HAL
open science

Apports des systèmes d'information à l'exploitation des réseaux de voies rapides. Le cas du réseau d'Ile-de-France

Ming-Yu Zhang

To cite this version:

Ming-Yu Zhang. Apports des systèmes d'information à l'exploitation des réseaux de voies rapides. Le cas du réseau d'Ile-de-France. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995. Français. NNT : . tel-00529501

HAL Id: tel-00529501

https://pastel.hal.science/tel-00529501

Submitted on 26 Nov 2010

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

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

NS 18475 T1 (4)

NS 18 475. T.1
(4)

Thèse 95501

APPORTS DES SYSTÈMES D'INFORMATION A L'EXPLOITATION DES RESEAUX DE VOIES RAPIDES
– Le cas du réseau d'Ile-de-France

TOME 1

11 Janvier 1995

ZHANG Ming-Yu

THESE

réalisée au **LA**boratoire **T**echniques **T**erritoires et **S**ociétés
soutenue à l'École Nationale des Ponts et Chaussées à Noisy-le-Grand

pour l'obtention du Doctorat nouveau régime
Spécialité : TRANSPORT

sous la direction de Jean LATERRASSE

Membres du jury :

Jean-Marc BLOSSEVILLE	Directeur du Département Analyse et Régulation du Trafic de l'INRETS
Jean LATERRASSE	Directeur de Recherche au CNRS, Directeur de thèse
Marcel MIRAMOND	Professeur INSA de Lyon
Vincent MOTYKA	Directeur-Adjoint SIER
Michel SAVY (Président)	Professeur ENPC

E.N.P.C.
INV01249

REMERCIEMENTS

Ma reconnaissance s'adresse tout d'abord à Jean LATERRASSE, mon directeur de Thèse, qui est à l'origine de ce travail, et qui m'a consacré une partie précieuse de son temps. Sans son suivi attentif, sans ses conseils constructifs, cette thèse n'aurait pas pu être menée à son terme.

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à Vincent MOTYKA, Directeur-Adjoint du SIER (Service Interdépartemental d'Exploitation Routière), pour m'avoir accueilli au sein de son Service et fait bénéficier de sa compétence et de son expérience des problèmes de l'exploitation routière et toutes les facilités qu'il m'a octroyé et pour avoir accepté de participer au jury.

Je remercie très chaleureusement Jean-Marc BLOSSEVILLE, Directeur du Département Analyse et Régulation du Trafic à L'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leurs Sécurités), qui conjointement avec Jean LATERRASSE et Vincent MOTYKA a assuré la direction scientifique de ce travail, pour ses conseils et remarques déterminants et pour être le rapporteur de cette thèse et membre du jury.

Ma reconnaissance va également au Professeur Marcel MIRAMOND qui a bien voulu prendre le temps pour être le rapporteur de cette thèse et avoir accepté de participer au jury, et au Professeur Michel SAVY pour avoir bien voulu participer au jury de cette thèse.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à l'ensemble des membres du SIER pour l'accueil toujours amical lors de mes séjours au SIER, pour leurs informations et leurs conseils. Je tiens à remercier en particulier Jean-François HEYLLIARD pour avoir suivi ce travail avec grand intérêt.

Je remercie particulièrement Habib HADJ-SALEM, chercheur à l'INRETS pour ses conseils et ses remarques sur les modèles de simulation.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des membres du LATTS et de la Direction de la Recherche de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées pour leur soutien et leur conseils, et tout particulièrement : Jean-Marie BRABANT auprès de lui, j'ai trouvé une aide permanente, tant pour la rédaction de la thèse que pour le soutien moral.

Je remercie aussi la Direction de la Recherche du Ministère de l'Equipement (DRAST) qui m'a apporté un soutien financier pour une partie de ce travail.

Je tiens à adresser mes chaleureux remerciements à mes amis Philippe CRAMBERT et Christian DE CHAMPEAUX pour leur encouragement et pour leur lecture détaillée de ma Thèse.

Ma femme, Zhiyan ZHAO qui s'est engagée pleinement à mes côtés pendant ces quatre ans de thèse, partageant les moments de doutes et d'angoisses mais aussi les joies. Qu'elle en soit remerciée.

RESUME

La présente recherche pluridisciplinaire a pour objectif principal d'analyser et d'évaluer de nouvelles potentialités de l'amélioration du fonctionnement des réseaux de voies rapides (RVR) avec leur maillage progressif et en particulier avec le développement des systèmes d'information des usagers.

Cette recherche s'appuie principalement sur le cas concret du RVR d'Ile-de-France, représentatif par sa complexité structurelle et par les problèmes rencontrés lors de son exploitation et notamment ceux liés à la mise en oeuvre opérationnelle du système d'exploitation : SIRIUS. L'examen de l'approche d'exploitation de ce réseau révèle deux problèmes majeurs qui sont au coeur de l'amélioration du fonctionnement des RVR : celui du manque d'outils adaptés et celui de l'organisation des acteurs.

Partant de ces deux constats, notre recherche s'est focalisée sur deux axes :
- développement, analyse, validation et prospective des outils d'exploitation,
- analyse des aspects organisationnels et éléments de réflexion pour la définition de politiques d'exploitation.

Cette recherche a consacré beaucoup d'effort au développement des outils et à l'élaboration des procédures pour la maîtrise du recueil automatique des données (RAD). Un enseignement de notre travail est d'avoir montré que, pour les systèmes d'exploitation comme SIRIUS, il s'agit là d'un aspect essentiel. L'approche de la détection automatique des bouchons (DAB) développée permet leur détection systématique et quasi-instantanée, avec un taux de fausses alarmes raisonnable. L'application de cette approche de DAB devrait assurer une information fiable sur les encombrements. De manière générale, la maîtrise du RAD ouvre la voie à la prestation de différents niveaux de services dont l'impact en matière d'exploitation routière doit encore faire objet d'évaluations complémentaires.

Parallèlement, nous démontrons que cette maîtrise - et plus généralement, celle de l'exploitation des RVR - dépend des réponses apportées à certains problèmes d'organisation. Dans un contexte multi-acteurs, il est nécessaire de favoriser au maximum la coopération, mais il faut également tenir compte des exigences d'autonomie de chaque acteur pour améliorer les performances d'ensemble du système socio-technique d'exploitation des RVR. Des propositions concrètes, visant à une approche globale des problèmes d'exploitation des RVR, sont formulées en ce sens.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE 1

1. POSITION DU PROBLEME ET ENJEUX DE L'EXPLOITATION 1

1.1. Position du problème 1
1.2. Enjeux et missions de l'exploitation 6

2. LE RESEAU DE VOIES RAPIDES D'ILE-DE-FRANCE ET LE CADRE GENERAL DE LA RECHERCHE 7

2.1. Le RVR d'Ile-de-France 7
2.2. Le cadre général de la recherche 9

3. PRESENTATION DU PLAN DE LA THESE 11

3.1. Etat des lieux de l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines 11
3.2. Développement, analyse, validation et prospective des outils d'exploitation 12
3.3. Analyses des aspects organisationnels et éléments de réflexion pour la définition d'une politique d'exploitation 13

PREMIERE PARTIE : ETATS DES LIEUX DE L'EXPLOITATION DES RESEAUX DE VOIES RAPIDES (RVR) URBAINES ET PERIURBAINES

Chapitre I : EXPLOITATION DU RVR D'ILE-DE-FRANCE ET PROBLEMES RENCONTRES 15

I.1. HISTORIQUE DU RESEAU 15

I.1.1. Développement des grands axes radiaux et du boulevard périphérique de Paris 15
I.1.2. Maillage du réseau 17

I.2. FONCTIONNEMENT DU RESEAU 19

I.2.1. Trafic 19
I.2.2. Problème de sécurité 20
I.2.3. Problème de congestion 22

I.3. EXPLOITATION DU RESEAU 25

I.3.1. Contexte général 25
I.3.2. Politiques d'exploitation 27
I.3.3. Système d'exploitation : SIRIUS 28

I.4. PROBLEMES RENCONTRES 31

I.4.1. Problèmes relatifs aux outils d'exploitation 31
I.4.2. Problème d'organisation 32

Chapitre II : LES EXPERIENCES ETRANGERES 35

II.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE 35

II.1.1 : Objectif 35
II.1.2 : Méthode utilisée 35

II.2. L'APPROCHE AMERICAINE 36

II.2.1. L'exploitation des RVR aux Etats-Unis 36
II.2.2. Les caractéristiques de l'approche américaine 40
II.2.3. Analyse et réflexion 42

II.3. L'EXPERIENCE JAPONAISE 44

II.3.1. Présentation de l'expérience japonaise 44
II.3.2. Analyse et réflexion 47

II.4. LES EXPERIENCES EUROPEENNES 47

II.4.1. L'expérience allemande 48
II.4.2. L'expérience anglaise (Autoroute M25 à Londres) 48

II.5. ETAT DE L'ART DES STRATEGIES ET DES OUTILS 50

II.5.1. Les stratégies d'exploitation 50
II.5.2. Evaluation des outils existants 54

II.6. LES GRANDS PROGRAMMES INTERNATIONAUX 58

II.7. LES ENSEIGNEMENTS 59

II.7.1. Enseignements généraux 59
II.7.2. Enseignements concrets 62

Chapitre III : INVENTAIRE ET ANALYSE DES OUTILS DE SIMULATION 67

III.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE 67

III.2. INVENTAIRE DES OUTILS DE SIMULATION DU TRAFIC AUTOROUTIER EXISTANTS 68

III.2.1. Historique 68
III.2.2. Typologie des outils de simulation du trafic autoroutier existants 70
III.2.3. Inventaire des modèles dynamiques de trafic autoroutier existants 71

III.3. OBSTACLES A L'UTILISATION DES OUTILS DE SIMULATION DANS L'EXPLOITATION DES RVR 80

III.3.1. Les théories du trafic 80
III.3.2. Les données 81

III.3.3. Emergence de nouvelles contraintes sur les outils de simulation 82
III.3.4. Problème de communication 82

III.4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'APPLICATION 83

III.4.1. Conclusion 83
III.4.2. Perspective d'utilisation des outils de simulation dans l'exploitation du RVR d'Ile-de-France 85

DEUXIEME PARTIE : DEVELOPPEMENT, ANALYSE, VALIDATION ET PROSPECTIVE DES OUTILS D'EXPLOITATION

Chapitre IV : OUTILS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION DES DONNEES DE TRAFIC 89

IV.1. CONSIDERATION GENERALE 89

IV.1.1. Théorie macroscopique de trafic 89
IV.1.2. Données de trafic 93
IV.1.3. Recueil automatique de données (RAD) 93
IV.1.4. Données de trafic du système SIRIUS et leur utilisation 94
IV.1.5. Objectifs du chapitre 96

IV.2. ANALYSE DES MOYENS EXISTANTS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION DES DONNEES DE TRAFIC 97

IV.2.1. Moyens existants 97
IV.2.2. Analyse et réflexion 99

IV.3. PROPOSITION DE TROIS MOYENS DE VERIFICATION DES DONNEES 100

IV.3.1. Vérification par "POCHES" 100
IV.3.2. Vérification des données par tests de cohérence entre débit, taux d'occupation (TO) et vitesse 100
IV.3.3. Vérification des données par le double lissage exponentiel 102

IV.4. APPLICATION DES OUTILS DE VERIFICATION SUR LES DONNEES SIRIUS 104

IV.4.1 Choix du site et des données 104
IV.4.2. Programme POCHES et résultats de vérification par POCHES 105
IV.4.3. Vérification des données par des tests de cohérences Q-TO, Q-V et V-TO 108
IV.4.4. Vérification et remplacement des données aberrantes 112

IV.5. EVALUATION ET CONCLUSION 113

Chapitre V : CALIBRAGE DES PARAMETRES DU DIAGRAMME FONDAMENTAL 115

V.1. CONSIDERATION GENERALE 115

V.2. PRINCIPE ET ALGORITHMES DE CALIBRAGE 117

V.2.1. Paramètres à calibrer 117
V.2.2. Principe de calibrage 118
V.2.3. Algorithmes 119
V.2.4. Programmes informatiques de calibrage 121

