de s'assurer du bon état de fonctionnement du système et ne doit en aucun cas être négligée.

Le déploiement comporte trois phases dont les délais doivent être pris en compte lors de la création du planning :

- la/les recettes : il peut exister une recette usine et une recette sur site. La qualité du cahier de recette et le respect de celui-ci sont des conditions de la réussite de l'opération ;
- la vérification d'aptitude au bon fonctionnement (VABF) : la VABF a pour but de constater que les matériels et/ou logiciels livrés, les installations sur sites, les documentations afférentes, présentent les caractéristiques fonctionnelles et techniques les rendant aptes à remplir les fonctions précisées dans les spécifications. La durée de la VABF est généralement comprise entre 2 et 4 semaines ;
- la vérification de service régulier (VSR) : la VSR a pour but de constater que les matériels et/ou logiciels livrés, les installations sur sites, les documentations afférentes, sont capables d'assurer un service régulier dans les conditions normales d'exploitation. La VSR est prononcée après une période d'essai généralement comprise entre un et deux mois.

Une fois la phase de déploiement terminée, la mise en service pourra être effectuée. La communication autour de cet événement sera adaptée à l'événement, à savoir efficace et ciblée en fonction de l'objectif poursuivi.

En ce qui concerne la maintenance du système, qui constitue l'assurance du service à l'utilisateur au jour le jour, elle devra avoir été pensée le plus en amont possible de la mise en service pour être efficace.

3.4 Évaluation

Aucun système n'étant parfait lors de sa mise en service, l'évaluation revêt un caractère important. Se déroulant quelques mois après la mise en service, cette phase doit permettre au système d'évoluer dans le sens des attentes formulées par les usagers.

L'évaluation peut prendre diverses formes, mais devra permettre à un maximum d'utilisateurs de s'exprimer simplement. On recherchera en particulier l'aide du public pour la fiabilisation du système.

Le résultat de l'évaluation devra être communiqué aux comités de suivi du projet afin que les acteurs se mettent d'accord sur les évolutions à apporter au système.

Le chapitre suivant aborde de manière plus détaillée cet aspect du projet.

4. Évaluation des systèmes d'estimation des temps de parcours¹⁴

L'évaluation¹⁵ des systèmes de mesure ou d'estimation des temps de parcours se limite bien souvent à l'évaluation des performances de la mesure ou de l'estimation. Encore ces performances sont-elles souvent définies de façon vague et sujettes à diverses interprétations.

L'évaluation des performances, qui est une question complexe, recouvre en fait trois questions différentes :

- celle de la référence : par rapport à quoi la précision de l'estimation est-elle vérifiée ?
- celle de la formulation des exigences de précision une fois la référence définie ;
- celle de la robustesse aux aléas, c'est-à-dire la proportion de situations où les exigences de performances pourront être satisfaites.

Sur la question de la référence, la difficulté vient du fait que « le » temps de parcours d'un itinéraire n'existe pas. Il n'existe physiquement que des temps de parcours mesurés sur cet itinéraire, au cours d'une période plus ou moins longue, représentant un échantillon plus ou moins complet de la totalité des trajets effectués sur cet itinéraire. La notion de temps de parcours moyen elle-même n'a de sens que si la distribution des temps mesurés présente une forme suffisamment régulière : pour une distribution quasi uniforme ou simplement trop aplatie, ou pire encore pour une distribution bimodale, la moyenne n'a guère de sens.

La définition d'une référence ne peut ainsi s'opérer que de façon statistique sous la forme d'une distribution, ce qui implique une quantité d'observations suffisante pour décrire cette distribution.

L'exigence de précision ne peut être fixée, abstraction faite de la variabilité des temps de parcours de référence, bien que l'estimation donne une valeur raisonnable du temps de parcours moyen lorsque celui-ci est accessible.

Le dernier point concerne la robustesse des algorithmes par rapport aux aléas. S'agissant d'estimation des temps de parcours, pour laquelle les algorithmes sont toujours d'une grande rusticité, ce point est particulièrement critique.

Ceci met bien en évidence qu'une certaine continuité du service ne s'obtient qu'au prix d'une forme de relaxation des exigences de précision.

¹⁴ Ce paragraphe s'est largement inspiré du rapport de synthèse d'une action réalisée dans le cadre du Predit par le Licit sur l'estimation des temps de parcours (El Faouzi et Lesort, 2001).

¹⁵ Pour préciser le sens de ce vocable, notons que deux processus concourent principalement à la vérification de la validité du système. Il s'agit de *validation* et d'*évaluation*. Ces deux processus sont souvent confondus car ils ne correspondent pas à des phases très différenciées dans la pratique. La validation désigne le processus qui permet de vérifier que le système mis en œuvre atteint les performances prévues, processus souvent basé sur les résultats d'évaluation. Autrement dit, cette étape permet de s'assurer que la méthode ou le système mis au point répond effectivement aux objectifs assignés. L'évaluation, quant à elle, se réfère au processus de détermination ou de qualification des performances en comparaison avec une situation de référence et incluant habituellement un processus expérimental. Ce sont là, les définitions retenues dans le cadre du programme Converge du 5^e PCRD consacré aux méthodologies d'évaluation des projets télématiques dans le domaine des transports.

Il apparaît en fait clairement que la notion d'évaluation est indissociable d'une notion d'exigence, comme la notion de recette est indissociable de celle de cahier des charges. C'est ainsi que l'évaluation d'un système ne peut se faire qu'en référence à un certain nombre d'exigences, dont l'évaluation a précisément pour objectif de mesurer le degré de satisfaction. La précision d'une estimation dans des conditions données constitue bien entendu l'une des exigences fondamentales d'un système de mesure, mais cette exigence formulée isolément de son contexte (en quels points du réseau ? dans quelles conditions de trafic ? avec quelle disponibilité du système ?, etc.) est en fait relativement dépourvue de sens. Il est clair a contrario que chaque formulation d'une exigence doit s'accompagner d'une méthodologie d'évaluation de la conformité du système à cette exigence, sous peine de rendre celle-ci inopérante.

Il est enfin évident que les possibilités d'évaluation sont différentes selon qu'on s'intéresse à un prototype, grâce auquel on cherche essentiellement à valider un principe ou une technique de mesure ou d'estimation, à une installation pilote de dimension réduite ou à un système opérationnel.

Ce paragraphe présente donc dans un premier temps, un ensemble d'exigences qu'il est possible de formuler à l'égard d'un système de mesure ou d'estimation des temps de parcours. Dans un second temps, il donne quelques pistes de méthodologie pour évaluer la conformité d'un système à ces exigences.

4.1 Exigences attachées à la mesure ou à l'estimation des temps de parcours

La formulation précise des exigences du maître d'ouvrage pour la définition d'un système de mesure ou d'estimation des temps de parcours est essentielle à plusieurs titres :

- tout d'abord, c'est la base du cahier des charges du système, qui permettra sa conception et surtout sa recette. Il est important à cet égard de noter que derrière chaque exigence on doit trouver une procédure de vérification de conformité, sans laquelle l'exigence resterait un simple vœu ;
- ensuite, c'est l'occasion de prendre explicitement les décisions nécessaires de compromis entre des exigences qui pourraient s'avérer contradictoires ;
- enfin, ce peut être la base de la négociation préliminaire à une forme quelconque de contractualisation dans la fourniture de données par le maître d'ouvrage à un opérateur de services ou une agence de presse. Les exigences du maître d'ouvrage sont alors celles qui lui permettront de répondre aux exigences de l'opérateur en qualifiant les données qu'il lui fournit.

Il est ainsi possible de définir un ensemble de classes d'exigences, parmi lesquelles on pourra sélectionner un ensemble cohérent qui caractérisera un système de mesure ou d'estimation.

4.1.1 Couverture spatiale

La couverture spatiale du système de mesure des temps de parcours peut s'envisager de plusieurs manières :

- elle peut se limiter à certains points critiques du réseau tels que grands échangeurs ou carrefours particulièrement chargés ;

- elle peut concerner un certain nombre de niveaux du réseau dans la mesure où celui-ci est bien hiérarchisé. Le choix du réseau concerné est alors à son tour susceptible de conforter cette hiérarchisation ;
- par ailleurs, il faut bien distinguer la couverture spatiale du réseau de mesure de l'organisation spatiale d'un système d'information des usagers. On peut par exemple imaginer que, pour les besoins propres du maître d'ouvrage, l'ensemble du réseau dont il est responsable soit couvert, mais qu'une information diffusée soit limitée aux seuls niveaux supérieurs du réseau.

L'exigence de couverture peut enfin ne pas être uniforme, une couverture plus légère pouvant s'avérer suffisante sur certaines zones ou certains axes. Il est alors clair qu'une cohérence entre couverture spatiale et exigences de performances se doit d'être assurée, un tronçon considéré comme couvert étant celui où les autres exigences seront respectées.

4.1.2 Finesse spatiale

La définition d'un temps de parcours peut se concevoir à diverses échelles, allant du tronçon élémentaire (entre deux carrefours) à de grands itinéraires traversant l'ensemble du réseau considéré. Quelle que soit l'échelle considérée, il est essentiel de réfléchir aux possibilités de combinaisons (exigence d'additivité) des mesures élémentaires pour constituer des indicateurs plus globaux. Ceci constitue une exigence très forte, dans la mesure où les grands nœuds du réseau sont précisément les lieux où les temps de parcours sont les plus difficiles à mesurer ou à estimer. De même, les questions de raccordement entre réseaux de natures différentes (les bretelles d'accès aux voies rapides par exemple) sont particulièrement délicates à traiter.

Concernant la finesse spatiale elle-même, il est souvent difficile de se passer d'une connaissance au niveau du chaînon élémentaire. Ceci peut amener, en fonction des techniques de mesure ou d'estimation retenues, à moduler les exigences de précision en fonction de l'échelle géographique. On sait par exemple que l'estimation du temps de parcours à partir des données de boucles de détection n'est utilisable que sur des itinéraires comportant un nombre suffisant de tronçons, l'incertitude attachée à la mesure sur chaque tronçon étant trop grande mais les erreurs se compensant par agrégation spatiale. On peut ainsi imaginer de formuler des exigences de connaissance des valeurs élémentaires sur chaque tronçon (ceci afin de permettre des agrégations quelconques), mais de ne formuler d'exigences de précision que sur des ensembles plus vastes (par exemple sur toute agrégation de cinq tronçons ou plus).

4.1.3 Précision

Cette exigence est difficile à formuler, car elle implique à la fois la nécessité d'une référence de comparaison (précision par rapport à quoi ?) et d'une procédure de mesure de la précision, l'exigence n'ayant de sens que si son respect peut être vérifié.

Compte tenu de ce qui a été dit plus haut sur la significativité d'un temps de parcours moyen, il est nécessaire de classer les arcs du réseau en trois classes :

- ceux où toute estimation de temps de parcours semble vouée à l'échec qui feront l'objet d'un traitement particulier et ne seront pas concernés par l'estimation des temps de parcours. Ce sont les arcs dotés de nombreux carrefours sans feux présentant des mouvements tournants importants, ou

qui traversent des zones soumises à des perturbations importantes (stationnement sauvage...);

- des arcs douteux, où l'estimation semble possible mais pas un engagement en termes de performances ;
- les arcs normalement utilisables, où les critères de performance devront être respectés.

La classification des arcs dans l'une des deux premières classes doit être justifiée par la présence d'éléments perturbateurs en nombre et en importance suffisants.

Pour permettre l'évaluation des performances, un certain nombre (typiquement trois à cinq) de classes de trafic homogène doivent être déterminées pour chaque arc ou globalement par portion de réseau. Ces classes sont caractérisées soit par leur créneau horaire, soit par des caractéristiques de trafic (débits, fourchette de longueurs de files d'attente ou de taux d'occupation sur les capteurs). Le découpage en classes doit permettre de trouver, à l'intérieur de chacune, une distribution des temps de parcours relativement concentrée autour de la moyenne. La validation des performances de l'estimation s'opérera séparément sur chaque classe.