V.3. APPLICATION SUR LE RESEAU SIRIUS 121

V.3.1. Site et données 121
V.3.2. Résultats et analyses 123

V.4. EVALUATION ET CONCLUSION 128

V.4.1. Evaluation 128
V.4.2. Conclusion 131

Chapitre VI : BOUCHONS ET DETECTION AUTOMATIQUE DES BOUCHONS (DAB) 133

VI.1. CONSIDERATIONS GENERALES 133

VI.1.1. Notions de bouchon 133
VI.1.2. La Détection Automatique des Bouchons (DAB) 135

VI.2. CRITERES DE FONCTIONNEMENT D'UN ALGORITHME DE DAB 135

VI.2.1. Taux de détection et nombre d'alarmes 135
VI.2.2. Fausse alarme et taux de fausses alarmes 136
VI.2.3. Retard de détection 136
VI.2.4. "Trous" dans les bouchons 136

VI.3. PRINCIPE DE LA DAB 137

VI.3.1. La composition de la DAB 137
VI.3.2. Principe de l'algorithme de la DAB 138
VI.3.3. Principe de déclenchement d'une alarme de bouchon 139

VI.4. CONSTRUCTION D'UNE DAB 140

VI.4.1. DAB voie par voie 140
VI.4.2. Règle de détermination de l'état du trafic d'une voie 141
VI.4.3. Règle de détermination de l'état du trafic en une station 141
VI.4.4. Lissage spatial 142

VI.5. APPLICATION AU RESEAU SIRIUS 143

VI.5.1. Site et données 143
VI.5.2. Algorithmes à tester et outil de simulation de fonctionnement de la DAB 144
VI.5.3. Résultats des tests 146
VI.5.4. Conclusion 158

VI.6. DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE BOUCHON ENTRE DEUX STATIONS TROP DISTANTES 159

VI.6.1. Problème à résoudre 159
VI.6.2. Proposition de deux méthodes de détermination 159

VI.6.3. Application de ces deux méthodes sur le réseau SIRIUS..... 163
VI.6.4. Evaluation et conclusion..... 169

Chapitre VII : APPLICATION DU MODELE DE SIMULATION : META..... 171

VII.1. PRESENTATION DU MODELE META ET ANALYSE DES RESULTATS PRECEDENTS DE SIMULATION 171

VII.1.1. Présentation du modèle META 171
VII.1.2. Analyse de la performance du modèle META d'après ces études déjà réalisées 174

VII.2. RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES AVEC LE MODELE META 177

VII.2.1. Les données dynamiques manquantes et leurs reconstitutions 177
VII.2.2. Reconstitution des données manquantes avec META..... 177

VII.3. ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS 181

VII.3.1. Analyse des résultats statiques de simulation (heure par heure) 181
VII.3.2. Analyse des résultats dynamiques de simulation (intervalle court: 1mn)..... 182
VII.3.3. Discussion..... 183

APPORTS ET ENSEIGNEMENTS DE LA DEUXIEME PARTIE 185

TROISIEME PARTIE : ANALYSE DES ASPECTS ORGANISATIONNELS ET ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA DEFINITION DE POLITIQUES D'EXPLOITATION

Chapitre VIII : L'ORGANISATION INTERNE DU SIER..... 195

VIII.1. ORGANISATION DU SIER ET SON EVOLUTION 196

VIII.1.1. Organisation du SIER depuis sa création 196
VIII.1.2. La Définition d'une nouvelle organisation 202

VIII.2. PROBLEMES DE LA MAINTENANCE ET DES MOYENS HUMAINS..... 209

VIII.2.1. Enjeu de la maintenance 209
VIII.2.2. Approche méthodologique 209

VIII.3. PROBLEMES DE LA MAITRISE DU RECUEIL AUTOMATIQUE DE DONNEES (RAD) 211

VIII.3.1. Enjeu du RAD et défi pour le SIER..... 211
VIII.3.2. Difficultés dans la maîtrise du RAD 212

VIII.4. PROPOSITIONS POUR LA MAITRISE DU RAD..... 214

VIII.4.1. Mettre en place une base de données statistiques (avec des tests) 215
VIII.4.2. Intégrer des tests de données dans le système informatique de SIRIUS 218
VIII.4.3. Organisation des services du SIER pour la maintenance du RAD 221

VIII.5. CONCLUSION DU CHAPITRE 233

Chapitre IX : L'ORGANISATION DU SYSTEME D'ACTEURS 237

IX.1. ANALYSE DE L'ORGANISATION ACTUELLE DU SYSTEME D'ACTEURS 237

IX.1.1. Les partenaires et leurs missions 237
IX.1.2. La situation actuelle de l'organisation du système d'acteurs 240
IX.1.3. Les problèmes existants 241

IX.2. COOPERATION ENTRE LE SIER ET LA VILLE DE PARIS 244

IX.2.1. Echange d'information 244
IX.2.2. Politique commune d'information pour les usagers 246
IX.2.3. Stratégie de régulation 247

IX.3. COORDINATION DES CHANTIERS 248

IX.3.1. Coordination des chantiers par le SIER 248
IX.3.2. Simulation des chantiers 250

IX.4. GESTION DES INCIDENTS 251

IX.4.1. Organisation 252
IX.4.2. Amélioration de la gestion des incidents par l'utilisation de l'outil de simulation 253
IX.4.3. L'exploitation sous accident 258

IX.5. CONCLUSION 262

Chapitre X : UTILISATION DES PMV ET COMMUNICATION AVEC LES USAGERS 267

X.1. CADRE GENERAL D'UTILISATION DES PMV 267

X.1.1. Les PMV et l'exploitation des RVR 267
X.1.2. L'usager face à l'information dynamique délivrée par des PMV 268
X.1.3. Stratégies d'information par PMV 270
X.1.4. Les problèmes de vocabulaires 274

X.2. UTILISATION DES PMV EN EXPLOITATION DU RVR D'ILE-DE-RANCE ET PREMIERS ENSEIGNEMENTS 278

X. 2.1. Politique d'utilisation des PMV 278
X.2.2 Résultats sur les comportements des automobilistes et l'efficacité du SIRIUS. 280
X.2.3 Enseignements tirés 282

X.3. QUELLES INFORMATIONS POUR LES USAGERS ? 284

X.4. LA COMMUNICATION AVEC LES USAGERS 286

X.4.1. Pourquoi faut-il communiquer avec les usagers? 286
X.4.2. Les actions de communications entreprises 287
X.4.3. Comment rendre les usagers plus coopératifs? 288

Chapitre XI : ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA DEFINITION DE POLITIQUES D'EXPLOITATION DES RVR 291

XI.1. CONSTATS SUR LE CONTEXTE ACTUEL 291

XI.1.1. Une démarche pragmatique et empirique 291
XI.1.2. Cette démarche pragmatique doit associer une activité de recherche active 292

XI.2. REFLEXION RELATIVE A LA POLITIQUE D'INFORMATION 294

XI.2.1. La politique d'information dynamique par PMV 294
XI.2.2. Politique d'information individualisée : systèmes embarqués 296
XI.2.3. Améliorer l'efficacité de l'exploitation par une diffusion d'information qui agit sur la demande 299

XI.3. INTEGRER LA POLITIQUE DE CONTRÔLE D'ACCES DANS LE SYSTEME SIRIUS 299

XI.3.1. Potentialité d'amélioration des conditions de circulations par le contrôle d'accès 299
XI.3.2. Objectifs de la politique de contrôle d'accès 300
XI.3.3. Stratégies de contrôle d'accès 301

XI.4. REFLEXION RELATIVE A L'ORGANISATION DE L'EXPLOITATION 302

XI.4.1. Faire évoluer l'organisation existante 302
XI.4.2. Intégration de l'exploitation du RVR avec celle des réseaux associés (opération "corridors") 304

XI.5. LE PROBLEME DU PEAGE 306

CONCLUSION GENERALE 309

1. Emergence de l'exploitation des réseaux de voies rapides urbaines et périurbaines 309

2. Contribution de notre recherche 310

3. Perspectives et besoin de recherche 314

GLOSSAIRE 317

BIBLIOGRAPHIE 321

ANNEXES (voir TOME 2)

INTRODUCTION GENERALE

1. POSITION DU PROBLEME ET ENJEUX DE L'EXPLOITATION

1.1. Position du problème

- **Réseaux de voies rapides (RVR) : un capital d'équipement à exploiter**

Depuis les années 60, d'importants investissements ont été réalisés pour la construction de nouvelles infrastructures routières dans les pays les plus industrialisés. Parmi ces infrastructures mises en service progressivement, on voit naître, se développer et mailler des RVR urbaines et périurbaines dans les grandes agglomérations telles que notamment Paris, Lyon, Tokyo, New York, Londres... Ces réseaux sont planifiés pour satisfaire ou faciliter les déplacements des personnes et des biens à l'intérieur des grandes métropoles, pour maintenir et promouvoir les fonctions de ces agglomérations et pour assurer des liaisons rapides avec les autres grandes métropoles adjacentes.

Parmi ces réseaux, citons celui d'autoroutes métropolitaines de Tokyo et le RVR d'Ile-de-France qui ont connu un développement extraordinaire. Le premier passe de 4.5 km en 1962 à 260 km en 1990. Le deuxième comprend près de 500 km de voies rapides en 1993 sachant qu'il n'en possédait que 29.5 km en 1960.

Dans l'histoire du développement de ces réseaux, non seulement leurs quantités ont fortement augmenté, mais leurs structures ont beaucoup évolué. On peut résumer le développement de ces réseaux en deux étapes. La première est marquée par la formation des voies radiales et circulaires sans maillage. La deuxième se caractérise par le maillage progressif avec la construction des rocades. Ainsi, on voit apparaître de nouvelles rocades à 10, 20 et 40 km du centre des agglomérations. Ces rocades permettent non seulement de satisfaire convenablement des déplacements mal assurés par le passé (de banlieue à banlieue), mais modifient aussi fondamentalement la structure de ces réseaux et donc leurs exploitations.

Pourtant il faut garder présent à l'esprit que le maillage entraîne un double effet pour l'exploitation de ces réseaux. D'une part, il offre la possibilité d'avoir plusieurs itinéraires pour une paire d'origine et de destination données. Ainsi, les exploitants de ces réseaux peuvent faire l'affectation du trafic en temps réel selon la charge des réseaux. Avec le maillage, l'automobiliste peut modifier son itinéraire pour atteindre une même destination tout en restant sur les voies rapides. D'autre part, le maillage de réseau rend complexe son exploitation car il y a dépendance des trafics d'une section d'autoroute sur une autre.

Aujourd'hui et durablement, ces voies rapides urbaines et périurbaines représentent un capital d'équipement considérable dont la bonne utilisation recouvre des enjeux économiques et sociaux importants. La bonne utilisation de ces réseaux nécessite des réflexions profondes sur le plan politique, technique et organisationnel d'exploitation.

- **Fonctionnement de ces réseaux**

A : Le trafic

Ces RVR connaissent un très fort accroissement de demande de trafic et à une modification des flux de circulation. Cette augmentation de la demande de déplacement se traduit par une augmentation du volume de circulation, par un allongement de la durée des pointes du matin et du soir et par une densification du trafic durant les heures creuses.

Par exemple, le débit journalier du trafic sur des autoroutes métropolitaines de Tokyo est passé de 13 000 véhicules en 1962 à 1 108 000 véhicules en 1990, soit 87 fois plus. Pour le RVR d'Ile-de-France, selon les statistiques de la DREIF[1], le volume des déplacements croit à un rythme annuel supérieur à 6% durant la période de 1975 à 1985. Cette croissance s'accélère plus vite sur les RVR que sur les routes nationales (3%). Aujourd'hui, on estime que 3 millions de véhicules empruntent quotidiennement ce réseau. Sur le boulevard périphérique (BP) de Paris, les débits sont presque constants de 7h à 21h. Selon les prévisions de la DREIF, dans quelques années, toutes les voies rapides situées à moins de 10 km des portes de Paris auront un fonctionnement analogue au BP.

Malgré le développement de ces réseaux, la demande de déplacement est toujours nettement supérieure à l'offre. Le résultat est que, malgré l'importance des

[1]DREIF: Direction Régionale de l'Equipement d'Ile-de-France.

investissements consentis, les conditions de circulation tendent plutôt à se dégrader qu'à s'améliorer.

B : Les encombrements

La croissance continue du trafic conduit à des perturbations plus nombreuses et plus graves. La congestion périodique et aléatoire du trafic est un phénomène bien connu dans ces RVR urbaines et périurbaines. Les encombrements atteignent tous un niveau très préoccupant. Par exemple, de 1974 à 1986, les encombrements recensés sur les voies rapides d'Ile-de-France ont augmenté de 600%, soit une progression annuelle de 16% [DREIF, 1988]. Ce qui est plus inquiétant c'est que ces encombrements ne cessent d'augmenter. Selon la projection de l'évolution de la circulation dans les années à venir, on devrait assister, s'il n'y avait pas de nouvelles mesures d'exploitation, à une dégradation du fonctionnement de ce réseau. D'après U.S. Federal Highway Administration, en prenant les conditions de trafic de 1989 comme base et jusqu'à l'an 2005, la congestion sur les autoroutes urbaines américaines augmenterait de plus de 400%.

Les causes d'encombrements sur ces RVR sont principalement la capacité insuffisante des réseaux et le nombre important d'incidents (accidents, véhicules en panne, travaux etc.) La répartition d'encombrements entre les bouchons récurrents et non récurrents varie selon les pays. Par exemple, selon l'étude de 1986 faite par U.S. Federal Highway Administration, 60% des encombrements avaient pour origine des incidents. Par contre, les statistiques de la DREIF montrent qu'en 1983, 40% des encombrements sur le RVR d'Ile-de-France étaient liés aux incidents.

C : Les accidents

Deux types d'accidents se distinguent sur les RVR :

- En régime fluide, généralement de nuit : accidents dus à des vitesses excessives ou en état d'ébriété du conducteur, souvent mortels;
- En régime saturé, chocs de queue de bouchon ou accidents dus à des circulations en accordéon

Selon l'évaluation de SIRIUS[2] faite en 1993 par le SIER[3], les chocs en queue de bouchon ou dans les circulations en accordéon étaient responsables d'environ 10% des

[2]SIRIUS : Système Intégré de Régulation et d'Information des Usagers ou Système d'Information pour un Réseau Intelligible aux Usagers.

accidents corporels sur le RVR d'Ile-de-France. A notre avis, une bonne exploitation peut permettre de diminuer ce type d'accidents dans la mesure où l'annonce d'un bouchon permet au conducteur averti de s'y préparer en ralentissant.

En dehors d'un aspect purement sécuritaire, les accidents sont fortement générateurs d'encombrements, en particulier lorsqu'ils ont lieu durant une période de saturation du trafic. Les statistiques de 1983 sur le RVR d'Ile-de-France montrent que 32% des encombrements étaient dus à des accidents.

D : Les conséquences

La congestion s'accompagne d'une dégradation importante des performances du réseau due aux phénomènes de remontées de queues de bouchons pouvant aller jusqu'au blocage de certains noeuds névralgiques. Si rien n'est fait pour gérer cette évolution, l'asphyxie au moins partielle des RVR est, à plus ou moins court terme, inévitable.

Cette situation peut-elle s'améliorer? Que peut-on faire pour mieux gérer le fonctionnement des RVR urbaines et périurbaines? Ce genre de questions a attiré, depuis quelque années, l'attention des pouvoirs publics, des organismes gouvernementaux, des ingénieurs du trafic et surtout des exploitants de réseau. En France, des réflexions sont en cours pour améliorer le fonctionnement de ces réseaux et pour améliorer les services rendus aux usagers de la route.

Pour maîtriser ces phénomènes d'encombrements et le dysfonctionnement des RVR et pour éviter le risque d'asphyxie de ces RVR urbaines et périurbaines, des solutions sont recherchées dans le domaine de l'exploitation, de façon à optimiser l'utilisation des réseaux existants. Avec le maillage progressif des RVR, le développement de nouvelles stratégies d'exploitation, permettant d'envisager l'amélioration des conditions de circulation sur des RVR urbaines et périurbaines, semble devenir désormais possible.

Analyser ces nouvelles potentialités, les évaluer est au centre de ce travail de recherche.

- **Problème spécifique de l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines**

Ces RVR urbaines et périurbaines ont des caractéristiques spécifiques par rapport aux réseaux classiques urbains et aux autoroutes de liaisons tant au niveau des structures

[3]SIER : Service Interdépartemental d'Exploitation Routière.

des réseaux qu'au niveau du trafic supporté. Les RVR portent beaucoup plus de noeuds d'échanges que les autoroutes de liaison et le niveau de maillage d'un RVR n'est pas comparable à celui d'un réseau classique urbain. En quelque sorte, on peut dire que les voies rapides urbaines et périurbaines constituent une catégorie intermédiaire entre les autoroutes de liaison et la voirie traditionnelle urbaine.

Au vu des caractéristiques spécifiques des RVR urbaines et périurbaines, l'exploitation de ce genre de réseaux nécessite des mesures, des outils spécifiques et adaptés. Pourtant, on constate un manque d'outils pour aider les exploitants à atteindre l'objectif opérationnel qu'est l'optimisation de la répartition du trafic dans l'espace et dans le temps selon les circonstances du trafic.

En réalité, l'ingénierie du trafic s'intéresse depuis longtemps, tant au niveau théorique qu'au niveau pratique à l'exploitation et à la gestion du trafic sur les réseaux classiques urbains et les réseaux autoroutiers. Mais l'exploitation de ces RVR est une activité relativement récente. On a encore relativement peu de connaissances et d'expériences malgré les efforts entrepris depuis quelques années. Ces efforts plutôt opérationnels se traduisent notamment par le développement de systèmes modernes d'exploitation, en particulier les systèmes d'information en temps réel.

Dans ce contexte, une réflexion globale est indispensable pour accompagner ces efforts effectués ou en cours. D'ailleurs, on constate que le champ de la recherche est à peine ouvert et que des progrès théoriques et pratiques importants sont nécessaires pour guider les activités d'exploitation. L'examen des expériences acquises et des nouvelles technologies montre qu'un potentiel énorme existe tant pour le développement d'une politique globale que pour des stratégies intégrées de gestion dynamique de la circulation sur les réseaux considérés

Toutefois, tout ceci renvoie à un autre problème, qui les conditionne largement : celui de la mise en place de nouvelles organisations d'exploitation. Il est certain, en particulier, que la mise en place des techniques modernes de gestion dynamique du trafic sur ces RVR ne se fera pas avec une organisation inchangée: l'utilisation rationnelle des réseaux et la maîtrise des nouvelles technologies implique l'évolution des organisations existantes. Réfléchir sur cette évolution, s'efforcer de la qualifier fait pour nous partie intégrante des efforts à conduire pour définir de nouvelles stratégies d'exploitation.

De ce qui précède, plusieurs types de questions se posent: Quels sont les outils et les techniques adaptés à l'exploitation et à la gestion du trafic sur ces réseaux?

Quels progrès faudrait-il faire aux niveaux théorique et pratique pour augmenter l'efficacité des réseaux existants et pour améliorer la sécurité, la fluidité et le confort de la conduite? Concrètement, quel système d'acteurs doit être mis en place pour conduire les nouvelles politiques et stratégies d'exploitation, pour maîtriser les nouvelles technologies et pour utiliser au mieux les RVR existants? Autant de questions difficiles qui se posent et auxquelles cette thèse essaie d'apporter quelques réponses.

En bref, l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines comporte non seulement des enjeux économiques et sociaux importants, mais elle soulève en même temps des défis technologiques et organisationnels. L'intérêt des recherches sur l'exploitation et la gestion du trafic de ces reseaux se manifeste clairement compte tenu de l'état actuel des choses et compte tenu des attentes des exploitants. C'est la raison pour laquelle nous allons préciser ici ces enjeux et ces attentes.

1.2. Enjeux et missions de l'exploitation

A : Enjeux de l'exploitation des RVR

Les encombrements sur ces reseaux perturbent considérablement la vie quotidienne des usagers et ont des consequences particulièrement néfastes sur l'environnement, la consommation d'énergie, la securite et l'économie. D'un côté la demande croît sans cesse, alors que de l'autre il apparait de plus en plus difficile et onéreux de satisfaire la demande par la construction de nouvelles infrastructures, du fait de multiples contraintes.

Sans être une solution miracle aux difficultés de circulation qui réclament une solution globale impliquant organisation des déplacements et urbanisme, une exploitation bien organisée peut assurer une meilleure utilisation du réseau existant, maintenant un bon niveau de service[4], limitant les temps perdus dans la congestion, le bruit, la pollution et la consommation d'energie

La mission des exploitants de réseaux apparaît désormais être d' "utiliser au mieux les réseaux existants pour assurer sur tous les axes, par tous temps, en toutes situations

[4]Par "niveau de service", on peut entendre aussi bien ce qui relève de la technique routière (tracé, revêtement, aménagement etc) que de l'exploitation de la route (service, information, entretien etc.). Le niveau de service est une mesure qualitative des effets d'un grand nombre de facteurs, parmi lesquels figurent la vitesse et le temps de trajet, les interruptions de trafic, la sécurité, le confort , la commodité de conduite.

un écoulement de trafic sûr, régulier sinon fluide, confortable, optimisé" [BESNARD, 1986]. L'activité d'exploitation relève de plus en plus de la gestion des réseaux et des systèmes complexes. Il s'agit en somme de gérer en temps réel un ensemble complexe de facteurs multiples et divers, qui évoluent constamment dans le temps et dans l'espace et interagissent les uns sur les autres. Les systèmes d'exploitation et de gestion du trafic sont appelés à jouer un rôle déterminant pour le bon fonctionnement de ces réseaux.

B : Missions de l'exploitation

L'exploitation de la route comporte trois groupes de missions essentielles [DSCR, 1] :

- **Le maintien de la viabilité**, c'est l'ensemble des interventions sur le terrain destinées, en cas de perturbations, à maintenir ou à rétablir les conditions d'utilisation les plus proches de l'objectif défini pour chaque voie.

- **La gestion du trafic**, c'est l'ensemble des dispositions destinées à répartir les flux de circulation dans le temps ou dans l'espace, afin d'éviter l'apparition des perturbations ou au moins de les atténuer.

- **L'aide au déplacement**, c'est l'ensemble des dispositions destinées à améliorer le confort et la sécurité des usagers de la route, notamment par la diffusion d'informations prévisionnelles ou factuelles sur les conditions de circulation, mais aussi par l'organisation de service tels que le dépannage.

2. LE RESEAU DE VOIES RAPIDES D'ILE-DE-FRANCE ET LE CADRE GENERAL DE LA RECHERCHE

2.1. Le RVR d'Ile-de-France

Les analyses ci-dessus mentionnées montrent les défis de l'exploitation de ces RVR. En fait, l'exploitation de ces réseaux relève de la compétence de plusieurs services dépendant souvent de plusieurs Ministères. Selon les pays, les acteurs concernés sont plus ou moins nombreux. Toutefois, tous ces réseaux rencontrent des difficultés similaires d'organisation de l'exploitation. L'organisation actuelle est inadaptée à l'évolution des réseaux et à des systèmes complexes d'exploitation. La situation du RVR d'Ile-de-France semble être représentative en la matière. On va concrétiser le problème du système d'acteurs au travers de cet exemple.

Ce site, composé de cinq grands corridors autoroutiers radiaux reliés entre eux par trois niveaux de rocades (voir schéma de la Fig.1.2), forme un véritable réseau maillé radioconcentrique d'une longueur de 500 km. Pour aller d'un point à un autre, les automobilistes ont le choix entre plusieurs itinéraires. L'exploitation des possibilités offertes par le maillage repose essentiellement sur un système d'exploitation appelé SIRIUS, infrastructure d'information destinée à suivre en temps réel des conditions de circulation et à terme, à informer les usagers en leur permettant de choisir à chaque instant le meilleur itinéraire. SIRIUS fait largement appel aux nouvelles technologies notamment dans le domaine des télécommunications et dans le domaine de l'informatique.

L'importance et la specificité de ce réseau, qui s'étend sur Paris et huit départements et qui concerne différents acteurs (DREIF, DDE[5], forces de police, collectivités locales, la Ville de Paris...), ont rendu indispensable la création, en 1988, du Service Interdépartemental d'Exploitation Routière (SIER) pour assurer la responsabilité de la gestion du trafic. A partir de cette date, la gestion du trafic sur ce réseau a fait l'objet d'une unité de réflexion et de commandement qui transgresse les traditionnelles limites des départements [DURAND-RAUCHER, 1990], à l'exception notable toutefois du Boulevard Périphérique, toujours géré par la Ville de Paris. Au vu de ses missions, le SIER constitue donc l'acteur central de l'exploitation de ce RVR. Le SIER et les autres acteurs concernés forment ainsi le système d'acteurs de ce réseau.