On peut ensuite formuler l'exigence de précision de la façon suivante (les chiffres sont indicatifs et peuvent être quelconques) : sur chaque itinéraire et au sein de chaque classe de trafic, pendant 90 % du temps, 90 % des TP mesurés doivent être dans une fourchette de deux écarts types autour du TP moyen réel mesuré. Ce qui signifie qu'en excluant au maximum 10 % de temps d'indisponibilité ou de fonctionnement incorrect du système, puis 10 % de valeurs estimées de TP qui peuvent être aberrantes, chacune des valeurs restantes doit se situer dans la fourchette.

Au cas où il ne serait pas possible de formuler de façon aussi rigoureuse des exigences quantitatives de précision, on sera amené à formuler des exigences qualitatives, renvoyant davantage à une notion de fidélité.

Plusieurs remarques sont à faire sur cette formulation d'exigences :

- elle est à la fois plus précise et plus claire que la formulation classique « mesurer les temps de parcours à 20 % près » ;
- elle a le mérite de proportionner l'exigence à la difficulté ainsi qu'à la perception de l'utilisateur puisque plus les temps de parcours seront dispersés, plus l'écart type sera grand et l'exigence de précision faible ;
- le fait de demander que l'exigence de performance soit tenue 90 % du temps constitue une exigence de disponibilité du système plus pointue que celle d'une tolérance à un certain pourcentage de stations de mesure en panne. Dans ce dernier cas en effet, selon la répartition des pannes, l'exigence peut être soit évidente soit impossible à tenir. La réponse à une exigence formulée en termes de disponibilité dans le temps se traduit en redondance du système mais aussi en engagement de maintenance.

4.1.4 Fidélité

La fidélité est une exigence fondamentale en matière de mesure. Elle exprime le fait que deux mesures identiques correspondent bien à deux situations identiques sur le terrain. Elle est distincte de l'exigence de précision qui caractérise l'identité de la mesure par rapport à une mesure de référence. En d'autres termes, au titre de cette exigence, les mesures de temps de parcours peuvent ne pas être correctes en

valeur absolue, mais doivent permettre la comparaison entre des situations ou le suivi des évolutions.

Il peut y avoir nécessité d'un compromis entre précision et fidélité, une moindre exigence de précision pouvant permettre de garantir la fidélité de la mesure : une information qualitative peut ainsi s'avérer plus fidèle qu'une information quantitative.

4.1.5 Couverture temporelle

Les caractéristiques temporelles de l'information renvoient à plusieurs aspects. Il s'agit tout d'abord de savoir si l'information doit être disponible tout au long de la journée, de la semaine, etc. S'agissant de systèmes de mesure automatisés, cette question est de peu d'intérêt, cette exigence étant peu contraignante.

Il s'agit ensuite de définir le fonctionnement du système dans les différentes configurations de trafic rencontrées dans le temps : heures creuses, pointes récurrentes, événements particuliers prévisibles, situations de crise, etc. Ceci peut amener à moduler les exigences de précision en fonction des situations. C'est ainsi que l'affichage des temps de parcours sur le boulevard périphérique est abandonné en situation trop fluide, car ils sont alors trop dispersés (et présentent au demeurant peu d'intérêt), ainsi qu'en situation trop congestionnée, où le temps de parcours estimé devient grand devant l'échelle de temps des variations du trafic (l'exemple extrême est éclairant : il serait absurde d'afficher un temps de parcours infini lorsque le trafic est bloqué, car c'est alors l'évolution des conditions de trafic qui conditionnera le redémarrage du trafic).

On peut ainsi aboutir non pas à une simple liste d'exigences, mais bien à un tableau à plusieurs entrées définissant des exigences différentes pour chaque situation de trafic, chaque type de voie, etc. (rien n'empêchant au demeurant une formulation simplifiée uniformisant ces exigences, à condition que toute simplification soit faite en connaissance de cause).

4.1.6 Fraîcheur

La fraîcheur définit le temps qui sépare la mesure physique faite sur le terrain de l'utilisation effective de l'information (affichage, utilisation par l'exploitant). Cette exigence est moins simple à formuler qu'il n'y paraît, car elle renvoie à différentes caractéristiques du système d'acquisition :

- s'agissant de systèmes automatisés, les temps d'acheminement et de traitement de l'information sont rarement très contraignants ;
- en revanche, le choix d'une période d'agrégation des mesures et d'une périodicité de mise à jour est délicat car il conditionne d'un côté la réactivité et la sensibilité du système, ce qui militerait pour des périodicités courtes, et de l'autre sa robustesse et sa résistance aux perturbations, ce qui tend à faire allonger la période d'agrégation. Le compromis souvent trouvé qui consiste à utiliser une agrégation glissante (on met à jour toutes les cinq minutes une information calculée sur les quinze dernières minutes) présente des inconvénients importants (manque de dynamique, masquage de certains phénomènes transitoires et persistance au contraire de certains autres...) ;
- lorsque l'information est constituée à partir de mesures d'origines diverses et asynchrones (par exemple des mesures faites au sol et des temps de trajets fournis par des véhicules traceurs), il n'est parfois même plus

possible de déterminer à quelle période précise se rapporte l'information calculée. L'exigence de fraîcheur est alors difficile à formuler.

L'exigence de fraîcheur ne se comprend enfin qu'en lien avec la durée de validité de l'information recueillie.

4.1.7 Disponibilité

L'exigence de disponibilité correspond essentiellement au comportement du système en situation dégradée du point de vue des équipements de mesure. Les équipements de mesure du trafic (les détecteurs à boucle en particulier) et les équipements de transmission sont en effet fragiles, et il importe de définir comment le système se doit de réagir à leurs pannes.

L'exigence de disponibilité peut se formuler de diverses manières :

- on pourrait imaginer une exigence de disponibilité totale sans dégradation des performances. Ceci conduirait à une forte redondance des équipements de mesure et de transmission. Il ne semble pas que cette vision des choses soit pertinente dans le contexte de l'estimation des temps de parcours ;
- il est en revanche plus réaliste de prévoir l'existence de modes dégradés bien identifiés permettant de garantir un fonctionnement minimal du système en cas de défaillance partielle. Ceci peut être fondé par exemple sur des valeurs par défaut (éventuellement définies par classes de situations de trafic), ou sur des modalités de reconstitution d'information manquante à partir de l'information résiduelle disponible. L'exigence de disponibilité se traduit alors là encore par une modulation des exigences de précision ou de fidélité en fonction de l'état matériel du système de mesure ;
- par ailleurs, on peut formuler des exigences de disponibilité du système de mesure lui-même, qui seront répercutées au niveau de l'organisation de la maintenance des équipements.

4.1.8 Évolutivité

L'exigence d'évolutivité traduit la capacité du système à s'adapter à l'évolution de son environnement. Celle-ci concerne plusieurs points :

- l'évolution du réseau : ouverture de voies nouvelles éventuellement, mais surtout restructuration du réseau, modification de la hiérarchie des voies, déclassement ou reclassement de certaines, modification de la géométrie des carrefours. Le système doit s'adapter à ce type d'évolutions par un simple reparamétrage (évidemment accompagné de l'adaptation du système de mesure in situ) ;
- l'évolution des techniques de mesure et de transmission doit être possible. Ceci implique une structuration suffisante du système en couches séparées, l'évolution des techniques de mesure ne devant affecter que les couches les plus basses du système ;
- l'évolution des plates-formes de fonctionnement : il s'agit des exigences qu'on attache classiquement à tout système mettant en jeu des moyens informatiques ;
- l'évolution des conditions de trafic doit non seulement être détectée mais également ne pas remettre en cause les performances du système. Ceci n'a rien de facile si l'on considère par exemple que la position optimale des points de mesure pour l'estimation des temps de parcours se situe aux

extrémités des files d'attente : une évolution de la longueur de file d'attente dans un sens ou dans l'autre peut ainsi rendre un poste de mesure totalement inopérant.

Il en va de même pour l'évolution du système de contrôle, qui peut déplacer ou supprimer des files d'attente, changer la nature de points critiques du réseau, et ainsi remettre en cause non seulement le paramétrage du système de mesure des temps de parcours, mais aussi la structure même du système de recueil de données.

4.1.9 Cohérence

Un usager lors de son déplacement est amené à traverser les zones de compétences de maîtres d'ouvrage multiples. Il est clair que cet aspect des choses lui est indifférent et que son déplacement constitue un tout. Tout au plus fait-il la distinction entre la part du déplacement effectuée sur voies rapides et celle effectuée sur le réseau de surface.

Ceci implique une recherche de cohérence dans les informations qui lui sont fournies tout au long de son déplacement. Ceci ne veut pas dire que les systèmes qui ont élaboré cette information soient identiques, ni même nécessairement qu'ils fournissent la même information. Le premier niveau d'exigence est la cohérence entre les informations fournies par les uns et par les autres. À un niveau d'exigence plus élevé, on peut rechercher la complémentarité de l'information, voire sa complétude, la totalité du réseau étant alors couverte sans discontinuité aux frontières des zones de compétences. Il est également nécessaire que les exigences de fidélité, de précision et de disponibilité soient définies elles aussi de façon cohérente.

4.1.10 Coûts

Les exigences de coût interviennent de façon constante pour limiter les autres exigences attachées au système et varient selon différents postes :

- coût d'investissement pour la réalisation et la mise en œuvre du système ;
- coût de maintenance et de fonctionnement ;
- coût d'évolution du système (en fonction des évolutions évoquées plus haut).

Certains coûts sont purement financiers (investissements), d'autres se traduisent uniquement en moyens humains (exploitation) et d'autres sont éventuellement transformables par le biais d'une réalisation directe ou d'une sous-traitance.

4.2 Indicateurs, critères et moyens d'évaluation

À chacune des exigences évoquées plus haut relatives aux systèmes de mesure du temps de parcours, il est possible d'associer un certain nombre d'indicateurs ou de critères permettant d'évaluer la conformité d'un système. On peut alors définir une méthodologie permettant de quantifier ces indicateurs (certains sont au demeurant de nature plutôt qualitative, mais on pourra alors tenter de définir des classes de conformité).

4.2.1 Couverture spatiale

La couverture spatiale ne peut évidemment se caractériser que sur un système opérationnel, voire sur une installation pilote, même si dans certains cas une expérimentation peut mettre en évidence certaines difficultés (difficulté de

couverture de certains types de voies, de carrefours...). Elle se caractérise, a contrario, par l'existence d'un certain nombre de « trous » ou de zones où les temps de parcours ne sont pas connus, ou ne répondent pas à d'autres exigences (précision, disponibilité). Ceci met bien en évidence, au passage, les interdépendances existant entre les différents types d'exigences.

Si l'on peut ainsi envisager une couverture spatiale a priori, en considérant comme non couvertes les zones où l'on renonce d'emblée à connaître les temps de parcours, un retour est nécessaire en fin d'évaluation pour vérifier l'effectivité de la disponibilité de cette information sur l'ensemble du réseau.

Il faut noter que la question de la couverture concerne les chaînons du réseau, mais elle intéresse surtout les nœuds, au travers desquels la continuité des itinéraires est difficile à assurer. Ceci est particulièrement vrai des échangeurs entre réseau de surface et voies rapides, mais aussi de tous les carrefours complexes (grands giratoires, carrefours avec une trémie centrale...).

La notion de couverture spatiale dépend enfin de la technique de mesure choisie. Relativement sans mystère lorsqu'on utilise des méthodes d'estimation à partir des données de trafic, elle est étroitement liée à la fréquentation du réseau quand la mesure est fondée sur des informations fournies par les véhicules. La couverture spatiale dépend alors non seulement de l'infrastructure en place (lecture de badges, balises...) si celle-ci est nécessaire, mais aussi de la présence effective de véhicules sur les éléments de réseau concernés, ce qui complique sensiblement l'évaluation (un chaînon affecté par un incident, sur lequel la circulation s'arrête provisoirement, peut ainsi disparaître de la zone couverte).

4.2.2 Finesse spatiale

Là encore, il est possible de distinguer une finesse spatiale a priori (quel est le plus petit élément sur lequel le temps de parcours soit mesurable ?) d'une finesse a posteriori (quel est le plus petit élément pour lequel les exigences, la disponibilité de précision, etc. soient satisfaites ?). Une expérimentation limitée peut donner des indications intéressantes sur ce point.