Deux problèmes majeurs résident néanmoins dans ce système d'acteurs:

- L'organisation interne de l'acteur central (SIER);
- L'articulation et la coordination de tous les acteurs concernés.

Dans le cadre de sa mission principale que constitue l'exploitation du RVR d'Ile-de-France (sauf BP), l'action essentielle du SIER a résidé dans la conception, la réalisation et la mise en oeuvre de l'ensemble des équipements et des systèmes de gestion du trafic et notamment du système SIRIUS. C'est pourquoi, il est nécessaire de construire un schéma organisationnel novateur à la fois opérationnel et fortement évolutif. Sa structure devra s'adapter à des contraintes opérationnelles fortes tout en offrant un puissant potentiel d'études.

En ce qui concerne le système d'acteurs, aucune coordination globale n'existait. Les relations sont plus ou moins étroites entre les acteurs. Ainsi, les DDE, qui avant la

[5]DDE: Direction Départementale de l'Equipement.

création du SIER, exploitaient chacune leur portion de réseau, ont parfois encore quelques difficultés à reconnaître l'existence du SIER. Autre exemple: pour harmoniser les actions et faciliter la circulation des informations, la salle de commande des PC[6] autoroutiers est commune au SIER et aux forces de police (C.R.S.) chargées de gérer les incidents et de surveiller la circulation. Par contre, comme déjà noté, l'exploitation du BP (géré par la Ville de Paris) et celle du reste du réseau (géré par le SIER) sont indépendantes. A vrai dire, le système d'acteurs actuel ne constitue pas un système harmonieux.

La mise en place du système SIRIUS permet une évolution de l'organisation des acteurs en même temps, nous le verrons, qu'il en renforce la nécessité. Un effort théorique est nécessaire pour analyser convenablement la complexité des liens qui s'établissent entre ces acteurs. Il faut dépasser les limites et les contraintes institutionnelles. En clair, la question qui se pose est de rechercher de nouveaux principes d'organisation pour mieux articuler et coordonner l'ensemble des acteurs concernés.

2.2. Le cadre général de la recherche

L'exploitation des RVR, qui s'est longtemps limitée à l'entretien des routes, a donc connu ces dernières années, un essor qualitatif important dû à l'introduction d'équipements intégrant les progrès des technologies nouvelles, en particulier de l'électronique et de l'informatique. Si notre recherche s'appuie principalement sur le site des voies rapides d'Ile-de-France qui est actuellement l'un des sites les plus avancés et les plus complets, à la fois de par l'importance du réseau équipé et de par la cohérence des équipements, nous nous efforcerons également d'intégrer dans notre réflexion les apports d'expériences étrangères.

La situation mondiale des pratiques d'exploitation actuelles est assez disparate pour des raisons politique et financière. Une démarche pragmatique domine au fur et à mesure des mises au point des techniques d'exploitation. Les principales actions d'exploitation sont :

- l'observation et la surveillance de la circulation,
- la détection et le traitement des incidents,
- l'information aux usagers,
- la régulation du trafic.

---

[6]PC : Poste de Commandement.

Les exploitants effectuent ces actions à l'aide de systèmes d'exploitation plus ou moins sophistiqués.

La surveillance du trafic est située au centre de l'exploitation et de la gestion du trafic. Les exploitants disposent de moniteurs de télévision reliés aux systèmes de caméras de surveillance. Ils ont à leur disposition des synoptiques animés par le recueil automatique de données (RAD). Ainsi, ces deux outils leur permettent d'avoir instantanément une vision directe sur l'état du trafic. En raison principale de leur coût, les caméras ne sont généralement installées qu'aux points stratégiques.

L'information en temps réel est de plus en plus utilisée comme un moyen privilégié d'exploitation. Les systèmes d'information peuvent être dotés de deux techniques : information par radio et information par PMV[7]. Toutefois, la stratégie utilisée reste essentiellement informative et laisse les automobilistes libres de faire leurs choix en fonction des informations reçues en temps réel.

Une méthode de régulation souvent utilisée sur ces RVR, mais peu pratiquée en France, est le contrôle d'accès. Selon les pays, les stratégies de contrôle d'accès diffèrent. Dans la pratique, le contrôle d'accès simple est largement répandu; mais il arrive que soit mise en oeuvre la stratégie de la fermeture des accès d'une demi heure (par exemple au Japon) à des moments fixes de la journée portés à la connaissance des usagers.

En outre, la tarification de l'utilisation des RVR vient compléter les dispositifs ci-dessus présentés. C'est le cas des autoroutes métropolitaines de Tokyo où le péage a été instauré pour l'ensemble du réseau. En fait, le péage urbain constitue aussi un moyen de régulation du trafic, encore que le problème de son action réelle sur la demande reste posé.

Depuis une dizaine années, de nombreux systèmes d'exploitation et de gestion du trafic sur les RVR ont été par ailleurs développés ou sont en passe de l'être. Ces systèmes sont conçus et exploités indépendamment les uns des autres.

Sur le plan opérationnel, la plupart de ces systèmes existants n'ont pas intégré toutes les techniques d'exploitation. En fait, l'intégration en systèmes des technologies en est encore à ses débuts et bien des problèmes posés par leur utilisation optimale, problèmes sur lesquels porte le présent travail, restent encore à résoudre.

[7]PMV : Panneaux à Messages Variables.

3. PRESENTATION DU PLAN DE LA THESE

Les analyses que nous venons d'évoquer montrent que l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines pose actuellement des problèmes de tous ordres et notamment ceux de l'utilisation optimale des opportunités offertes par le maillage des réseaux, l'information des usagers, la détection et le traitement rapide des accidents et en particulier l'organisation de l'exploitation. Une recherche pluridisciplinaire semble nécessaire, compte tenu de la diversité des problèmes à traiter. C'est une telle recherche que constitue notre approche des problèmes de l'exploitation de ces réseaux. Elle s'articule autour des trois thèmes suivants, qui constituent les trois parties du présent mémoire :

- Etat des lieux de l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines;
- Développement, analyse, validation et prospective des outils d'exploitation;
- Analyse des aspects organisationnels et éléments de réflexion pour la définition de politiques d'exploitation des RVR.

3.1. Etat des lieux de l'exploitation des RVR urbaines et périurbaines

Dans cette première partie, nous dressons un état de l'art du savoir et du savoir-faire dans l'exploitation de ces RVR afin de pouvoir dégager les approches, les techniques et les outils directement utiles et efficaces. L'analyse précédente a montré que l'amélioration du fonctionnement de ces RVR necessite des outils performants. Il apparaît opportun de faire un état de l'art des outils de simulation existants et d'en tirer ceux qui sont susceptibles d'être efficaces pour aider les exploitants à améliorer le fonctionnement de ces RVR.

Ces RVR se développent dans les grandes agglomérations des pays les plus industrialisés. L'idée est donc venue de regarder l'approche que chaque pays a adoptée pour exploiter ses RVR Cette vision à l'échelle mondiale permet d'intégrer les données sur les expériences étrangères en cette matière. Le but est de pouvoir dégager des enseignements riches et globaux afin de mieux orienter la politique, la stratégie et le choix des techniques d'exploitation

Le cas du RVR d'Ile-de-France constitue un élément important de cet état des lieux. Au travers de l'évolution de ce réseau, de son système d'exploitation (SIRIUS) et de l'organisation des acteurs, on aborde les problèmes rencontrés dans l'exploitation.

Concrètement, cette partie se divise en trois chapitres :

- Exploitation du RVR d'Ile-de-France et problèmes rencontrés,
- Expériences étrangères d'exploitation des RVR urbaines et périurbaines,
- Inventaire et analyse des outils de simulation.

3.2. Développement, analyse, validation et prospective des outils d'exploitation

La fiabilité des données est primordiale pour un bon fonctionnement du système complexe d'exploitation comme SIRIUS. Le système de recueil automatique des données sujet à de multiples contraintes ne donne pas toujours des données satisfaisantes. Or, l'exploitant ne possède pas de moyens efficaces pour identifier les données non fiables. Dans cette seconde partie, nous proposons trois moyens simples de vérification et de validation des données

Le diagramme fondamental est la représentation d'une loi expérimentale qui régit les relations entre les trois principales variables macroscopiques du trafic (débit, TO[8] et vitesse) et qui est de plus en plus utilise dans l'exploitation des RVR comme un moyen d'investigation en temps reel Dans ce contexte, il faut pouvoir déterminer rapidement un diagramme fondamental pour une section d'autoroute donnée. On est amené à réfléchir, à chercher et à mettre a jour un moyen pertinent et rapide de calibrage des paramètres du diagramme fondamental

Dans l'exploitation des RVR, une des difficultés est la détection automatique de bouchons (DAB) Au vu des caractéristiques aléatoires et mobiles des bouchons, la localisation des bouchons est une tâche délicate. Jusqu'à présent, il n'y a pas d'outil permettant la localisation precise des queues de bouchons. Pourtant, il est important pour le système d'information en temps réel des usagers par Panneaux à Messages Variables (PMV) d'afficher la position et la longueur exacte des bouchons. Dans notre recherche, nous présentons une approche de DAB et deux méthodes de localisation des queues de bouchon

[8]TO : taux d'occupation Cette variable macroscopique de trafic est aujourd'hui très couramment employée dans le domaine de l'exploitation routière.

Le recours à la simulation est indispensable pour les exploitants dans leurs tâches opérationnelle et fonctionnelle d'exploitation. Mais, dans le système informatique de SIRIUS, la fonction de simulation est absente. L'application d'un modèle de simulation dans l'exploitation du RVR fait également partie de notre recherche. Nous avons étudié la possibilité d'application du modèle META, modèle développé pour l'exploitation des autoroutes de liaison, dans les activités d'exploitation en temps réel et en temps différé d'un RVR.

Cette deuxième partie s'articule autour de quatre chapitres :

- Outils de vérification et de validation des données de trafic,
- Calibrage des paramètres du diagramme fondamental,
- Bouchons et détection automatique des bouchons (DAB),
- Application du modèle de simulation META.

3.3. Analyses des aspects organisationnels et éléments de réflexion pour la définition de politiques d'exploitation des RVR

Cette troisième partie traite des problèmes d'organisation : organisation interne d'un service d'exploitation tel le SIER et organisation du système d'acteurs intervenant dans l'exploitation d'un RVR. La réflexion portant sur l'organisation du SIER s'articule autour de la recherche de la synergie et de la rationalité entre les différentes unités du service permettant son adaptation à l'exploitation de ce site expérimental en vraie grandeur. L'organisation du système d'acteurs consiste à analyser la nécessaire évolution des relations entre les différents acteurs concernés et à coordonner leurs actions, selon des procédures que nous nous efforçons de préciser.

Face à la difficulté de circulation sur un RVR, et avec l'opportunité offerte par le maillage et les nouvelles techniques d'exploitation, il est indispensable de mettre en place une politique d'exploitation tenant compte de tous les paramètres (expériences étrangères, conditions technologiques, organisationnelles, maillage du réseau et comportement des usagers, nouvelle organisation d'exploitation etc.). Cette politique d'exploitation doit être intégrée dans une politique globale de déplacement à l'échelle régionale, et des éléments de réflexion sont de ce point de vue proposés au terme de ce travail.

Cette troisième partie comprend quatre chapitres :

- L'organisation interne d'un service d'exploitation,
- L'organisation du système d'acteurs,
- L'utilisation des PMV et la communication avec les usagers,
- Les éléments de réflexion pour la définition de politiques d'exploitation des RVR.

Première Partie

Etats des lieux de l'exploitation des réseaux de voies rapides (RVR) urbaines et périurbaines

Chapitre I :

EXPLOITATION DU RVR D'ILE-DE-FRANCE ET PROBLEMES RENCONTRES

Notre approche de l'exploitation des RVR s'appuie sur le cas concret du RVR d'Ile-de-France. Cet exemple est représentatif par sa complexité structurelle et son exploitation. Ce chapitre a pour objet de mettre en lumière les principaux problèmes rencontrés dans son exploitation. Néanmoins, il s'avère nécessaire de présenter l'histoire du développement du réseau, son fonctionnement et son exploitation afin de mieux identifier les problèmes rencontrés dans son exploitation[1].