4.2.3 Couverture temporelle

La question de la couverture temporelle est assez voisine de celle de la couverture spatiale. Elle se distingue de la question de disponibilité car elle ne concerne pas la sensibilité du système à des pannes ou à des dysfonctionnements, mais plutôt la définition de périodes régulières où le système ne fonctionnerait pas ou ne remplirait pas les exigences liées à la qualité de l'information. C'est ainsi par exemple que certains types de systèmes peuvent ne pas fonctionner en période de trafic très peu dense (la question de savoir si ceci pose un problème ou non est d'une autre nature, et renvoie à la définition de l'exigence « couverture temporelle »).

4.2.4 Fraîcheur

L'exigence de fraîcheur, qui indique le délai maximum entre l'occurrence d'un événement (ou d'une nouvelle mesure) sur le terrain et sa traduction dans l'estimation, est une exigence intermédiaire : il est possible de l'ignorer, et de ne formuler qu'une exigence de précision de l'estimation par rapport aux conditions de trafic prévalant durant la période où l'estimation est utilisée. On peut aussi choisir de décomposer le processus, en estimant d'une part la précision de l'estimation par rapport aux conditions de trafic prévalant durant la période où les

mesures sont effectuées, et d'autre part le délai séparant cette période de celle où l'estimation est utilisée. Ce dernier inclut la période d'agrégation des mesures ainsi que tous les délais de calcul et de transmission de l'information, qui peuvent s'avérer importants sur des systèmes compliqués.

À noter que ni la définition ni l'évaluation de la fraîcheur ne sont évidentes lorsqu'on utilise des méthodes de lissage ou d'agrégation glissante. On peut alors se limiter à évaluer le temps séparant la dernière prise de mesure de la disponibilité de l'estimation, mais la signification de l'indicateur reste relative.

4.2.5 Disponibilité

La mesure de la disponibilité se fait à l'intérieur de la période de couverture temporelle. L'indicateur correspondant est la mesure des laps de temps durant lesquels les exigences de qualité d'estimation sont satisfaites :

- soit sur l'ensemble du réseau ;
- soit sur chacun de ses éléments.

À noter qu'une indisponibilité récurrente (par exemple dans certaines conditions de trafic) correspond davantage à une réduction de la couverture temporelle.

4.2.6 Cohérence

L'exigence de cohérence est une exigence multiforme, dont la formulation est difficile et l'évaluation encore plus.

Les indicateurs liés à la cohérence peuvent être définis en termes d'écart ou de dispersion :

- des performances sur les différentes parties du réseau ;
- des définitions utilisées ;
- des finesses spatiales.

4.2.7 Mise en œuvre

La phase de mise en œuvre s'articule autour de deux phases de la recette :

- une phase de recette usine où le système d'estimation des temps de parcours fonctionnera dans un environnement contrôlé. Il s'agira à ce stade de vérifier que les fonctionnalités demandées sont assurées, et que, sur des données de test, les algorithmes donnent les résultats attendus ;
- une phase de recette site qui permettra de vérifier que, dans un environnement réel d'exploitation, le système implémenté fonctionne de façon conforme.

La rédaction du cahier de recette se fera sur la base des spécifications du système tout en intégrant les autres spécifications du logiciel (interface utilisateur, interface de communication avec le système opérationnel).

Le cahier de recette arrêtera un certain nombre de scénarios à dérouler pendant les phases de recette. Chaque scénario devant pouvoir être déroulé et dépouillé en une fois par une personne en une journée au maximum, sera défini par :

- un état initial du système ;

- un jeu de données de test (données terrain réelles ou construites, paramètres des algorithmes) ;
- une série d'actions à réaliser ;
- un ensemble de données à enregistrer ;
- le cas échéant une référence de résultats à obtenir ;
- un ensemble de critères de validation du scénario.

Chaque scénario fera l'objet d'une fiche recette contenant les données évoquées ci-dessus, qui sera complétée au cours du déroulement du scénario par le résultat du test au regard des critères de validation, les réserves éventuelles (bloquantes ou non bloquantes) soulevées, les actions correctrices envisagées et l'acceptation du scénario par le maître d'ouvrage. En cas de non-acceptation, un processus formalisé de demande de modification sera utilisé.

Les jeux de données de test intégreront une variété de situations suffisante pour tester l'ensemble des fonctionnalités des algorithmes.

À noter que ceci nécessite que le logiciel opérationnel possède une fonction de « rejeu », permettant de faire tourner les algorithmes sur des jeux de données enregistrées. Cette fonction sera au demeurant intéressante pour d'autres types d'études.

La définition de la recette sur site demandera une bonne connaissance de l'environnement d'exploitation du logiciel. Cette recette inclura une reprise des scénarios utilisés en recette usine, pour vérifier la non-régression, ainsi que des scénarios spécifiques destinés à vérifier le bon fonctionnement du couplage du système avec son environnement de fonctionnement.

4.2.8 Évolutivité

Il s'agit d'évaluer quels sont les moyens à mettre en œuvre pour permettre au système d'évoluer au fur et à mesure des changements. Les indicateurs associés peuvent être qualitatifs ou quantifiés en termes de coûts. L'important est d'être capable de répondre à des séries de questions du type « quelles sont les actions nécessaires pour adapter le système à... ? ». La suite de la question peut viser :

- l'évolution des moyens de mesure (utilisation de capteurs vidéo au lieu de boucles, lecture de plaques minéralogiques au lieu de badges...) ;
- l'évolution du réseau (ajout d'un chaînon, modification d'un carrefour, création d'un giratoire, d'un couloir de bus...) ;
- l'évolution du trafic (apparition ou disparition de files d'attente...) ;
- la modification de la régulation du trafic ;
- le changement de plate-forme de calcul, de mode de transmission.

La réponse à ces questions devra combiner l'examen des spécifications détaillées du système, de ses nécessités de réglage, de paramétrage, etc. Une partie de ces questions est au demeurant commune à tous les systèmes de gestion du trafic.

4.2.9 Coût

L'évaluation du coût d'un système d'estimation des temps de parcours ne présente guère de caractère spécifique par rapport à un système quelconque. Les coûts les plus difficiles à évaluer sont certainement les coûts de mise en œuvre, d'évolution et de maintenance. Ce qui confirme l'intérêt d'une évaluation précise de ces différents points.

4.2.10 Précision

L'exigence de précision a été commentée relativement en détail dans le sous-paragraphe précédent. La principale difficulté, déjà évoquée, vient de la constitution de valeurs de référence auxquelles comparer l'estimation faite par le système évalué. Si l'indicateur (erreur quadratique moyenne par exemple, ou distribution des écarts) est sans grande difficulté, il est clair que la définition de cette référence doit être cohérente avec la définition utilisée pour le temps de parcours.

C'est ainsi, par exemple, que comparer le temps de parcours instantané estimé sur un itinéraire à l'instant t avec le temps de parcours réel d'un véhicule entrant dans cet itinéraire au même instant t , qui paraîtrait une méthode d'évaluation assez naturelle, revient en fait à combiner de façon inséparable l'évaluation :

- de la précision d'estimation des temps de parcours ;
- de la dispersion des temps de parcours réels ;
- de la stabilité des conditions de trafic au cours d'une période équivalente au temps de parcours lui-même.

La précision d'une méthode de mesure n'est véritablement mesurable que dans un cadre expérimental, compte tenu des moyens de mesure et d'enquête à mettre en œuvre.

4.2.11 Fidélité

La fidélité s'évalue simultanément à la précision, mais son évaluation peut nécessiter la mise en œuvre d'échantillons de mesure de plus grande taille. Là encore, l'existence d'une référence est nécessaire, dans les mêmes conditions que pour l'évaluation de la précision. En revanche, l'évaluation porte non pas sur les valeurs relatives de la référence et de l'estimation fournies par le système, mais sur le caractère bijectif de la relation référence \leftrightarrow estimation. On voit ainsi qu'un système peu précis peut être extrêmement fidèle. La non-conformité d'un système aux exigences de fidélité peut d'ailleurs conduire à réviser à la baisse les exigences de précision.

Ces différentes exigences avec leurs indicateurs associés sont fournies dans la figure 35.

Exigence	Indicateurs	Conditions d'évaluation	Méthode de mesure
Couverture spatiale	Trous dans le réseau renseigné	- système opérationnel - expérimentation	- a priori sur les spécifications du système - a posteriori par la vérification de conformité aux exigences de qualité d'information
Finesse spatiale	Éléments minimaux pour lesquels l'estimation est utilisable	- expérimentation	- a priori et a posteriori comme ci-dessus
Couverture temporelle	- périodes (journalières, hebdomadaires...) où l'estimation est disponible - prise en compte de conditions de trafic diverses	- système opérationnel	- a priori et a posteriori - périodes temporelles/ou conditions de trafic
Fraîcheur	- temps entre l'événement et sa traduction dans l'estimation	- système opérationnel - installation pilote	- calcul à partir des spécifications - mesure sur le système
Disponibilité	- % temps où les exigences de performance sont remplies	- toutes	- suivi des dysfonctionnements
Cohérence	- écarts ou dispersion de définition ou de performance	- système opérationnel + dispositif expérimental d'évaluation	- analyse des spécifications détaillées - échantillonnage

Exigence	Indicateurs	Conditions d'évaluation	Méthode de mesure
Mise en œuvre	- nombreux indicateurs	- installation pilote	- analyse des spécifications détaillées - points à vérifier lors d'une recette
Évolutivité	- coûts - moyens à mettre en œuvre - couches du système affectées	- système opérationnel	- analyse des spécifications - vérification dans le cadre d'une recette
Coûts	- les coûts eux-mêmes	- système opérationnel	- estimation poste par poste
Précision	- écart à la référence	- expérimentation	- constitution d'une référence solide - mesure des écarts
Fidélité	- relation estimation ↔ référence	- expérimentation	- définition de classes de fonctionnement - vérification de la correspondance des classements obtenus par la situation de référence et par l'estimation (taux de bien classés)

Figure 35 : tableau récapitulatif des exigences, des indicateurs et de leur mode de mesure

5. Conclusion et perspectives

En l'espace d'une quinzaine d'années, le temps de parcours est passé du stade d'information de confort disponible pour un nombre restreint d'automobilistes à celui d'application plus générale, alliant une meilleure sécurité pour l'utilisateur et la définition de repères pour l'exploitant de réseau. Cette information s'est également considérablement développée jusqu'à devenir aujourd'hui une réelle attente de la part d'un usager circulant sur un réseau soumis aux aléas routiers. Cet usager plébiscite en effet cette information pour sa sensibilité aux conditions de déplacement. Étant donné la possibilité de diffusion de cette information de façon synthétique sans perte de précision, l'exploitant dispose là d'un moyen efficace pour communiquer avec les usagers circulant sur son réseau.

Les avancées techniques, notamment en matière de recueil de données, ont été l'un des principaux moteurs de cette évolution : elles ont permis d'obtenir des données plus fiables, et d'adapter les méthodes de calcul à différents types de réseaux. Des progrès sont toutefois encore à réaliser pour obtenir des prévisions et estimations de temps de parcours approchant encore mieux les conditions réelles de circulation.

L'évolution de la diffusion de cette information en agglomération a également favorisé l'émergence de la notion de temps de parcours multimodal, dans laquelle la voiture n'est plus considérée comme seul mode de transport. D'autres modes, couramment utilisés, sont alors eux aussi définis comme des moyens de déplacement courants. Si des avancées ont également eu lieu dans le calcul du temps de parcours multimodal, notamment à l'étranger, la complexité de la tâche reste telle que les pistes de progrès demeurent nombreuses.

Malgré les évolutions récentes et la résolution de problématiques, les perspectives de développement de systèmes relatifs aux temps de parcours sont toujours présentes et pourront même être complétées suite à la dernière phase de décentralisation : la montée en puissance des directions interdépartementales des routes, dont le réseau a pour principale caractéristique d'être linéaire, et des collectivités territoriales en tant qu'exploitants de réseaux risque d'engendrer l'émergence de nouveaux besoins.

Actuellement, la recherche se concentre sur la prévision des temps de parcours à partir d'approches historiques, où comment prévoir le temps de parcours en se fiant à l'évolution de situations passées. D'autres sujets font également l'objet d'une réflexion naissante, comme la recherche de l'influence de la météorologie sur les conditions de circulation. Le temps de parcours actuellement calculé et diffusé n'est également qu'un temps de parcours moyen pour l'ensemble des véhicules circulant sur un axe. Or, certaines catégories de véhicules, comme les poids lourds, n'ont pas la même vitesse moyenne de déplacement que d'autres : il pourrait donc être intéressant de différencier le temps de parcours par catégories de véhicules, pour prendre en compte les spécificités de déplacement de chacune d'entre elles, et de diffuser la valeur correspondante à chacune de ces catégories.

Sur les aspects multimodaux, on constate aujourd'hui que les principaux problèmes sont liés à l'échange entre les différents modes de transport, aussi bien pour un calculateur d'itinéraires que pour un usager dans son déplacement. Or il s'agit là d'un point crucial dans la bonne réalisation d'un parcours multimodal, point sur lequel la recherche devra se porter en priorité pour rendre cette information grand public. Par la suite, pour faire face à la disparité des vitesses de déplacement lors de l'utilisation de modes de transports individuels en dehors de la voiture, l'utilisation d'une application personnalisée sur PDA ou sur téléphone mobile pourrait également être utile pour donner le temps de parcours exact d'un individu qui doit se déplacer en utilisant des modes « doux ».

S'il s'agit d'une donnée essentielle pour un voyageur, le temps de parcours multimodal n'est cependant pas la seule information susceptible de l'intéresser dans le cadre de son déplacement. Aussi, le Certu va-t-il prochainement publier un guide sur la mise en place d'un service d'information multimodale afin d'aider les maîtres d'ouvrage à bien cerner la problématique liée à la

multimodalité. Ce guide, à paraître, sera donc un complément utile à ce document pour celles et ceux qui souhaitent développer une information multimodale.

6. Liste des sigles

Allegro : Agglomération Lilloise Exploitation Gestion de la Route
APRR : Autoroutes Paris-Rhin-Rhône
Area : Autoroutes Rhône-Alpes
ASF : Autoroutes du Sud de la France
BAU : bande d'arrêt d'urgence
Cete : Centre d'études techniques de l'équipement
CIGT : Centre d'ingénierie et de gestion de trafic
Coralys : Coordination et régulation du trafic sur les voies rapides de l'agglomération lyonnaise
DAB : détection automatique de bouchon
DAI : détection automatique d'incident
DDE : Direction départementale de l'équipement
DIR : Direction interdépartementale des routes
Dirif : Direction interdépartementale des Routes d'Ile-de-France
Drast : Direction de la Recherche et des Affaires scientifiques et techniques de l'ex-ministère de l'Équipement
DSRC : *dedicated short-range communications*
ENTPE : École nationale des travaux publics de l'État
Escota : Société des autoroutes Estérel, côte d'Azur, Provence, Alpes
FDOT : *Florida Department of transport*
GPS : *global positioning system*
Gretia : Génie des réseaux de transport et informatique avancée
GSM : *global system for mobile communication*
Itiss : *intermodal travel information systems*
ITP : indice des temps de parcours
ITS : *intelligent transport systems*
ITT : indice du temps tampon
Inrets : Institut national de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
Licit : Laboratoire d'ingénierie circulation transports
Marius : système d'aide à la gestion du trafic des autoroutes marseillaises
MFF : méthode de fiabilité de Floride
OBU : *on board unit*
PDA : *portable digital assistant*
PL : poids lourds
PMV : panneau à messages variables
Predim : Plate-forme de recherche et d'expérimentation pour le développement de l'information multimodale
RDS : *radio data system*
RDT : recueil des données de trafic
Sanef : Société des autoroutes du Nord et de l'Est de la France
Sdir : schéma directeur d'information routière

SIM : système d'information multimodale
Siredo : système informatisé de recueil de données
Siser : service interdépartemental de la Sécurité et de l'Exploitation de la route
SMS : *short message service*
Sirius : système d'information pour un réseau intelligible aux usagers
TMC : *traffic message channel*
TC : transports en commun
TP : temps de parcours
TPI : temps de parcours instantané
TPM : temps de parcours moyen de référence
TTI : temps de trajet individuel
VABF : vérification d'aptitude au bon fonctionnement
VL : véhicule léger
VP : véhicule particulier
VRU : voies rapides urbaines
VSR : vérification de service régulier
WAP : *wireless application protocol*

7. Bibliographie

Problématique générale

[1] ANDERSON (Ian), « *Development of a unified journey time and event monitoring system for Scotland* », article issu du 12^e congrès mondial ITS du 6 au 10 novembre 2005 à San Francisco (USA)

Il y a eu, ces dernières années une forte demande d'information « temps de parcours ». Ce papier présente quelques raisons à cette demande ainsi que les avantages d'avoir une organisation centrale fournissant cette information. Ce papier discute aussi des processus à mettre en œuvre pour améliorer la donnée temps de parcours à partir de diverses sources de données.

[2] EL FAOUZI (N-E), LESORT (J-B), *Estimation des temps de parcours : Réflexions théoriques, méthodologiques et fusion de données multisources*, rapport du Licit n°0101, novembre 2001

Après avoir explicité les difficultés théoriques que représentent la mesure et l'estimation des temps de parcours et présenté les différentes méthodes utilisées, ce rapport d'étude évalue l'intérêt de fusionner des mesures d'origines diverses pour améliorer l'estimation des temps de parcours. La dernière partie est consacrée à une question souvent négligée, à savoir celle de l'évaluation des méthodes d'estimation de temps de parcours : outre les problèmes généraux liés à toute évaluation (problème de la référence, indicateurs de performance...), ce type d'évaluation présente en effet un certain nombre de difficultés spécifiques.

[3] COHEN (Simon), BOMIER (Joël), SCHWAB (Nicolas), *Estimation et prédiction des temps de parcours sur un réseau autoroutier*, actes Inrets n°83, p. 25-36, 2002

Cet article décrit les résultats issus d'une recherche visant à tester la faisabilité d'une diffusion en temps réel des temps de parcours sur des itinéraires autoroutiers.

[4] GENDRE (Patrick), OSTYN (Gilles), DITCHI (Nicolas), HORVATH (Marie-Amélie), *Temps de parcours sur les voies rapides urbaines marseillaises*, rapport d'études programme Serti, Cete Méditerranée, décembre 2004

Le temps de parcours est de plus en plus reconnu comme un indicateur clé pour la qualité de service des réseaux routiers et pour l'information des usagers. Dans le cadre du projet euro-régional Serti, cette étude est consacrée aux temps de parcours sur les voies rapides marseillaises. Après une exploitation des données existantes disponibles à partir du système d'aide à la gestion du trafic Marius exploité par la DDE 13, le rapport fait un premier diagnostic sur le trafic et formule quelques recommandations techniques, en cohérence avec une stratégie d'exploitation et notamment de diffusion d'information sur PMV et Internet. La seconde partie du document fait des propositions concrètes, sur la base d'un prototype et d'une architecture technique, pour améliorer la diffusion d'info trafic sur le web par la fourniture de temps de parcours.

[5] EL FAOUZI (Nour-Eddin), *Mesure, modélisation et estimation des temps de parcours en milieu urbain*, note de problématique, Licit, Inrets/ENTPE, juin 2003

Dans cette note, la problématique des temps de parcours est abordée au travers de ses aspects liés aux plans de déplacements urbains (PDU) et plus particulièrement ceux relatifs aux mesures efficaces d'exploitation des axes majeurs de desserte, à

savoir les actions d'information sur les conditions de circulation, les actions aptes à favoriser le partage modal...

[6] CAMBON DE LAVALETTE (Brigitte), Inrets-LPC, « L'information sur les durées de parcours - Modélisation de l'activité cognitive impliquée », *Recherche Transports Sécurité* 76, p. 222-236, 2002

Depuis quelques années, les voies rapides urbaines sont équipées de dispositifs appréciés des usagers, qui informent sur les durées de parcours. Des observations de l'incidence des messages sur les conducteurs ont été réalisées : ces messages permettraient de prendre des décisions adaptées, de mieux gérer le temps et, de là, l'activité dans les encombrements. Afin de comprendre les raisons pour lesquelles le contenu de ces messages incite à ce comportement, on a cherché à élaborer, sous une forme hypothétique, l'architecture de l'activité mentale sollicitée par ces messages. L'objectif de cet article est de présenter la construction de cette modélisation cognitive, fondée sur les réseaux de connaissance.

Variabilité et distribution des temps de parcours

[7] EL FAOUZI (N.-E.), HABOUZIT (R.), 2000, *Modélisation de la distribution des temps de parcours par mélanges de lois gaussienne : application à l'identification de régimes du trafic*, Licit-ISTIL

Les auteurs explorent la modélisation de la distribution statistique des temps de parcours sur plusieurs sections autoroutières. Ils montrent que la distribution est bimodale et la modélisent en utilisant les mélanges de lois gaussiennes via un algorithme Expectation-Maximization.

[8] EL FAOUZI (N.-E.), MAURIN (M.), *Sur la loi de la somme de variables log-normales : application à la fiabilité des temps de parcours routiers*, actes des XXXVII^{es} journées de statistique, Clamart, 2006.

[9] EL FAOUZI (N.-E.), MAURIN (M.), 2006 *Reliability metrics for path travel time under log-normal distribution*. 3rd INSTR Symposium, La Haye, The Netherlands.

Dans cette série d'articles, les auteurs proposent un cadre de modélisation de la fiabilité des temps de parcours d'un itinéraire routier dans le cas où la distribution statistique des temps de parcours des tronçons est supposée asymétrique et ajustée par une log-normale. Tout d'abord, des approximations de la loi de la somme finie de log-normale sont proposées avec un calcul direct lorsque le nombre de composantes est inférieur à 3 (i.e. 3 tronçons). Ensuite, plusieurs métriques de fiabilité (indicateurs statistiques tels que variance, coefficient de variation mais aussi la fonction dite de fiabilité) sont proposées et calculées.

[10] EMAM (B.), and AL-DEEK (H.), *Utilizing A Real Life Dual Loop Detector Data to Develop A New Methodology For Estimating Freeway Travel Time Reliability*, paper presented at the 85nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C. 2005

Ce papier propose une méthodologie d'estimation de la fiabilité des temps de parcours sur la base des données boucles. Cette méthodologie repose sur une analogie avec la fiabilité des systèmes et suppose la normalité de la distribution des temps de parcours.

[11] MOHAMMADI (R.), *Journey Time Variability in the London Area, Traffic Engineering and Control*, p. 250-256, may 1997

Ceci est l'un des tout premiers papiers qui ait analysé la variabilité et la distribution des temps de parcours urbains.

Fiabilité des temps de parcours

[12] BATES (J.), POLKA (J.), JONES (P.), COOK (A.), *The valuation of reliability of personal travel. Transportation research E 37 (2-3)*, p. 191-229, 2001.

Il s'agit ici d'un travail montrant l'intérêt de la fiabilité des temps de parcours et la perception de cette fiabilité par les usagers dans le cadre de leurs déplacements.

[13] CHEN (C.), SKABARDONIS (A.) and VARAIYA (P.)(2003), "Travel Time Reliability as a Measure of Service" *Journal of the Transportation Research Board*, N° 1885, p.74-89

Les auteurs montrent que la notion de la fiabilité des temps de parcours est loin d'être un concept théorique et qu'au-delà de son intérêt pour l'utilisateur, elle est aussi utile pour enrichir la batterie d'indicateurs utilisée pour l'évaluation de la qualité de service d'une infrastructure.

[14] LAM (T.C.) and SMALL (K. A.), "The value of time reliability : measurement from a value pricing experiment" *Transportation Research E 37 (2-3)*, p. 231-251, 2001.

Un autre travail donnant une évaluation monétaire de la fiabilité.

[15] LOMAX (T.), TURNE (S.), HALLENBEC (M.), BOON (C.), MARGIOTTA (R.), and O'BRIEN (A.), *Traffic Congestion and Travel Reliability : How bad is the situation and What is being done about it ?* US Department of Transportation, Federal Highway administration.

[16] NCHR, 2003, *Research Plan for Providing a Highway System with Reliable Travel Times. NCHRP Plan N ° 20-58 - Study 3, Draft adjournment.*

Ces deux publications constituent une synthèse des travaux de groupes de travail sur la fiabilité des temps de parcours. Plusieurs métriques empiriques y sont proposées et destinées aux gestionnaires des réseaux routiers.