I.1. HISTORIQUE DU RESEAU

Le RVR d'Ile-de-France s'est progressivement développé depuis les années 60 et les schémas de la Fig. 1.1 illustrent les principales étapes de son développement. En gros, on peut résumer le développement de ce réseau en deux étapes principales : une étape de construction des grands axes radiaux et du Boulevard Périphérique (BP) de Paris et une étape de maillage avec la construction progressive de deux niveaux de rocades supplémentaires

I.1.1. Développement des grands axes radiaux et du boulevard périphérique de Paris

Le développement du réseau a commencé au début des années 60. En 1960, il n'y avait que 29.5 km d'autoroutes en Ile-de-France. Durant le IVè et le Vè plan (1960-1970), le réseau prenait une croissance modérée de 15 km par an. Ensuite, ce réseau s'est

[1]Les trois premières sections du présent chapitre sont principalement basées sur les textes suivants :
- "Exploitation du réseau de voies rapides de l'Ile-de-France : Proposition d'une stratégie d'utilisation des panneaux à message variable", écrit par DE BALINCOURT en 1989.
- "Le fonctionnement et l'exploitation du réseau régional de voies rapides d'Ile-de-France", écrit par VERDIER Pierre en 1987.
- "SIRIUS. Dossier Programme". Direction Régionale de l'Equipement d'Ile-de-France/SIER, Octobre 1988.

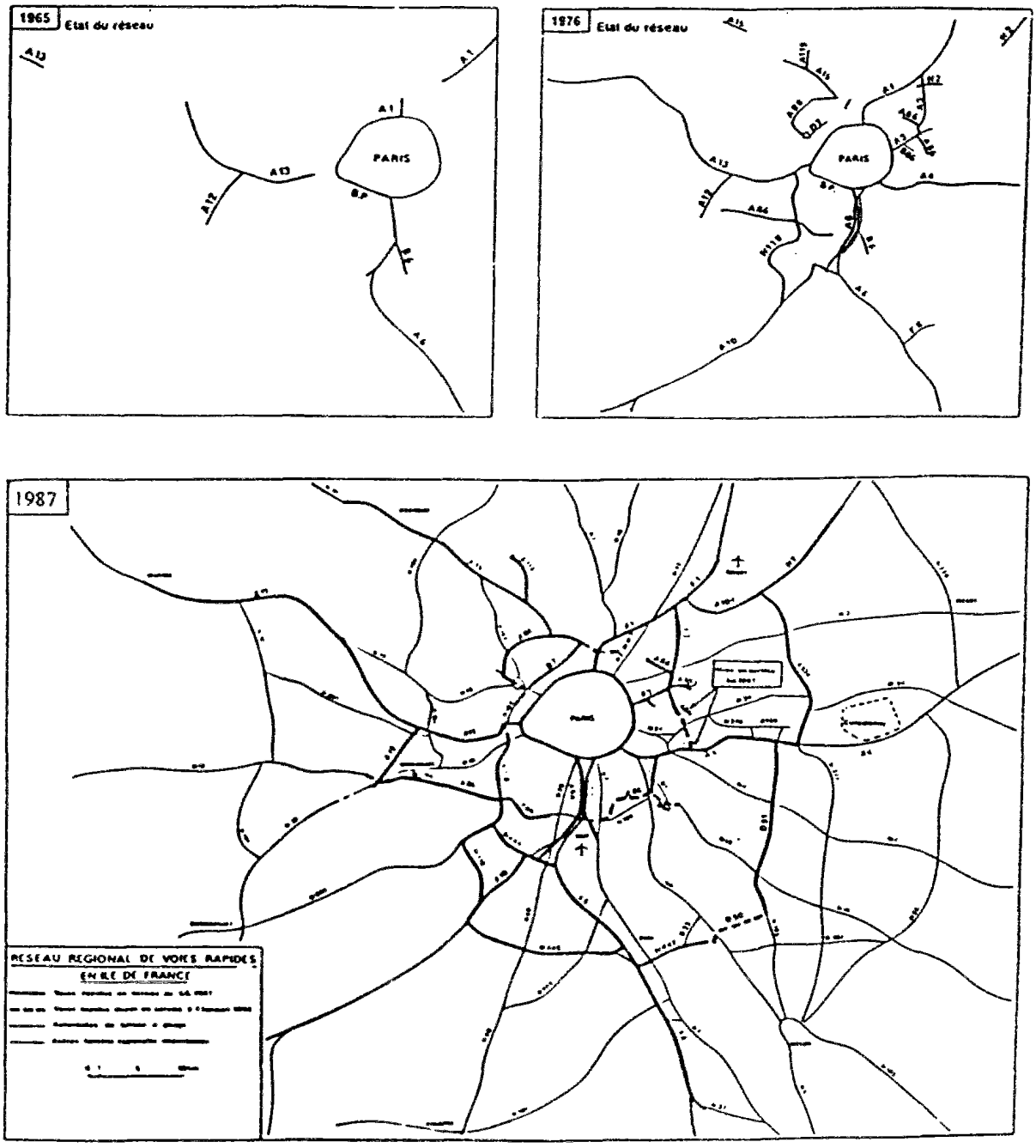


Fig.1.1 : Evolution du RVR d'Ile-de-France (1965-1987)

développé au rythme annuel moyen de 40 km jusqu'en 1976. La crise économique a ralenti la construction du réseau de 1976 à 1986 avec la mise en service de 104 km de nouvelle infrastructure durant cette période.

Dans l'histoire du développement du réseau, la construction du boulevard périphérique (BP) de Paris est une étape importante. Les travaux de construction ont commencé en 1956 et ont été achevés en 1973 et sa mise en service a été progressive. Le BP permet le raccordement avec les principales autoroutes radiales de la région.

En effet, jusqu'en 1987, le BP de Paris et cinq grands corridors autoroutiers radiaux (A1-A3, A4, A6, A10, A12-A13 et A15), au trafic très élevé, forment l'armature essentielle du RVR d'Ile-de-France. Ce réseau traverse huit départements de la région d'Ile-de-France.

I.1.2. Maillage du réseau

Le schéma directeur routier de 1984 et l'arrêté ministériel de 1988 (voir Annexe n° 1) pour la région parisienne orientaient la définition du RVR vers un réseau comportant des radiales reliées entre elles par trois niveau de rocades (voir Fig.1.2) :

- Boulevard périphérique,
- A86 en limite de petite couronne,
- "La Francilienne" ou "Rocade des villes nouvelles", en limite de grande couronne.

De 1987 à 1992, les majeures parties de l'autoroute A86 (sauf dans l'Ouest parisien) et de la Francilienne dans l'est parisien ont été réalisées. Ces deux rocades permettent non seulement de satisfaire convenablement des déplacements mal assurés dans le passé mais modifient aussi fondamentalement la structure du RVR et donc son exploitation.

En 1994, c'est l'ensemble du réseau de voies rapides à l'est des autoroutes A1 et A10 qui est maillé (220 km). Selon le décret de l'octobre 1988, avec le bouclage de l'A86 prévu dans l'ouest parisien dans les années à venir, le maillage de voies rapides couvrira toute la région Prochainement (dans 2 ou 3 ans), trois nouvelles autoroutes radiales (A5, A14, et A16) seront aussi mises en service. La longueur du RVR atteindra 800 km; sur cet ensemble près de 500 km de voies feront partie du réseau principal de voies rapides géré par le SIER.

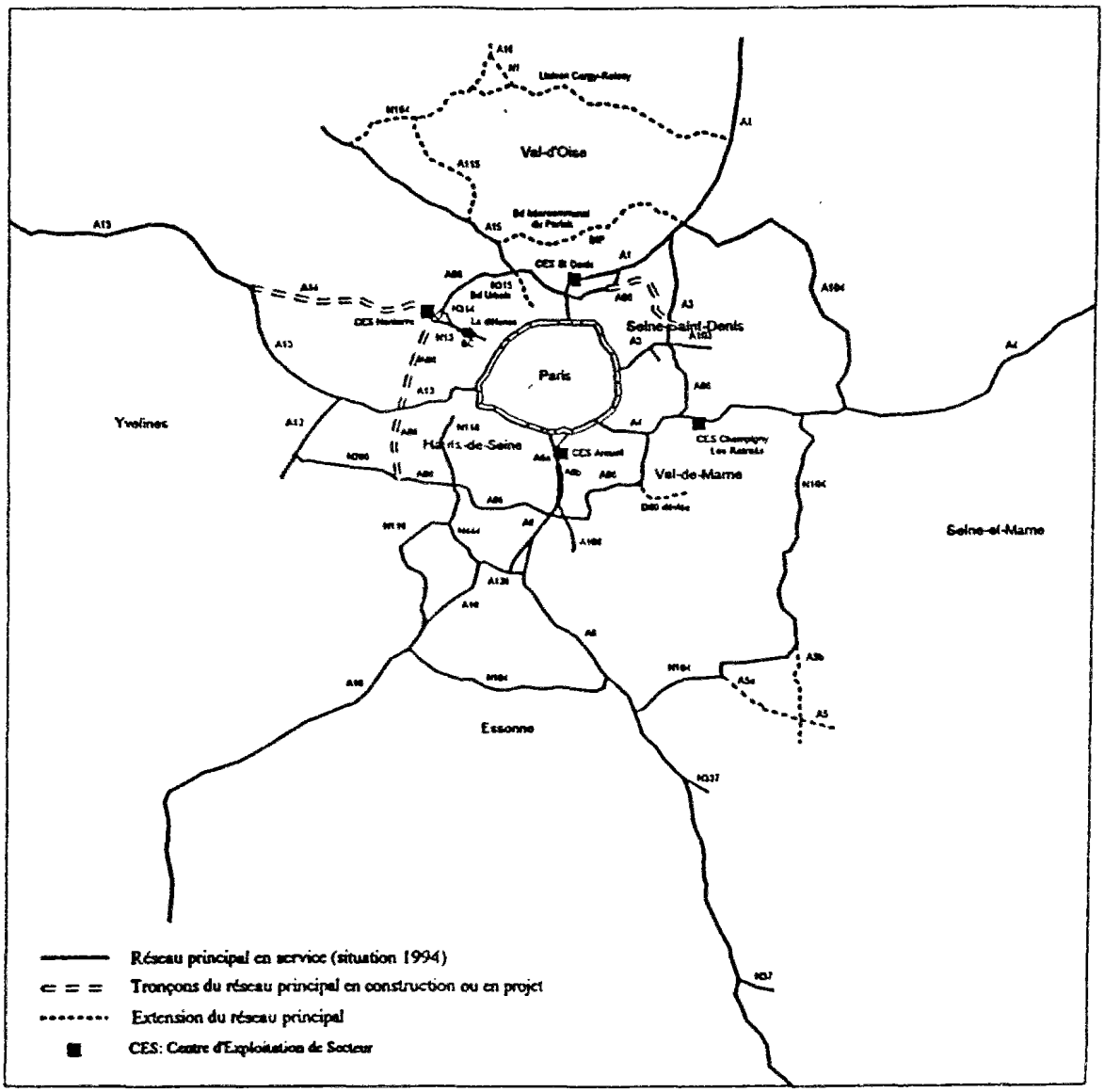


Fig. 1.2 : Maillage du RVR d'Ile-de-France

Le maillage du réseau présente un défi et une opportunité pour son exploitation. En fait, il permet d'avoir plusieurs itinéraires pour aller d'un point du réseau à un autre. Cependant, un effet pervers est que, si en cas d'accident la circulation n'est pas rétablie suffisamment vite, les bouchons risquent de se propager à travers le maillage et perturber ainsi une grande partie du réseau. Il faudra donc concevoir et mettre en place des politiques, des méthodes, des équipements et une organisation qui puissent assurer une exploitation de bon niveau et donner ainsi toute leur utilité aux considérables investissements d'infrastructures consentis.