[17] VAN LINT (J. W. C.), TU (H.) and VAN ZUYLEN (H.J.), *Travel time reliability on freeways*, Proceeding of the 10th world conference on transport research (WCTR) [CD ROM], Istanbul, Turkey, 2004.

Cet article présente la fiabilité du temps de parcours comme probabilité que le déplacement puisse être réalisé avec le temps de parcours prévu. Les auteurs proposent une approche graphique bidimensionnelle tenant compte de l'interprétation intuitive des changements de la fiabilité du temps de parcours à divers niveaux de densité de trafic ou de niveaux de service.

Temps de parcours « Véhicule Particulier »

GPS

[18] BURBAN (Audrey), CROSNIER (Alexandre), *Développement d'un prototype de base de données temps de parcours par GPS*, rapport de stage École de l'air, Cete Méditerranée, mars 2007.

Le but de cette étude est de valider l'utilisation du GPS, en temps différé, pour des calculs de temps de parcours. Ce travail a débuté par la création d'une application constituant une base de données de temps de parcours. Cette base de données a permis le calcul de temps de parcours moyens et de vitesses sur des trajets prédéfinis. Le rapport explique le processus pour obtenir les mesures de temps de parcours avec un GPS et détaille l'utilisation du SIG GrfMap. Il liste aussi les difficultés rencontrées et résolues. Des propositions pour de nouveaux tests et des améliorations de l'application sont suggérées en fin de rapport.

[19] LINAUER (Martin), *Fleet Logistics Service Enhancement with Egnos & Galileo Satellite Technology*, rapport d'études, Arsenal research, août 2004.

Ce rapport décrit une expérimentation se déroulant à Vienne et visant à obtenir les temps de parcours sur le réseau routier à partir de la flotte de taxis. Environ 800 taxis sont équipés dont le quart avec un GPS. Le reste des taxis de la flotte est appelé taxis origine-destination et donne les coordonnées de départ et de destination pour chaque voyage. La combinaison de données très précises et de données plus diffuses est un bon compromis, que ce soit du point de vue technique que pratique. Les temps de parcours sont calculés par le système toutes les 15 min, 24 h /24.

[20] WANG (Wenjia), FUSHIKI (Takumi), ZHANG (Hongbin), KIMITA (Kazuya), MIZUTA (Hiroaki), *A probe car system for Beijing*, article issu du 12^e congrès mondial ITS du 6 au 10 novembre 2005 à San Francisco (USA)

Ce papier décrit un système de véhicule traceur développé et testé à Pékin, qui est basé sur des données GPS de bus circulant sur les voies et fournissant de l'information trafic aux utilisateurs. Le système repère la position du bus grâce aux données sur le plan de Pékin, calcule la vitesse moyenne et le temps de parcours sur les segments de route où se trouve le bus et fournit ces informations au public via Internet.

[21] WANG (Jiajie), FANG (Tingjian), YE (Jiasheng), CHEN (Mingxiang), SCHÄFER (Ralf-Peter), *China first FCD application at Ningbo city*, article issu du 12^e congrès mondial ITS du 6 au 10 novembre 2005 à San Francisco (USA)

Les données de 3 000 taxis équipés de GPS sont collectées par un serveur et traitées afin de fournir un plan des rues de la ville de Ningbo, coloriées de huit couleurs représentant la distribution des différentes vitesses. Les utilisateurs peuvent regarder sur Internet pour décider de leur trajet. Plusieurs applications ont été développées pour diffuser l'information (station radio, PMV, écran géant au centre d'information municipal du trafic).

Boucles

[22] BONVALET (F.), ROBIN-PREVALLEE (Y.), « Mise au point d'un indicateur permanent des conditions de circulation en Ile-de-France », Revue *T.E.C.* n° 84-85, septembre / décembre 1987

Méthode d'estimation de la vitesse moyenne mise au point par Bonvalet et Robin-Prévallée en 1987. L'idée de base est d'associer chaque point de mesure (capteur à boucle) à une zone de l'itinéraire dont il est représentatif. Il s'agit donc de découper l'itinéraire en plusieurs chaînons (autant que de capteurs), de telle sorte que sur chacun d'entre eux le trafic soit dans un état le plus proche de la stationnarité, et que les chaînons forment une partition de l'itinéraire : les chaînons sont consécutifs et leur union recouvre la totalité de l'itinéraire.

[23] BOHNKE (Peter), *Measuring MIT travel time with inductive loop sensors in an urban road network, pilot results*, article issu du 10^e congrès mondial ITS du 16 au 20 novembre 2003 à Madrid (Espagne)

Cet article décrit un système implanté dans la ville de Cologne qui affiche, en parallèle pour les conducteurs, le temps de parcours avec un véhicule personnel, mesuré avec des boucles, et celui du transport public, pour aller au centre-ville. Les habitants de Cologne peuvent donc choisir le moyen de transport approprié pour se déplacer.

[24] JENG (S.T.), RITCHIE (S.G.), TOK (Y.C.A.), *Freeway corridor performance measurement based on vehicle re-identification*, article issu du 86^e congrès annuel TRB, janvier 2007

Cet article traite des expérimentations faites aux États-Unis sur l'estimation des temps de parcours grâce à la signature électromagnétique des véhicules.

[25] LENG (S.S.), GRELIER (C.), RIVault (J.), BERTRAND (J.), PITHON (M.), *On the inductive loop based vehicle signature features analysis and the anonymous vehicle re-identification for travel times estimation*, article issu du 86^e congrès annuel du TRB, janvier 2007

Cet article présente une expérimentation d'estimation de temps de parcours réalisée par le LRPC d'Angers à partir de la reconnaissance des véhicules par leurs signatures électromagnétiques.

[26] COIFMAN (Benjamin), *A New Algorithm for Vehicle Reidentification and Travel Time Measurement on Freeways*

Cet article présente un nouvel algorithme d'estimation des temps de parcours sur des autoroutes en utilisant des données simples de signature des véhicules. Cet algorithme est basé sur l'identification de pelotons courts composés de deux ou trois véhicules.

Radar

[27] LAOIDE-KEMP (David), *Multipurpose-VMS Implementation: Three simple although effective proposals*, article issu du 4^e congrès européen ITS du 24 au 26 mai 2004 à Budapest (Hongrie)

Ce papier décrit le développement dans l'agglomération de Dublin d'un plan d'information sur le trafic en temps réel. Les données sont fournies par des capteurs radar et diffusées sur Internet et PMV.

Badges

[28] HAUGEN (Torbjorn), HAKON (Wold), *Travel time registration using ETC tags in Norway*, article issu du 11^e congrès mondial ITS du 19 au 22 octobre 2004 à Nagoya (Japon)

Ce papier décrit les expériences norvégiennes en calcul de temps de parcours à partir de badges. Ce type de données a prouvé sa fiabilité dans l'évaluation de la qualité du trafic et par suite, pour l'information trafic et les systèmes de guidage sur route. Il est maintenant possible de collecter les données anonymement, sans problème de violation de la vie privée.

[29] WRIGHT (John), DAHLGREN (Joy), *Using Vehicles Equipped with Toll Tags as Probes for Providing Travel Times*, rapport d'étude, université de Berkeley (Californie), avril 2001

L'introduction d'un péage électronique à base de badges sur les huit ponts entourant la baie de San Francisco a permis de mettre en place un système relativement simple et peu coûteux pour évaluer les temps de parcours sur les ponts et les routes de la baie. Les badges de péage peuvent être lus par des capteurs à différents endroits sur des routes congestionnées et permettent ainsi de calculer le temps de parcours entre deux points.

[30] DE MOUZON (O.), EL FAOUZI (N.-E.), *Innovative processing of toll collection data: Filtering, enrichment and real-time fusion with loop detectors for travel time estimation*", rapport Licit n°0604, Inrets, octobre 2006

L'originalité de ce travail sur les données péages est justement de montrer comment utiliser cette source de données déjà disponible mais pas ou peu utilisée à ce jour pour l'estimation du temps de parcours. Ce rapport présente ainsi une méthode d'estimation en temps réel et de prévision à court terme du temps de parcours sur autoroutes à péages, qui utilise à la fois les données des détecteurs de trafic (boucles) et les données péages (fusion multisource). Il montre comment corriger les biais des méthodes classiques - basées uniquement sur les détecteurs trafic : par exemple débits cumulés ou extrapolation des vitesses - en intégrant à la méthode des débits cumulés les données péages, même en faible nombre. Le rapport explique également comment utiliser les données péages pour obtenir un temps de parcours de référence (a posteriori) par des méthodes de filtrage, y compris sur des trajets peu empruntés par une méthode d'enrichissement (qui utilise les informations disponibles sur des trajets proches). Le temps de parcours de référence est ainsi obtenu avec un intervalle de confiance, ce qui est très utile pour évaluer différentes méthodes d'estimation ou de prédiction du temps de parcours. Toutes ces méthodes ont été testées et validées sur des données opérationnelles (Area et APRR) et sur différents types de sections (selon la présence d'aires de repos/service ou de péages intermédiaires).

Lecture de plaques

[31] BARTHE (Catherine), OLIVERO (Patrick), JACQUART (Frédéric), GLEIZE (Fabrice), « Système TempO - Affichage des temps de parcours vers les stations de sport d'hiver dans la vallée de l'Oisans », revue *TEC* n°190, avril-juin 2006

[32] BUISSON (Christine) (Licit), *A Simple Traffic Model for a Simple Problem: the Case of Sizing Travel Time Measurement Devices*, article issu du 85^e congrès annuel du TRB à Washington (USA)

Ces articles présentent une expérimentation de calcul de temps de parcours à partir d'un système de lecture de plaques minéralogiques dans la vallée de l'Oisans (France). Le tronçon retenu entre Grenoble et Bourg-d'Oisans est une liaison quasi obligatoire vers les stations de la vallée de l'Oisans : il n'existe pas d'itinéraire de déviation ou de délestage attractifs. Ce n'est donc pas dans un but de « routage » (préconisation d'itinéraires alternatifs) que l'affichage des temps de parcours a été mis en place, mais avec l'objectif d'offrir à l'usager une levée de l'incertitude sur son heure d'arrivée, donc de diminuer son stress et de lui permettre d'organiser son trajet (par exemple en faisant des haltes, en prévenant ses proches ou son logeur de son horaire d'arrivée, etc.). On escompte donc une conduite plus sereine, moins d'impatience et d'agressivité et sans doute (mais cet effet ne peut être mesuré qu'à moyen terme) une amélioration des conditions de sécurité.

[33] BERTINI (Robert L.), LASKY (Matthew), MONSERE (Christopher M.), *Validating predicted rural corridor travel times from an automated license plate recognition system: Oregon's frontier project*, article issu du 12^e congrès mondial ITS du 6 au 10 novembre 2005 à San Francisco (USA)

Cette communication présente les résultats d'un système de calcul des temps de parcours utilisant la reconnaissance automatique de plaques. Dans ce but, le département de transport de l'État de l'Oregon a déployé un système de traitement d'images avec reconnaissance de plaques et encodage des données privées. La section de route considérée mesure 25 miles et les caméras sont installées en trois points. Le système compare les temps de parcours obtenus avec ceux obtenus avec des véhicules traceurs et montre qu'il n'y a pas statistiquement de différences. Il reste néanmoins à valider le système sur une route congestionnée.

[34] LINAUER (Martin), MRAKOTSKY (Elisabeth), Arsenal research, *Methods to generate floating car data for use in traffic telematics systems*, article issu du 11^e congrès mondial ITS du 19 au 22 octobre 2004 à Nagoya (Japon)

Dans cet article, différentes technologies et méthodes sont analysées pour générer de l'information trafic en temps réel, basée sur la technologie des véhicules traceurs. Une comparaison des fonctionnalités, coûts et disponibilité des systèmes de communication avec badges et avec radio est réalisée.

Téléphonie mobile

[35] GENDRE (Patrick), OSTYN (Gilles), *Système de recueil d'information trafic via les réseaux téléphoniques cellulaires – opportunité et faisabilité*, rapport d'étude, Cete Méditerranée, novembre 2006

Depuis la fin des années 90, plusieurs technologies de recueil alternatives aux boucles de comptage ont été développées. La localisation des téléphones mobiles a été étudiée par les principaux opérateurs. Il semble désormais que les difficultés (techniques ou non) soient en passe d'être résolues, comme le montrent plusieurs expérimentations grandeurs nature (Pays-Bas, États-Unis, Écosse, Allemagne, Finlande...). Ce rapport présente les principes techniques, l'offre industrielle existante, et les projets ou expérimentations en cours en 2006, puis analyse le point de vue des acteurs (opérateurs GSM, bureaux d'études et exploitants routiers, notamment conseils généraux).

[36] YGNACE (Jean-Luc) *et al.*, *Travel Time/Speed Estimates on the French Rhone Corridor Network Using Cellular Phones as Probes*, rapport final du projet Strip du programme Serti, décembre 2001

Ce rapport présente une étude de faisabilité pour mesurer les temps de parcours sur réseau routier à partir des calculs de positionnement et de vitesse de véhicules équipés de téléphones mobiles en veille. La croissance exponentielle du parc de téléphones mobiles d'une part, et les méthodes de calcul de localisation des mobiles d'autre part, permettent aujourd'hui d'envisager que la proportion de véhicules roulant avec un téléphone en veille, soit suffisamment représentative du parc total roulant à l'instant t pour obtenir une bonne fiabilité des calculs de vitesse par tronçons.

[37] WUNNAVA (Subbarao V.), YEN (Kang), BABIJ (Tadeusz), ZAVALETA (Richard), ROMERO (Rafael), ARCHILLA (Christian), université internationale de Floride, *Travel time estimation using cell phones (TTECP) for highway and roadways*, rapport d'étude, Florida Department of Transportation, janvier 2007

Dans ce rapport, il est examiné les possibilités qu'offre la technologie cellulaire pour l'estimation des conditions de trafic et plus particulièrement des temps de parcours. De bons résultats sont observés lorsque le trafic est fluide ; l'estimation du temps de parcours et de la vitesse n'est cependant pas assez précise dans des conditions de forte congestion, où l'information trafic est plus importante qu'en trafic fluide. On peut ajouter qu'il n'y a pas eu d'expérimentations indépendantes prouvant que cette technologie est assez mature pour fournir un temps de parcours dans des artères urbaines.

En conclusion, cette technologie a un fort potentiel pour estimer la vitesse et le temps de parcours, mais des études plus poussées sont nécessaires.

Multimodalité – Intermodalité : définitions et solutions de mise en œuvre

[38] ALLOUCHE (Jean-François), *Information multimodale dynamique en Ile-de-France*, article issu du congrès Atec du 17 au 19 octobre 1994 à Paris (France)

L'article donne différentes définitions de la multimodalité, quelques expériences menées au début des années 1990 et présente le programme Cities devant permettre à l'utilisateur de choisir comme mode la voiture, ou les TC ou une combinaison des deux.

[39] BAUDEZ (Gildas), *Adequate Scale for Multimodal Information Services*, article issu du congrès mondial ITS du 8 au 12 octobre 2006 à Londres (Grande-Bretagne)

L'article met en évidence les principales difficultés rencontrées lors de projets de développement de systèmes d'information multimodale, et notamment le problème résultant de la compétence territoriale et des besoins des usagers en termes d'information.

[40] BAUMANN (Daniel), TORDAY (Alexandre) et DUMONT (André-Gilles), *Approach for computing optimum intermodal roundtrips in multimodal transport networks*, article issu du 10^e congrès mondial ITS du 16 au 20 novembre 2003 à Madrid (Espagne)

Cet article aborde le problème du chaînage dans les trajets multimodaux. Le problème du trajet aller-retour, avec génération de contraintes, y est plus longuement traité. L'article donne aussi les informations à obtenir pour la réalisation de trajets allers-retours.

[41] BELLOCHE (Sylvain), *Temps de parcours multimodaux : le temps de parcours multimodal comme aide pour l'utilisateur dans ses déplacements*, travail de fin d'études de l'École nationale des Travaux publics de l'État, juin 2003

Le document présente le résultat d'une réflexion sur la démarche à mener pour obtenir le temps de parcours multimodal à partir de données temps de parcours monomodaux ainsi que les possibilités de diffusion de ce temps de parcours. La définition des temps de parcours monomodaux reste sujette à l'obtention de pré-requis et à la formulation d'hypothèses.

[42] BOLELLI (Alfredo) et MANZATO (Michele), *Characteristics and benefits of state-of-the art data sharings and exchange technologies*, rapport d'étude dans le cadre du projet IST, février 2000

Le projet Trident avec ses objectifs, son architecture envisagée y est présenté. Plus largement, les aspects de l'échange de données, du message et des nouvelles technologies y sont traités.

Pour plus d'informations sur le projet Trident, on pourra se référer au site de la Predim (<http://www.predim.org>).

[43] Certu, *Solutions techniques pour l'information multimodale. Synthèse de la journée du 23 Juin 2003 consacrée au calcul d'itinéraires multi et inter-modaux*

Cette synthèse fait le point sur les données nécessaires, les problèmes rencontrés par les calculateurs d'itinéraires et rappelle les besoins des usagers.

Il y est notamment formulé le principe du temps réel pour chaque mode avant d'effectuer la combinaison.

Parmi les présentations effectuées pendant cette journée :

- Dryade : présente le système Rider (calculateur d'itinéraires pour la RATP), et NaviMAP, le système de cartographie associé. La société présente aussi des problèmes rencontrés par un calculateur d'itinéraires (synthèse et alimentation en données) ;
- Loxane : présentation d'un calculateur d'itinéraires en TC, un autre en VP. Au final, possibilité d'un calculateur d'itinéraires multimodaux avec architecture détaillée prenant en compte une hiérarchisation des modes par pondération ;
- MDV – MI : présentation du système d'information multimodale EFA/ITP, permettant la recherche d'itinéraires (développé notamment sur le site de l'agglomération londonienne). Une carte est fournie avec le résultat. La gestion des arrêts (correspondances) est ensuite traitée en détail ;
- Spie-Trindel : cette présentation met en avant le projet du « 1^{er} calculateur VP + TC de France » dans le cadre de la gestion multimodale centralisée des déplacements (GMCD) à Grenoble.

[44] DOUCET (Cédric), *L'intermodalité des déplacements de personnes en milieu urbain*, rapport de stage sous la direction de N-E. El Faouzi, Inrets-Licit, octobre 2003

Ce rapport vise à présenter de façon globale les tenants et les aboutissants du problème des déplacements intermodaux de personnes en milieu urbain. La définition retenue de l'intermodalité est ici celle du Gart. Le rapport aborde dans une quatrième partie finale la mesure et l'estimation des temps de parcours de porte-à-porte.

[45] ITS France (Atec), *Pour un développement de l'information multimodale en agglomération : freins et perspectives*, rapport du groupe de projet ITS France information multimodale en agglomération (pilote Bernard Jammes), version 4.4, avril 2002

Ce rapport donne les définitions de la multimodalité et de l'intermodalité reprises dans ce document, les attentes et les besoins des utilisateurs lors de leurs déplacements, des références aux lois Loti et SRU, les différents acteurs et l'architecture-cadre relative à l'information aux usagers. Il indique les différences existantes entre les exploitants, les données à obtenir, les problèmes de normalisation rencontrés. Une réflexion est ensuite menée sur les freins qui pourraient être levés. En annexe, on trouve les réalisations en France et à l'étranger, la liste des autorités organisatrices et un lexique.

[46] KAUFMANN (Vincent) « Le plus court est-il le mieux ? », *Revue RTS*, n°75, 2002, p. 131-143.

L'article effectue un retour sur une enquête menée simultanément en France et en Suisse sur la perception des temps de parcours VP et TC par des usagers. La réflexion porte davantage sur le comportement des usagers par rapport au temps pendant leur déplacement.

[47] KRYGSMAN (Stephan) et DIJST (Martin), *Multimodal trips in the Netherlands: conceptual clarification, micro-level individual attributes and residential context*, article issu du 80^e congrès annuel du TRB en 2001 à Washington (USA)

Après une courte revue bibliographique commentée, est présentée une étude hollandaise, répertoriant notamment toutes les combinaisons intermodales possibles et effectuées par des voyageurs. L'étude analyse ces combinaisons et compare les motifs de déplacements, donne les distances parcourues avec chaque mode pour l'accès, la sortie, et en tant que premier mode utilisé.

[48] MASSOT (Marie-Hélène), « *La multimodalité automobiles et transports collectifs : complémentarités des pratiques modales dans les grandes agglomérations* », *RTS* n°50, janvier-mars 1996, p. 3-16.

Cet article analyse la « clientèle » multimodale dans les agglomérations de plus de 300.000 habitants (hors Paris). Pour cela, l'auteur donne une définition plus large de la multimodalité que celle retenue généralement.

[49] PERREAU (Chloé), *Les systèmes d'information multimodale : apports et potentialités dans l'optimisation des déplacements urbains*, thèse sciences économiques, Institut d'études politiques de Paris, 2002

Après une première partie sur les enjeux de la mobilité, l'auteur aborde l'état de l'art opérationnel des SIM (systèmes d'information multimodale), leur pertinence, ainsi que les perspectives, étudie les besoins en information des voyageurs, et identifie les critères de succès et les freins à leur développement. L'auteur démontre ensuite l'utilité de ces systèmes pour le voyageur.

[50] SEMALY, *La modélisation des déplacements intermodaux*, synthèse de la recherche Drast dans le cadre du Pedit, 2000

Commençant par la pratique intermodale, cette synthèse indique les déterminants de l'intermodalité, les personnes les plus susceptibles d'être intermodales, les conditions de l'intermodalité, les méthodes de modélisation employées et évoque les différents logiciels.

[51] STERIA, *Optimisation des itinéraires*, étude menée dans le cadre du projet Actif, juin 2001

Après définition de la multimodalité et de l'intermodalité, cette étude énonce les données à obtenir, en faisant ressortir les données jugées bloquantes à l'obtention d'un temps de parcours multimodal. Les architectures de SIM y sont répertoriées et décrites avec leurs avantages et inconvénients.

[52] CERTU, *Des transports intelligents ? Comment y parvenir*, collections du Certu, octobre 2003

Cet ouvrage a l'ambition d'expliquer, dans un langage simple et accessible, les possibilités offertes par l'informatique et les télécommunications pour la gestion des transports. Du GPS à la carte à puce, de la voiture communicante au wagon intelligent, un nouvel univers électronique s'étend progressivement dans tout ce qui gouverne nos déplacements quotidiens. Le lecteur en découvrira ici l'architecture et les principaux axes de développement.

Projets – Réalisations d'information multimodale :

[53] BAUDEZ (Gildas), *Transbâle : de l'expérimentation au service*, article issu du congrès de l'Atec des 22 et 23 janvier 2003 à Paris (France)

Cette présentation synthétique (en français) de Transbâle aborde les différents niveaux de données, les combinaisons intermodales, l'architecture physique du site et ses étapes de construction.

[54] BLAQUIERE (Alexandre), *Mise en œuvre de l'agence de presse du système de gestion globale des déplacements de l'agglomération toulousaine*, mémoire du mastère Ingénierie et exploitation des déplacements sous la responsabilité de Patrick Olivero, mars 2001

Cet ouvrage traite d'abord de l'information aux usagers, avec ses différentes caractéristiques, et le concept de l'agence de presse. Une deuxième partie est consacrée aux cadres juridique et économique. La troisième partie est consacrée à l'information des usagers toulousains, aux objectifs et aux missions de l'agence de presse et à l'attribution des rôles dans la chaîne de l'information. En conclusion, une synthèse permet une proposition d'organisation.

[55] BLAQUIERE (Alexandre), SMTIC, *L'information multimodale à Toulouse : mobilisation des acteurs et approche institutionnelle*, présentation au Gart du 21 mars 2003 à Paris (France)

Présentation du SGGD (Système de Gestion Globale des Déplacements), de son schéma de concept. L'auteur décrit l'élaboration de l'information multimodale et l'organisation de sa mise à disposition auprès des diffuseurs. L'auteur aborde aussi le problème de convergence des politiques et les problèmes opérationnels.