I.2. FONCTIONNEMENT DU RESEAU

I.2.1. Trafic

Comme dans la plupart des RVR, le trafic sur ce réseau ne cesse de croître. Cette augmentation de la demande se traduit par une augmentation du volume de circulation (voir Fig.1.3), un allongement de la durée des pointes du matin et du soir et une densification du trafic durant les heures dites creuses.

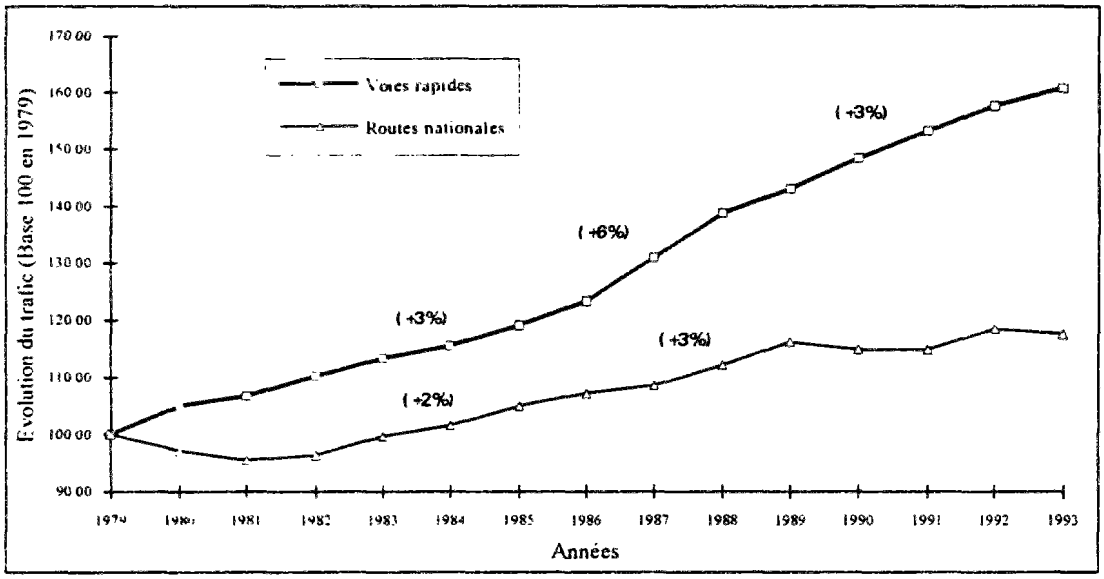


Fig.1.3 : Courbe d'évolution du trafic en Ile-de-France

De 1979 à 1993, sur ce RVR, le trafic a augmenté de 70%, soit une moyenne annuelle d'accroissement de 4.7%. De 1986 à 1988, le trafic a enregistré une

augmentation plus forte de 6% par an. En effet, on constate sur les courbes de la Fig.1.3 que les trafics sur les voies rapides augmentent deux fois plus vites que sur les autres routes nationales. Sur le réseau déjà saturé, quelques pour-cent de trafic supplémentaires suffissent pour aggraver les difficultés de circulation. L'augmentation continuelle de la demande est donc une des causes principales de la congestion enregistrée.

Pour donner un ordre de grandeur, on estime que 3 millions de véhicules empruntent quotidiennement le RVR. Du boulevard périphérique (BP) jusqu'à l'autoroute A86, les voies rapides écoulent entre cent vingt mille et deux cent vingt mille véhicules/jour suivant qu'elles sont à deux, trois ou quatre voies. Sur le BP, les débits sont presque constants de 7 h à 21h. Selon les prévisions de la DREIF, dans quelques années, toutes les voies rapides situées à moins de 10 km des portes de Paris auront un fonctionnement analogue à celui du BP. Dès à présent, il devient de plus en plus difficile de neutraliser de jour une voie, pour un chantier d'entretien, sans engendrer d'assez forts encombrements.

On constate de plus un fort développement des pôles, gros générateurs de trafic, qui ont une incidence de plus en plus marquée sur le fonctionnement du réseau de voies rapides. Ces pôles importants peuvent être classés, en fonction des répercussions qu'ils engendrent sur le réseau, en trois types :

- Répercussions quotidiennes (aéroports, gares routières, centres d'affaires...),
- Répercussions hebdomadaires (centres commerciaux régionaux, parcs d'attraction),
- Répercussions occasionnelles (parcs d'exposition, grandes manifestations sportives, culturelles et politiques...)

I.2.2. Problème de sécurité

Les statistiques de la DREIF/SIER et du SETRA[2] (voir Tableau 1.1) à partir des fichiers des CRS[3], des polices municipales et de la gendarmerie montre qu'en moyenne sur cinq dernières années, 4.5% des accidents corporels[4] de la région ont eu lieu sur le réseau principal des voies rapides (BP de Paris non compris) pour un trafic de l'ordre de

[2]SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.
[3]CRS : Compagnies Républicaines de Sécurité.
[4]Un accident corporel (mortel et non mortel) de la circulation routière est défini comme un accident qui provoque au moins une victime, qui survient sur une voie ouverte à la circulation publique, et qui implique au moins un véhicule. Sont donc exclus tous les accidents matériels ainsi que les accidents corporels qui se produisent sur une voie privée ou qui n'impliquent pas de véhicules.

20% du trafic total. Le risque d'accident y est donc plus faible que sur les autres catégories de voiries de la région.

Vingt-cinq personnes en moyenne sont tuées chaque année sur le BP et on trouve une centaine de morts sur le réseau principal de voies rapides (voir Tableau 1.1). Le tableau ci-contre montre qu'en moyenne, près de 10% des tués le sont sur RVR. Ce chiffre est identique pour les accidents mortels. Il en résulte que les accidents sur autoroutes sont plus graves et mortels que sur les autres catégories de voiries. Par conséquent, il faut prendre toutes les mesures d'exploitation afin de réduire le nombre d'accidents sur RVR.

Tableau 1.1 : Comparaison des accidents liés à la circulation routière en Ile-de-France

Années	Accident corporel			Accident mortel		
	RVR*	TOTAL**	RVR/TOTAL	RVR	TOTAL	RVR/TOTAL
1989	1313	34375	3.82%	79	826	9.56%
1990	1324	32694	4.05%	85	859	9.90%
1991	1372	30299	4.53%	82	859	9.55%
1992	1547	30109	5.14%	96	817	11.75%
1993	1450	28372	5.11%	75	768	9.77%
Moyenne	**1382**	**31374**	**4.47%**	**77**	**797**	**9.66%**
Années	Nb de tués			Nb de blessés graves		
	RVR	TOTAL	RVR/TOTAL	RVR	TOTAL	RVR/TOTAL
1989	93	943	9.86%	260	5474	4.75%
1990	98	943	10.39%	270	5082	5.31%
1991	89	946	9.41%	284	4881	5.82%
1992	105	905	11.60%	293	4993	5.87%
1993	82	844	9.72%	256	4795	5.34%
Moyenne	**88**	**894**	**9.79%**	**258**	**5135**	**5.04%**

*Réseau de voies rapides (Source du SETRA - CSTR)
**Total région Ile-de-France

On en déduit donc que les autoroutes ou voies rapides sont plus sûres (du point de vue de risque d'accident) que les autres routes. Il faut cependant nuancer ce jugement par le fait que les accidents sur voies rapides sont généralement plus graves : 4.5% des accidents ayant eu lieu sur les voies rapides avec 10% des tués. Le nombre de tués par 100 accidents est deux fois plus élevé sur les voies rapides que sur les autres catégories de voiries (6.4% contre 3%).

Sur les voies rapides de petite et grande couronnes, outre les excès de vitesse nocturnes, deux configurations sont particulièrement accidentogènes: les queues de bouchon et certains points singuliers du réseau.

Le taux d'accident de cette dernière sorte est loin d'être négligeable même si aucune statistique systématique récente ne le met en évidence. Selon l'étude d'évaluation de SIRIUS faite par le SIER, les accidents en queues de bouchons présentent 10% des accidents totaux sur voies rapides [SIER, 1993a]. A notre avis, une bonne exploitation peut permettre de diminuer ce type d'accidents dans la mesure où l'annonce d'un bouchon permet au conducteur averti de s'y préparer en ralentissant.

Même si les résultats obtenus en matière de sécurité routière sur voies rapides sont encourageants, les missions de l'exploitant et le renforcement des mesures dans le domaine demeurent prioritaires En dehors d'un aspect purement sécuritaire, il faut, bien entendu, noter que les accidents sont fortement générateurs d'encombrements, en particulier lorsqu'ils ont lieu durant une période de pointe du trafic.

I.2.3. Problème de congestion

De 1974 à 1986, les encombrements recensés sur les voies rapides d'Ile-de-France (hors BP, A86 et autoroute a peage) ont augmenté de 600%, soit une progression annuelle de 16% Si l'on ajoute la congestion rarement recensée, qui se développe sur les quatre tronçons d'A86 en service (32 km de voies), les encombrements en France, hors réseaux urbains, se répartissent approximativement comme suit [VERDIER, 1987] :

- BP de Paris 43%,
- Voies rapides d'Ile-de-France hors péage : 42%,
- RN (routes nationales) et CD (chemins départementaux) d'Ile-de-France : 5%,
- Autoroutes, RN et CD de Province 10%.

Ainsi, les encombrements sur le RVR d'Ile-de-France atteignent un niveau très préoccupant On a recense, pour la seule année 1987, plus de 70 millions d'heures perdues (y compris BP) Ce qui représente une perte d'environ trois milliards de francs pour la collectivité [DREIF, 1988]

Les courbes de la Fig 1 4 donnent les évolutions des encombrements sur le RVR en Ile-de-France de 1976 à 1987 La Fig.1.5 montre la répartition des encombrements sur le RVR d'Ile-de-France en 1987 et en 1983.

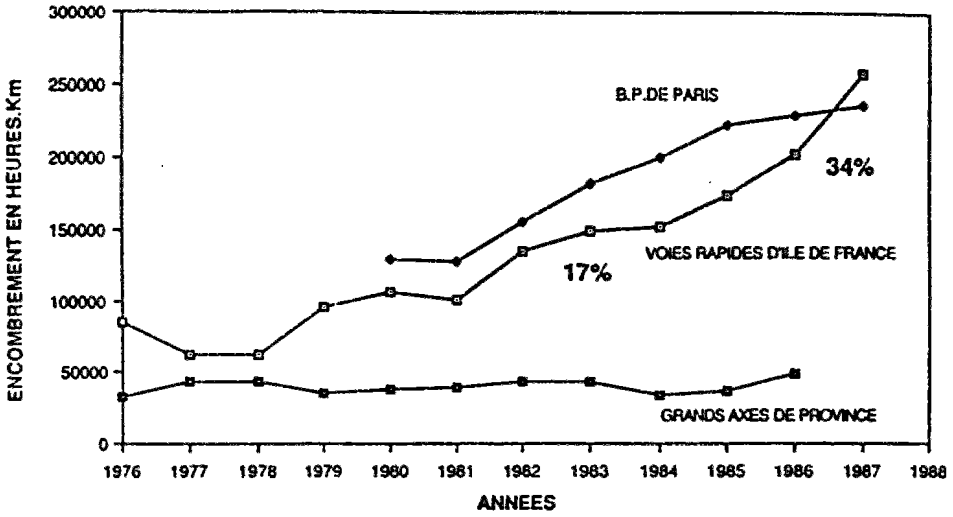


Fig.1.4 : Accroissement des encombrements en Ile-de-France

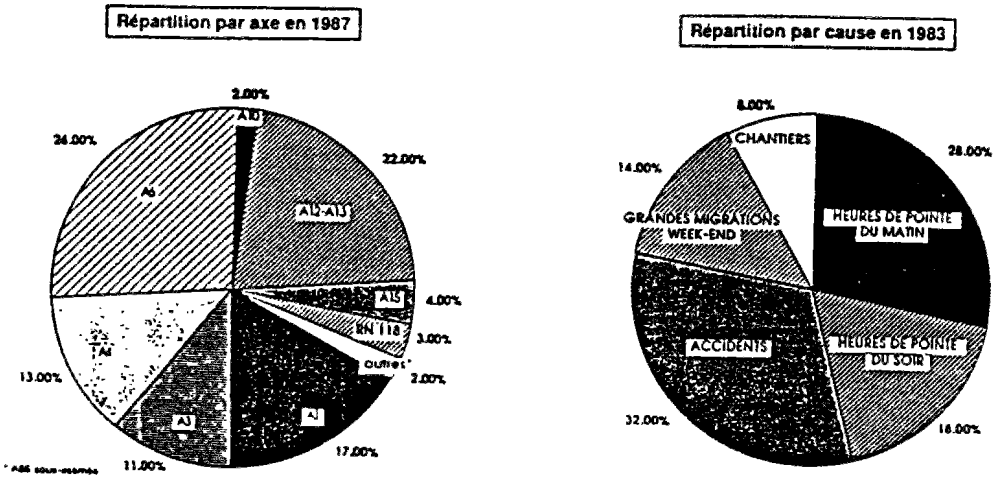


Fig.1.5 : Répartition des encombrements sur le RVR d'Ile-de-France

Causes principales des encombrements :

En 1983, la répartition des causes d'encombrements sur les grandes radiales autoroutières s'établissait approximativement comme suit :

- Congestion récurrente due à un excès structurel de la demande sur l'offre: 60% dont 46% ont lieu en jours ouvrables et 14% le dimanche soir et lors des grands retours;
- Congestion due à la réduction de la capacité :
  - programmée (chantiers) : 8%;
  - imprévisible (accidents, etc.) : 32%.