[56] CARTE BLANCHE CONSEIL, *Un projet d'information multimodale pour l'agglomération toulousaine – État des lieux au 1^{er} semestre 2003*, rapport du Certu, septembre 2003

Après exploitation d'un questionnaire envoyé aux participants du SGGD et dont les résultats sont plutôt décevants, ce rapport note les différentes informations, classées selon quatre niveaux (en fonction de leurs fréquences d'actualisation), à récolter chez chaque participant. Le SGGD est alors décrit par les présentations : de SysPEOD, de la centrale d'information, des problèmes dus aux données, des besoins en données, du périmètre à considérer, des relations (avec diagramme).

[57] CERTU-CETE Méditerranée, *Déploiement national des systèmes d'information multimodale – Delfi : l'exemple allemand*, rapport d'étude, collections du Certu, août 2000

Delfi permet de calculer des itinéraires en Allemagne d'abord au niveau local puis au niveau national. Le calculateur utilise les chemins de fer au niveau national et la compagnie exploitante des transports en commun au niveau local. Il s'agit d'une architecture de requête vers des fournisseurs d'itinéraires.

[58] CERTU-CETE Méditerranée, *Déploiement national des systèmes d'information multimodale – Gofas : l'exemple suisse*, rapport d'étude, collections du Certu, octobre 2001

Gofas (système de renseignement géographique sur les horaires) permet d'obtenir des itinéraires de porte-à-porte en transports en commun sur le territoire suisse. Il s'agit d'une centralisation des données TC sur le site des chemins de fer suisses.

[59] CERTU, *Déploiement national des systèmes d'information multimodale – Transport Direct : l'exemple anglais* », rapport d'étude, collections du Certu, août 2003

Présentation de Transport Direct, projet lancé en 2000 dans le but d'une comparaison des prix et des itinéraires suivant le mode de transport sur des déplacements dans toute la Grande-Bretagne.

[60] CERTU-CETE Méditerranée, *Déploiement national des systèmes d'information multimodale – 9292 : l'exemple des Pays-Bas* », rapport d'étude, collections du Certu, mars 2006

Le document présente la naissance du système d'information multimodale TC par téléphone aux Pays-Bas. La diffusion de l'information se fait également aujourd'hui via d'autres médias comme Internet. Le document analyse ensuite le mode de fonctionnement du système, et les informations fournies au client.

[61] CERTU, *Systèmes d'information multimodale : une bibliographie commentée*, rapport d'étude, collections du Certu, Mars 1999

Ce document effectue une revue de presse mondiale sur les différents SIM existants. S'il est un peu dépassé, il a le mérite de donner une photo précise de l'état de l'art il y a huit ans.

[62] EGELER (Christian), *TRANS 3 – Introduction and operation of a multimodal travel information service for transport*, papier de conférence du 2^e Congrès suisse sur la recherche en transport (STRC), 20-22 mars 2002, Monte Verità

Cet article présente le site Transbâle. Il indique les différentes combinaisons modales que donne le site, la représentation des différents réseaux, des carrefours et des nœuds modaux. L'architecture du système y est présentée.

[63] SCEMAMA (Gérard) et CARLES (Olivier), *Claire-Siti, Public and road transport network management control : a unified approach*, article issu de la 12^e conférence internationale RTIC en 2004 à Londres (Grande-Bretagne)

Cet article effectue une présentation rapide de la plate-forme Claire-Siti. Après un bref rappel historique sur les développements de ce système, l'article indique l'objectif du système (la supervision de réseaux multimodaux), et détaille ensuite les modélisations structurelle et fonctionnelle effectuées. La dernière partie de l'article décrit les fonctionnalités présentes dans Claire-Siti.

Une présentation en français de Claire-Siti, effectuée dans le cadre de la journée « L'information de mobilité lors de situations perturbées » le 13 décembre 2006, est également disponible en consultation sur le site de la Predim¹⁶.

[64] GENDRE (Patrick), *Solutions pour le calcul d'itinéraires TC et multimodaux : état des lieux de l'offre en France*, note du Certu, janvier 2003

¹⁶ <http://www.predim.org>

Présentation de l'offre (différents calculateurs d'itinéraires TC), de la demande (fonctionnalités possibles) et de dix problématiques sur le sujet « calcul d'itinéraires multimodaux ».

[65] ÖÖRNI (Seppo) et VEHVILÄINEN (Juhani), *Finnish Multimodal Passenger Transport Information R&D Programme – Heili*, article du ministère finlandais des Transports et des Communications, 2002

Cet article finlandais traite de l'information que doit recevoir l'utilisateur à terme (2006) sur les parcs-relais. Des modèles opérationnels sont par ailleurs développés pour assurer les chaînes intermodales et renforcer la coopération entre les différents modes lors d'incidents.

[66] RAPP (Peter), BAUDEZ (Gildas) et EGELER (Christian), *Multimodal travel information in Basel: trial, evaluation and organisational consequences*, 2003

L'article donne les résultats d'une enquête auprès d'utilisateurs de Transbâle. Les personnes sondées ont l'air satisfaites par ce site. L'article donne également l'organisation, les données nécessaires au fonctionnement du site et les raisons de l'échec du maintien du site en temps réel.

[67] RIBEIRO-GRACA (José) et MARCELINO (Catarina), *Transpor: a multimodal public transport portal based on an interactive geographical information system*, article issu du 10^e congrès mondial ITS du 16 au 20 novembre 2003 à Madrid (Espagne)

Cet article présente le site portugais www.transpor.pt, qui permet une recherche d'itinéraire en TC sur le Portugal. Une carte est fournie à l'utilisateur avec son point de départ.

[68] THEVENIN (Thomas), *The performance of the public transport system in time and space*, Unité mixte de recherche Thema/CNRS, Besançon,

Présentation de cartes d'accessibilité sur la ville de Besançon, avec les différentes composantes du temps de parcours prises en compte. L'auteur présente aussi un SIG permettant d'intégrer le temps pour l'exploitation d'un réseau de transport à la demande.

Stationnement :

[69] AXHAUSEN (Kay), *Besoins en stationnement et caractéristiques. Les cahiers du ministère wallon de l'Équipement et des Transports – Maîtriser la mobilité : 5^e partie : matrice O/D – demande*, novembre 1994

Cet article donne les différentes stratégies de recherche d'une place de stationnement (y compris sur des emplacements illicites). Une modélisation du temps de stationnement en ouvrage est donnée, après une recherche sur les différentes composantes de ce temps.

[70] AXHAUSEN (Kay), POLAK (J-W.) et BOLTZ (M.), *Effectiveness of parking guidance and information systems: recent evidence from Nottingham and Frankfurt am Main, Compendium of technical papers of the 63rd annual meeting of the institute of transportation engineers*, 1993, La Hague, p. 109-113.

Cet article revient sur la mise en place de systèmes de signalisation et d'information sur le nombre de places dans les villes de Nottingham et de Frankfort. Des chiffres sur le temps de stationnement sur voirie et en ouvrage sont alors donnés pour ces deux villes.

[71] CERTU, *Politique de stationnement : l'enjeu de la communication – analyses et perspectives*, rapport d'étude, collections du Certu, septembre 2003

Cet ouvrage ne traite pas a priori des temps de stationnement mais plutôt des politiques de stationnement : la distinction entre trois catégories (résidents, pendulaires et visiteurs) et les thèmes majeurs relatifs au stationnement y sont décrits (proximité, immédiateté, garantie, sécurité, gratuité). Le refus de se garer convenablement (double file...) est aussi analysé.

[72] JMJ CONSEIL, *Impact des politiques de stationnement sur la circulation et l'environnement*, rapport de recherche de la Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques du ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer, juin 2003

Après une première partie sur l'histoire du stationnement (amenant au chiffre de 50 % des places situées sur voirie), une enquête sur les temps de stationnement dans neuf quartiers types répartis sur trois villes (Grenoble, Dijon et Lyon) a été menée en pratique selon la méthode Certu. L'étude donne ainsi des valeurs de ces temps, et aboutit à des considérations environnementales.

[73] CERTU, *Les enquêtes de stationnement - guide méthodologique*, collections du Certu, octobre 2000

Ce guide liste les enquêtes relatives à la problématique du stationnement, et précise la méthodologie à employer pour les effectuer. Le temps de recherche d'une place de stationnement est l'une de ces enquêtes, et le mode opératoire et le dépouillement nécessaire pour obtenir ce temps y sont décrits (p.87-91).

[74] LEFAUCONNIER (Amélie) et GANTELET (Éric), « *La recherche d'une place de stationnement : stratégies, nuisances associées, enjeux pour la gestion du stationnement en France* », revue *TEC* n°187, juillet-septembre 2005, p. 9-12

Cet article synthétise une étude menée dans des quartiers de villes françaises et ayant pour objet l'évaluation du temps perdu par les automobilistes lors de la recherche d'une place de stationnement. Après extrapolation de ces résultats sur la

France entière et des nuisances sous-jacentes, des moyens de réduction du temps de recherche d'une place ont été étudiés.

[75] RENNES (Garance) et ORFEUIL (Jean-Pierre), « *Les pratiques de stationnement au domicile, au travail et dans la journée* », revue *RTS* n° 57, décembre 1997, p. 21-35.

Suite à une enquête réalisée par l'Insee et l'Inrets en 1993-1994, cet article traite d'abord du stationnement à domicile la nuit (avec les diverses contraintes supposées), puis de l'offre de stationnement sur les lieux d'emploi et enfin des conséquences sur les caractéristiques de déplacements vers le travail.

Vélo – Marche à pied :

[76] DOUAY (Sophie) et HASIAK (Fabrice), *Le vélo dans la chaîne de transport*, travail de fin d'études – ENTPE-Cete de Lyon, juin 1994

Ce document analyse les réponses à l'enquête ménages menée sur Grenoble en 1992. Un travail a ainsi pu être fait sur les disparités des vitesses pratiquées à vélo suivant le sexe et l'âge. Par ailleurs, une analyse de la distance parcourue à vélo a été effectuée. Ce document aborde aussi le thème de la complémentarité entre vélos et transports en commun.

[77] HOOGENDOORN-LANSER (Sascha), HOOGENDOORN (Serge), *Public Transport Trip-Chain Time-Attribute Analysis and its Implications*, article issu du 80^e congrès annuel du TRB en 2001 à Washington (USA)

Cet article définit les temps d'accès et de sortie du réseau. Il donne aussi la vitesse du piéton, supposée constante. La réflexion porte également sur le temps d'attente aux arrêts.

[78] RIETVELD (P.), « *Non-motorised modes in transport systems : a multimodal chain perspective for the Netherlands* », *Transportation Research Part D* n° 5, 2000, p. 31-36.

Cet article traite du vélo dans une optique multimodale : pour des trajets inférieurs à 3,5 km, le vélo comme mode unique convient ; sinon, des combinaisons modales doivent être envisagées.

8. Webographie

Ce paragraphe récapitule uniquement des sites Internet évoqués dans ce guide. Beaucoup d'autres sites, au contenu intéressant mais non mentionnés ici, existent. De plus amples informations sont disponibles sur le site de la Predim. Il s'agit également d'une photographie à un instant donné : le contenu de ces sites est susceptible d'évoluer.

- <http://www.sytadin.equipement.gouv.fr>

Site d'information routière sur l'Ile de France.

- <http://www.wsdot.wa.gov/traffic/seattle/traveltimes/reliability/>

Site d'information routière sur la ville de Washington qui présente en particulier une mise en œuvre opérationnelle de la fiabilité des temps de parcours.

- <http://www.cita.lu/>

Site du ministère des Travaux publics luxembourgeois chargé du contrôle du trafic et de l'information routière sur les autoroutes luxembourgeoises.

- <http://www.mappy.fr/>

Site d'une société de services proposant un calculateur d'itinéraires sur l'Europe et les États-Unis.

- <http://www.viamichelin.fr/>

Site d'une société de services proposant un calculateur d'itinéraire sur l'Europe et les États-Unis.

- <http://www.9292ov.nl>

Site de la centrale d'information multimodale (uniquement TC) aux Pays-Bas.

- <http://www.destineo.fr/>

Site d'information multimodale (pour le moment seulement TC) sur la Région des Pays de la Loire.

- <http://www.lepilote.com>

Site d'information multimodale sur le département des Bouches-du-Rhône.

- <http://www.mysociety.org/2006/travel-time-maps>

Site présentant des cartes d'accessibilité réalisées sur le territoire de la Grande-Bretagne.

- <http://www.predim.org>

Site de la plate-forme de recherche et d'expérimentation pour le développement de l'information multimodale, visant à capitaliser et à échanger les informations et les expériences sur le thème de l'information multimodale.

Sur ce site, on trouvera également le prototype d'annuaire français des sources et des systèmes d'information multimodale (Passim) : <http://passim.predim.org>.

- <http://www.transbale.com>

Site d'information multimodale sur l'agglomération trinationale de Bâle.

- <http://www.transportdirect.info/>

Site d'information multimodale sur la Grande-Bretagne.

- <http://www.vmzberlin.de/>

Site d'information multimodale sur la ville de Berlin.

Table des illustrations

Figure 1 : courbe de reconstitution du temps de parcours sortant (source Inrets)	8
Figure 2 : courbe du pourcentage de véhicules sortant en fonction du temps d'attente	9
Figure 3 : distributions normales des temps de parcours centrées et pour diverses valeurs de variances (source Inrets)	12
Figure 4 : distribution log-normale des temps de parcours (source Inrets)	12
Figure 5 : mélange de deux composantes normales des temps de parcours (source Inrets)	13
Figure 6 : distribution des temps de parcours sur deux itinéraires A et B (source Inrets)	14
Figure 7 : variabilité comme mesure de fiabilité (source Inrets)	15
Figure 8 : indice de fiabilité fondé sur l'indice tampon (source : Mobility Monitoring Program, FHWA)	16
Figure 9 : feuille de route avec la valeur du temps de parcours et de sa fiabilité (source : WSDOT's Calculate Your Commute web page)	17
Figure 10 : comparaison entre temps de parcours mesuré et reconstitué (source ASF)	20
Figure 11 : comparaison entre temps de parcours reconstitué et prédit (source ASF)	23
Figure 12 : exemple d'affichage de temps de parcours sur PMV (source Dirce et CG38)	26
Figure 13 : affichage du temps de parcours et de la tendance (avtagende = croissant et okende = décroissant)	28
Figure 14 : comparaison entre le temps de parcours de référence et l'estimation du temps de parcours par fusion de données (source Inrets)	31
Figure 15 : PMV indiquant les temps de parcours dans l'agglomération de Nantes (source Nantes Métropole)	36
Figure 16 : exemple d'affichage sur PMV à Amsterdam (source RWS)	37
Figure 17 : exemple d'affichage sur PMV à Tokyo (source Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan)	37
Figure 18 : exemple de PMV « mixtes » sur l'A2 aux Pays-Bas (source RWS)	37
Figure 19 : affichage des temps de parcours sur le site de la Dirif	38
Figure 20 : affichage des temps de parcours sur le site du ministère des Travaux publics luxembourgeois	39
Figure 21 : calcul d'itinéraire sur Mappy®	40
Figure 22 : calcul d'itinéraire sur le site de la Dirif	41
Figure 23 : exemple de systèmes embarqués fournis dans les véhicules du groupe Renault	43
Figure 24 : parc-relais à Nantes	46
Figure 25 : calculateur d'itinéraires TC (site de la RATP). Dans ce cas, on fixe T_{att} (temps d'attente) = 0.	48
Figure 26 : décomposition usuelle du temps de parcours d'un bus	50
Figure 27 : jalonnement dynamique du stationnement à Lille	55
Figure 28 : élaboration du temps de parcours multimodal	56
Figure 29 : les différentes possibilités de combinaisons modales effectuées par le calculateur de Transbâle	57
Figure 30 : prise en compte du critère environnemental sur l'éco-comparateur de Voyages-sncf.com	59
Figure 31 : accessibilité en train et taxi depuis la gare de Londres-Cambridge à 7 h un jour de semaine	63

Figure 32 : différence d'accessibilité entre les modes « train et taxi » et « voiture » depuis la gare de Londres-Cambridge à 7 h un jour de semaine	63
Figure 33 : Siri – Exemple de cas d'utilisation - Alimenter une centrale de mobilité (calcul d'itinéraire, information horaire temps-réel, « Travel Angel »).....	72
Figure 34 : présentation de la méthode développée dans Actif (source Actif).....	75
Figure 35 : tableau récapitulatif des exigences, des indicateurs et de leur mode de mesure	89

Table des matières

1. Temps de parcours « Véhicule Particulier »	6
1.1 Qu'est-ce qu'un temps de parcours ?	6
1.1.1 Définitions de base	6
1.1.1.1 Temps de parcours individuel	6
1.1.1.2 Temps de parcours moyen	6
1.1.2 Différents types de temps de parcours	7
1.1.2.1 TP entrant réel	7
1.1.2.2 TP instantané	7
1.1.2.3 TP prévu	7
1.1.2.4 TP entrant reconstitué	7
1.1.2.5 TP sortant réel	8
1.1.2.6 TP sortant mesuré	8
1.1.2.7 TP sortant reconstitué	8
1.2 Des temps de parcours pour quels usages ?	9
1.2.1 Pour l'utilisateur	9
1.2.2 Pour l'exploitant	10
1.2.3 Pour le maître d'ouvrage, pour l'élus	11
1.2.4 Pour le prestataire de services	11
1.3 Variabilité, distribution et fiabilité des temps de parcours	11
1.3.1 Variabilité et distribution	11
1.3.2 Fiabilité des temps de parcours	14
1.3.2.1 Définition de la fiabilité	14
1.3.2.2 Quelques métriques de la fiabilité des temps de parcours	15
1.4 Méthodes d'estimation de temps de parcours en temps réel	17
1.4.1 Conversion des mesures de trafic	18
1.4.2 Techniques de suivi des véhicules	25
1.4.3 Techniques de fusion de données	30
1.4.4 Tableau de synthèse	33
1.5 Prédiction du temps de parcours	34
1.6 Méthodes de diffusion de temps de parcours	36
1.6.1 Panneaux à messages variables	36
1.6.2 Internet	38
1.6.3 Téléphonie mobile	41
1.6.4 Serveurs vocaux	43
1.6.5 Radio	43
1.6.6 Systèmes d'information embarqués dans les véhicules	43

2. Temps de parcours TC et multimodaux	45
2.1 Définitions	45
2.1.1 Multimodalité et intermodalité	45
2.1.2 Nœud de multimodalité	45
2.2 Des temps de parcours multimodaux pour quels usages ?	46
2.2.1 Une utilisation quotidienne par l'utilisateur dans ses déplacements pendulaires	46
2.2.2 Une utilisation exceptionnelle par l'utilisateur pour ses déplacements inhabituels	47
2.3 Typologie des modes et temps de parcours associés	47
2.3.1 Modes collectifs	47
2.3.1.1 Composantes du temps de parcours	47
2.3.1.2 Approches des composantes du temps de parcours	49
2.3.1.2.1 Temps d'accès T_a et temps de sortie T_s _____	49
2.3.1.2.2 Temps d'attente T_{att} _____	49
2.3.1.2.3 Temps de voyage T_v _____	50
2.3.1.2.4 Temps de correspondance T_c _____	50
2.3.2 Modes individuels sans contrainte de stationnement	51
2.3.2.1 Composantes du temps de parcours	51
2.3.2.2 Approches des composantes du temps de parcours	51
2.3.2.2.1 Temps de prise en charge et de dépose T_{pc} _____	51
2.3.2.2.2 Temps de voyage T_v _____	52
2.3.3 Modes individuels avec contrainte de stationnement	52
2.3.3.1 Composantes du temps de parcours	52
2.3.3.2 Approches des composantes du temps de parcours	53
2.3.3.2.1 Temps d'accès T_a et de sortie T_s _____	53
2.3.3.2.2 Temps de voyage T_v _____	53
2.3.3.2.3 Temps de recherche d'une place de stationnement T_{stat} _____	53
2.4 Combinaisons de modes et obtention du temps de parcours multimodal	56
2.4.1 Combinaisons réalisables	56
2.4.2 Agrégation des temps de parcours monomodaux	58
2.4.3 Notion de coût généralisé	58
2.4.4 Impartialité de l'information	59
2.5 Diffusion du temps de parcours multimodal	59
2.5.1 Médias délivrant de l'information	59
2.5.2 Médias interagissant avec l'utilisateur	61
2.6 Panorama de l'information multimodale et des projets	61
2.6.1 Calculateurs d'itinéraires en transports en commun	61
2.6.2 Cartes d'accessibilité	62

2.6.3	Projets et réalisations de systèmes d'information multimodale	64
2.7	Obstacles à l'information multimodale	69
2.7.1	Freins politiques et institutionnels	70
2.7.2	Freins techniques	70
3.	Différentes étapes d'un projet d'information temps de parcours	73
3.1	Initialisation du projet	73
3.2	Vie du projet	74
3.3	Déploiement et mise en service	76
3.4	Évaluation	76
4.	Évaluation des systèmes d'estimation des temps de parcours	77
4.1	Exigences attachées à la mesure ou à l'estimation des temps de parcours	78
4.1.1	Couverture spatiale	78
4.1.2	Finesse spatiale	79
4.1.3	Précision	79
4.1.4	Fidélité	80
4.1.5	Couverture temporelle	81
4.1.6	Fraîcheur	81
4.1.7	Disponibilité	82
4.1.8	Évolutivité	82
4.1.9	Cohérence	83
4.1.10	Coûts	83
4.2	Indicateurs, critères et moyens d'évaluation	83
4.2.1	Couverture spatiale	83
4.2.2	Finesse spatiale	84
4.2.3	Couverture temporelle	84
4.2.4	Fraîcheur	84
4.2.5	Disponibilité	85
4.2.6	Cohérence	85
4.2.7	Mise en œuvre	85
4.2.8	Évolutivité	86
4.2.9	Coût	87
4.2.10	Précision	87
4.2.11	Fidélité	87

5. Conclusion et perspectives	90
6. Liste des sigles	92
7. Bibliographie	94
8. Webographie	110

© Certu – 2008

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire
Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination : pôle programme et produits (Aude Bertholon)

Relecture : Hirondelle ☎06 07 80 20 37

Maquettage couverture : L. Matthieu ☎06 13 41 04 53

Photo de couverture : photomontage d'un panneau installé dans la ville de Cologne en Allemagne.

ISSN : 1263-3313

ISBN : 978-2-11-097163-0

Certu - Bureau de vente :

9 rue Juliette Récamier

69456 Lyon cedex 06 - France

☎ 04 72 74 59 59

Fax : 04 72 74 57 80

Téléchargeable gratuitement sur www.certu.fr/catalogue/

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections : débats, dossiers, rapports d'étude.

Les temps de parcours

Estimation, diffusion et approche multimodale

Les temps de parcours sont devenus, ces dernières années, un outil incontournable de l'information des usagers.

Apparu pour la première fois, en France, en 1994 sur le périphérique parisien, l'affichage des temps de parcours s'est étendu aux voies rapides urbaines et aux autoroutes, et est devenu progressivement indispensable pour le confort de conduite et la sécurité des usagers. D'un autre côté, cet affichage permet également aux exploitants routiers d'avoir une vision globale de la qualité d'écoulement du trafic sur leur réseau. Enfin, il constitue un bon outil d'évaluation des impacts des différents investissements routiers ou des modalités d'exploitation des infrastructures.

Répondant au besoin émergent du voyageur de disposer d'une information véritablement multimodale, le temps de parcours s'est aussi déployé dans l'environnement urbain. Il devient partie intégrante du choix du mode de transport par les usagers, et constitue ainsi un des outils structurants dans le développement des réseaux de transport.

Le présent guide, complémentaire du guide paru en 2002, s'adresse plus particulièrement aux collectivités territoriales, DIR, sociétés d'autoroutes et bureaux d'études. Il comprend quatre grandes parties :

- la première partie s'intéresse au temps de parcours des véhicules particuliers, et présente des fiches techniques simplifiées, relatant des expériences diverses ;
- la deuxième partie détaille la notion, assez récente, de temps de parcours multimodaux. C'est une des nouveautés importantes apportées par ce guide ;
- la troisième partie propose un descriptif des différentes étapes d'un projet d'information temps de parcours ;
- la quatrième partie donne plusieurs pistes pour l'évaluation de systèmes relatifs aux temps de parcours.

Cf. Summary of the content translated into English at the end of the work.

Versa la síntesis de la obra traducida al español al final del libro.