Avant la construction de l'autoroute A86 et de la Francilienne, la majorité des encombrements était due aux débouchés des autoroutes radiales sur le BP. En l'espace de quelques années, de nouvelles causes d'encombrements ont pris beaucoup d'ampleur :

- en grande couronne, en particulier aux abords des villes nouvelles,
- en "contre - pointes" (sens Paris → Province le matin et Province → Paris le soir),
- les encombrements dus à l'heure de pointe du soir, notamment le vendredi, ont beaucoup augmenté,
- lors des grandes migrations saisonnières.

L'histogramme des causes de bouchons (cf. Fig.1.5) démontre l'importance des incidents (accidents et chantiers). La prévention des accidents peut être recherchée en premier lieu dans un meilleur comportement des conducteurs grâce à la diminution du stress que permet l'information, en second lieu dans une meilleure vigilance suscitée par des messages en amont des bouchons grâce à leur détection automatique (sur ce réseau 10% des collisions avaient lieu en queue de bouchon [SIER, 1993a]).

De façon générale, les encombrements sur ce réseau s'allongent dans l'espace et dans le temps. Les usagers sont de plus en plus confrontés au caractère imprévisible du temps de déplacement. Les projections à moyen terme de l'évolution de la charge du réseau montrent que la dégradation du fonctionnement du réseau se poursuivrait au même rythme qu'actuellement si de nouvelles actions d'exploitation n'étaient pas mises en oeuvre.

Face à la très forte progression des encombrements, ainsi que face à l'opportunité offerte par le maillage, la gestion dynamique du trafic devient primordiale pour rendre ce réseau sûr, plus fluide et plus confortable.

I.3. EXPLOITATION DU RESEAU

I.3.1. Contexte général

La région d'Ile-de-France représente 20% de la population française et 30% du PIB . Elle concentre près de 80% des bouchons recensés en France [VERDIER, 1987]. En grands chiffres, la partie principale du RVR d'Ile-de-France écoule 40% du trafic de la région (y compris Paris) sur 10% de la longueur de voirie. Comme on l'a vu plus haut, les encombrements croissent de 16% sur le RVR et celui-ci est en permanence saturé ou au bord de la saturation sur un tiers de sa longueur durant les heures de pointe. Parvenir à des conditions acceptables de circulation sur ce réseau constitue donc un enjeu essentiel, qui implique la réalisation d'actions concertées en temps réel ou différé à l'échelle régionale.

Pour répondre à toutes ces difficultés, pour traiter toutes ces incertitudes et pour faire face à ces défis, ainsi que pour préparer l'avenir, l'Etat a décidé de mettre en oeuvre une nouvelle politique d'exploitation du réseau de voies rapides.

Par une lettre de mission du 9 décembre 1986 (voir Annexe n° 2), le ministre de l'Equipement a confié au directeur régional de l'Equipement de l'Ile-de-France le soin de définir la politique d'exploitation à mettre en oeuvre et d'évaluer les moyens et le niveau d'équipement nécessaire à cette politique, avec comme objectif d'aboutir à la mise en oeuvre d'un système technique fiable, inséré dans un fonctionnement administratif efficace.

La mission SERMIF[5] et des groupes de travail furent ainsi créés pour remplir cet objectif. En sont issus, un programme d'équipements et une nouvelle logique d'exploitation avec, comme implication, une réorganisation des services et des compétences. Ces groupes de travail réunissaient tous les intervenants dans le domaine de l'exploitation routière ainsi que les futurs partenaires tels que la Ville de Paris. Ils ont été mis en place par le directeur de la Sécurité et de la Circulation Routière et le préfet de région en avril 1987. On trouvait :

- le Comité de Coordination,
- le Comité Technique,
- le Réseau d'Observation et de Conseil (voir Annexe n° 3).

[5] le estgie d'Exploitation du Réseau Maillé d'Ile-de-France.

Les travaux réalisés en commun dans ces différents groupes furent concrétisés par :
- une réorganisation des services chargés de l'exploitation des voies rapides,
- la définition d'une nouvelle politique d'exploitation prenant en compte le maillage résultant des nouvelles voies de rocades (A86 et la francilienne),
- le lancement du projet SIRIUS qui devait permettre la mise en oeuvre de cette politique.

Evolution administrative :

La modification administrative fut la conséquence de la nécessité reconnue à la suite des travaux de la mission SERMIF, d'une gestion du trafic au niveau régional. Il fallait donc effectuer un transfert de la responsabilité de l'exploitation des différents acteurs (en particulier les directeurs départementaux de l'Equipement) au directeur régional de l'Equipement.

Par le décret du 28 avril 1988 (voir Annexe n° 4), le Premier Ministre charge le directeur régional de l'Equipement d'Ile-de-France, sous l'autorité des préfets de sa circonscription, "d'appliquer la politique d'exploitation des autoroutes et voies assimilées". Ce réseau de voies rapides est par ailleurs défini par l'arrêté du 28 octobre 1988 (cf. Annexe n° 1) Pour assurer cette mission, a été créé en septembre 1988, au sein de la DREIF, le Service Interdépartemental d'Exploitation Routière (SIER), fort aujourd'hui d'un effectif de 170 personnes. Il est notamment chargé de la mise en oeuvre du projet SIRIUS. Cette réforme institutionnelle crée les conditions pour que l'important programme d'installation de matériels spécialisés constituant l'infrastructure du système d'information prenne toute sa valeur lorsqu'il sera au service de stratégies clairement évaluées.

Par ailleurs, la circulaire du 24 Novembre 1988 (voir Annexe n° 5) précisait le partage des responsabilités en matière d'exploitation : le directeur régional de l'Equipement devient gestionnaire du trafic; les directeurs départementaux de l'Equipement restent gestionnaires des infrastructures. Le partage des responsabilités avec les CRS est un peu plus flou, mais se résout très bien dans la pratique. Les CRS et les exploitants se trouvent dans les PC dans la même salle d'exploitation. Les premiers gèrent les incidents (réseau d'appel d'urgence, appel des dépanneurs et des secours, etc.), les seconds gèrent le trafic.

I.3.2. Politiques d'exploitation

Compte tenu de l'état et du fonctionnement actuel du RVR et vu les outils disponibles, la DREIF a donné cinq objectifs principaux à la politique d'exploitation qui s'articule autour de huit axes. Cette politique donne la priorité à la sécurité et elle s'appuie principalement sur l'information des usagers. Elle donne la priorité à l'information factuelle plutôt qu'au conseil et à la prescription. Elle vise l'information en temps réel (présent) plutôt que la prévision (futur).

A : Objectifs assignés

1. L'amélioration de la sécurité : elle est en particulier possible pour les accidents type "queue de bouchon" avec la détection la plus rapide possible des perturbations (incidents, pannes, bouchons...).
2. L'amélioration de la circulation pendant les pointes journalières : nous avons vu (cf Fig.1.5) que ces pointes sont à l'origine de la moitié des encombrements de la région. La situation peut être améliorée en informant les usagers sur la charge du réseau, en développant les contrôles d'accès et en utilisant les réserves de capacité qu'offre le maillage du réseau.
3. La maîtrise des grands flux occasionnels et des trafics induits par les grands pôles générateurs.
4. La limitation sur l'ensemble du réseau des répercussions dues aux accidents et aux chantiers.
5. L'amélioration du confort de conduite des usagers.

B : Huit axes de la politique d'exploitation

1. Connaître à tout instant l'état et les conditions de circulation sur le réseau,
2. Informer les usagers de façon fiable et systématique avant les points de choix,
3. Organisation des actions de guidage de certains flux :
   - Les grandes migrations saisonnières et les départs et retours de longs week-ends
   - Les transits
   - Les flux liés à des grands pôles générateurs de circulation.
4. Poursuivre et étendre la régulation d'accès,
5. Moderniser les pratiques actuelles de lancement des chantiers et les interventions sur accidents,
6. S'appuyer sur un réseau associé capable de pallier les conséquences de certains incidents exceptionnels,

7. Procéder à des aménagements ponctuels visant à améliorer la sécurité et la fluidité,
8. Adapter en permanence des actions d'exploitation en fonction des effets constatés et des attentes des usagers.

I.3.3. Système d'exploitation : SIRIUS

La mise en place de la politique d'exploitation définie ci-avant s'appuie sur le Système Intégré de Régulation et d'Information des usagers (SIRIUS) qui est devenu aujourd'hui le Service d'Information pour un Réseau Intelligible aux Usagers. Comme expliqué plus haut, ce système est le fruit des réflexions menées en 1987 (mission SERMIF) suite à l'initiative prise par la DDE de Val-de-Marne d'équiper la partie du RVR traversant ce département Il s'agit d'un système centralisé de gestion du trafic qui assimile le savoir-faire actuel et les équipements qui fonctionnent déjà sur ce réseau d'Ile-de-France. Le SIER est en train de mettre au point ce système SIRIUS. A la mi-1993, 300 km d'autoroutes etaient déjà equipés (voir Annexe n° 6 : Fiche de SIRIUS).

Le système SIRIUS utilise des moyens et des technologies actuellement connus et éprouvés. Par rapport aux experiences étrangères, l'originalité du système SIRIUS réside dans l'utilisation conjointe et coordonnee de ces technologies. De façon schématique, la Fig.1.6 montre l'organisation fonctionnelle du système SIRIUS.

Le but de SIRIUS est de rendre le maillage "intelligent", c'est à dire capable de guider les automobilistes qui l'empruntent SIRIUS est articulé autour de trois fonctions essentielles

- une fonction de suivi en temps reel des conditions de circulation,
- une fonction de la detection automatique des incidents et des bouchons,
- une fonction d'information instantanée des automobilistes à l'aide des PMV

SIRIUS se decompose classiquement de la façon suivante : le recueil des données d'état de trafic, leur traitement et leur diffusion.

Le recueil des donnees est assuré principalement par les capteurs automatiques. Actuellement au nombre de 2500, ces capteurs électromagnétiques noyés sous la chaussée tous les 500 mètres environ, détectent et dénombrent précisément le passage des véhicules. Sont extraites les principales variables du trafic (débit par voie, taux d'occupation, vitesse, intervalle entre les véhicules...). Un réseau de caméras en circuit

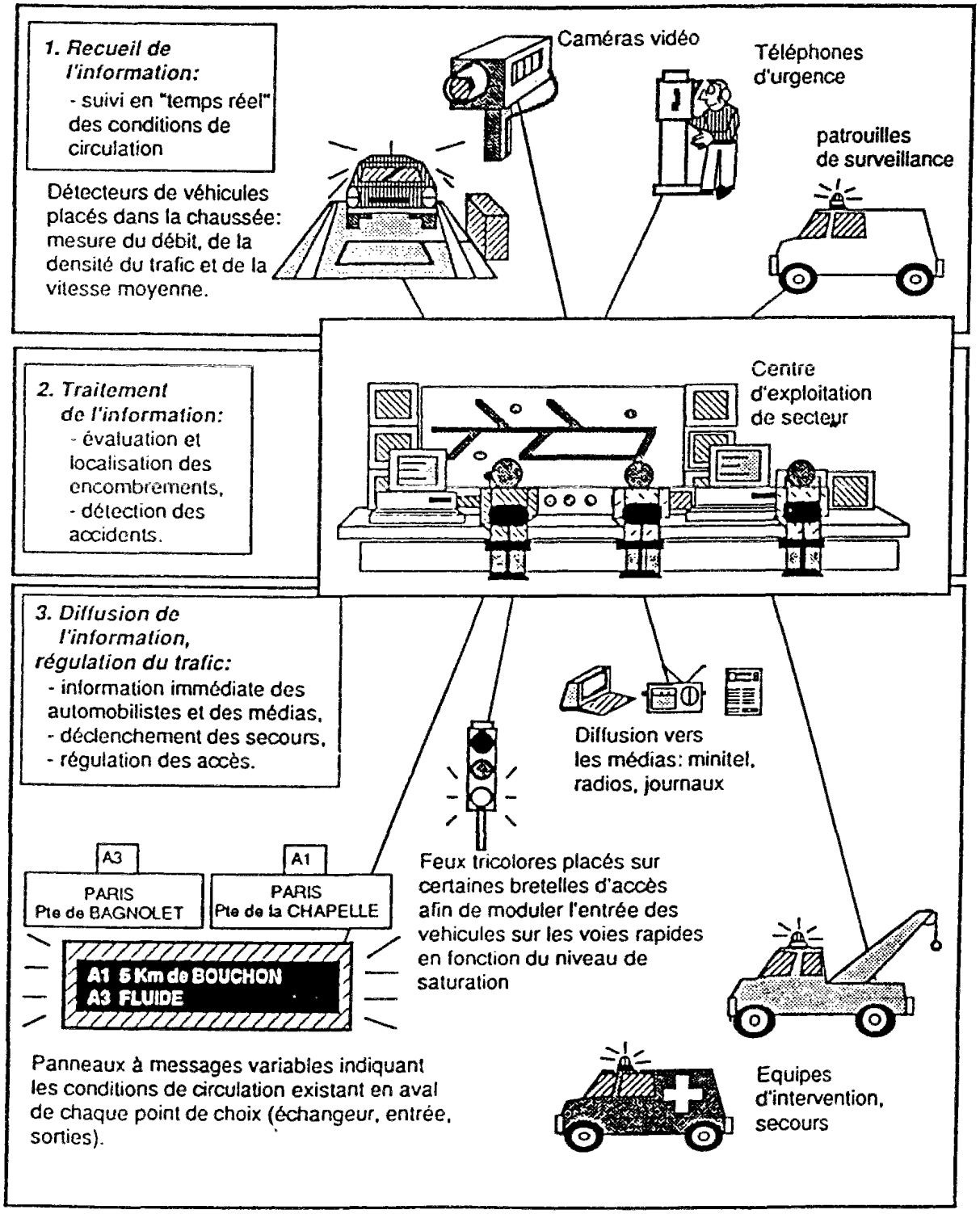


Fig.1.6 : Organisation fonctionnelle du système SIRIUS

fermé (plus de 250 actuellement), installées aux points stratégiques, transmet en direct les images de la circulation. Certaines peuvent être télécommandées depuis les PC pour interpréter les éléments de trafic. Elles complètent ainsi qualitativement l'information remontée par les capteurs, permettant à l'opérateur des opérations de validation.

Le traitement des données de trafic est assuré par un système informatique offrant principalement les fonctions de détection automatique de bouchons et d'incidents. Fort des alarmes produites, l'opérateur, à qui il ne reste plus que la charge de valider la réalité de l'accident ou du bouchon, peut ainsi mieux se concentrer sur les mesures concrètes à prendre. Un système expert assure alors automatiquement l'élaboration des messages qui seront diffusés sur les PMV selon une stratégie définie au préalable.

La diffusion des informations est assurée par les PMV. Ces PMV SIRIUS, au nombre de 150 actuellement, sont les panneaux lumineux qui délivrent des messages alphanumériques (sur généralement 2 lignes de 18 caractères) actualisés en temps réel. Placés avant les bifurcations autoroutières, sur les sections courantes et les réseaux associés avant les entrées aux voies rapides, ils informent les automobilistes de l'état du trafic pour la suite de son parcours (du type "A3 → BP : FLUIDE" ou "A86 : A 1 km BOUCHON = 2 km").

Le système SIRIUS permet ainsi de suivre l'évolution des conditions de circulation sur l'ensemble du réseau, de détecter rapidement des incidents et des bouchons, et à terme d'informer et de guider en temps réel les automobilistes, permettant ainsi d'influencer leur comportement pour éviter d'aggraver des déséquilibres de charge trop importants et pour minimiser les temps de parcours. Il permet également d'éviter les phénomènes de propagation de bouchons qui, dans un réseau maillé, peuvent entraîner des situations de blocage complet.

Schématiquement, SIRIUS permet de connaître le trafic en temps réel pour en informer les usagers. L'objectif d'un tel système est de fournir aux exploitants et gestionnaires des réseaux les moyens d'améliorer notablement le fonctionnement de celui-ci et surtout d'utiliser au mieux les nouvelles possibilités offertes par le maillage. L'efficacité de SIRIUS suppose donc l'adhésion des usagers. Pour cela, la crédibilité du système est un facteur essentiel ce qui impose un haut niveau de fiabilité.

A signaler que l'exploitation du BP de Paris n'est pas concernée par le projet SIRIUS. Le BP a son propre système d'exploitation. Pour l'instant, la seule liaison envisagée entre les deux systèmes d'exploitation est d'échanger des données.

I.4. PROBLEMES RENCONTRES

Pour répondre aux exigences en matière de sécurité et d'information, le SIER annonce, par l'intermédiaire de SIRIUS, les itinéraires saturés, les accidents, les travaux et les bouchons.

A compter de 1992, les premiers travaux commençaient en vue de réaliser l'infrastructure technique du recueil automatique des données et de la diffusion des messages. Dès lors, le projet SIRIUS se développe rapidement avec la mise en place des équipements sur le terrain et l'installation des systèmes informatiques dans trois PC et qui couvre aujourd'hui la moitié du réseau de voies rapides en Ile-de-France permettant une meilleure gestion du trafic.

Pourtant, l'examen de l'approche d'exploitation de ce réseau révèle deux problèmes majeurs qui nécessitent des travaux de recherche immédiats pour améliorer encore son efficacité. D'une part, l'exploitant manque des soutiens méthodologiques concernant la maîtrise des outils d'exploitation comme le RAD, la DAI et la DAB[6], etc. D'autre part, l'organisation des services internes du SIER devait être adaptée à la maîtrise du système informatisé de gestion des flux (SIRIUS) et en plus se posait le problème de la définition d'une organisation entre les différents acteurs concernés (SIER, CRS, DDE, Ville de Paris...). Ces deux problèmes sont au coeur de l'amélioration du fonctionnement de ce réseau à court et à moyen terme et de son utilisation optimale dans les années à venir.

I.4.1. Problèmes relatifs aux outils d'exploitation

A : Recueil Automatique des Données (RAD)

Rappelons que le RAD est une des fonctions essentielles pour tout système d'exploitation comme SIRIUS. Or, au fur et à mesure de la mise en place des équipements d'exploitation, on découvre que la fiabilité des données devient prépondérante. Toute erreur sur les données peut avoir une conséquence directe sur le fonctionnement de la DAI et la DAB ainsi que sur l'information en temps réel par PMV.

Dès le début du projet SIRIUS, la préoccupation essentielle du SIER a été la mise en place des équipements d'exploitation et la mise en fonctionnement des PMV. Le

[6]RAD: Recueil Automatique de données; DAI: Détection Automatique des Incidents; DAB: Détection Automatique des Bouchons.

problème de la fiabilité des données était traitée au second plan. Etant donnés les problèmes du RAD, il apparaît essentiel de pouvoir identifier des erreurs dans les données issues de capteurs.

Mais, nous avons constaté, au début de cette recherche, que l'exploitant ne disposait pas d'outils permettant de vérifier et de valider rapidement et systématiquement des données. A partir de ce constat et pour répondre à un besoin réel de tous les systèmes d'exploitation comme SIRIUS, nous étudierons des moyens de vérification de données au chapitre IV.

B : DAI et DAB

Dans sa conception, la DAI et la DAB font partie intégrante du système SIRIUS. On ne dispose pas de données quantifiées concernant le fonctionnement de la DAI et de la DAB au sein du système SIRIUS. Mais qualitativement, ces deux outils ne fonctionnaient pas d'une manière satisfaisante sur l'ensemble du réseau avant les efforts entrepris par le SIER depuis 1992. Par conséquent, ils n'ont pas atteint les performances que l'on attendait pour la détection des incidents et la détection des bouchons. Par exemple, souvent, la DAI détectait des incidents avec un retard par rapport à d'autres moyens (caméras et patrouille de police).

Notre analyse a, au début de cette recherche, relevé deux causes principales de dysfonctionnement de la DAI et de la DAB pour le système SIRIUS. D'une part, le fonctionnement de la DAI et de la DAB est fortement influencé par le RAD. La difficulté soulevée du RAD explique, en grande partie, le dysfonctionnement voire le non-fonctionnement sur certains tronçons de la DAI et de la DAB dans la pratique d'exploitation de ce réseau Il s'est donc avéré indispensable de prendre des mesures nécessaires tant techniques qu'organisationnelles pour une maîtrise totale du RAD. D'autre part, les outils de la DAI et de la DAB utilisés nécessitent des améliorations. La résolution du problème de la DAI a fait l'objet de coopération entre le SIER et l'INRETS avec entre autres la mise en place d'un outil de calibrage automatique des algorithmes de la DAI [COHEN, 1993]. Le problème de la DAB sera traité au chapitre VI.

I.4.2. Problème d'organisation

Le problème d'organisation comporte deux aspects: l'organisation interne du service d'exploitation des RVR et l'organisation du système d'acteurs participant à cette

exploitation. Le premier aspect est lié à la mise en oeuvre de la politique d'exploitation et notamment à la mise en place et à la maîtrise du système d'exploitation SIRIUS. L'organisation du système d'acteurs concerne principalement la mission du maintien de la viabilité et en particulier l'organisation des interventions en cas d'incidents. Ces deux problèmes d'organisation ont une conséquence directe sur l'efficacité d'exploitation. La résolution de ces deux problèmes organisationnels est indispensable pour que le fonctionnement du réseau soit optimal et le niveau de service offert aux automobilistes soit amélioré.

Comme souligné précédemment, le SIER a été créé pour mettre en place une politique cohérente d'exploitation sur l'ensemble des voies rapides de la région parisienne et notamment pour la réalisation du projet SIRIUS. Ce dernier est par nature un projet de gestion des flux informatisée qui pour être efficace, nécessite une évolution des services chargés de sa conception, sa réalisation et son exploitation opérationnelle [LATERRASSE et al., 1989].

Ce problème d'organisation nécessite des réflexions approfondies. Il fait l'objet en particulier du chapitre VIII et du chapitre IX ci-après.

Chapitre II :

LES EXPERIENCES ETRANGERES

II.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE

II.1.1 : Objectif

Comme souligné dans l'introduction générale, le problème de congestion est connu de tous les RVR des grandes agglomérations des pays industrialisés. Face à ce problème de circulation, les différentes approches et les divers systèmes d'exploitation ont été développés à travers le monde entier. Avant de nous engager dans l'examen des améliorations possibles des outils utilisés dans le cadre de la mise en oeuvre de SIRIUS, il est intéressant d'analyser le capital d'expériences accumulé au plan international et d'en dégager des enseignements tant techniques et organisationnels que politiques dans l'objectif d'une utilisation meilleure sinon optimale des RVR. De plus, l'analyse de la manière dont les autres pays voient et préparent l'avenir dans le domaine d'exploitation des RVR peut permettre de mieux cerner les problèmes et leurs solutions.

Ainsi, ce chapitre a pour objectif principal de faire un inventaire des expériences étrangères en matière d'exploitation des RVR urbaines et périurbaines.

II.1.2 : Méthode utilisée

Pour atteindre l'objectif ci-dessus, la démarche adoptée est une approche bibliographique complétée par certain nombre d'interview et l'envoi de questionnaires.

L'approche bibliographique s'appuie notamment sur différents rapports de missions effectuées, en 1987, sur plusieurs réseaux de voies rapides des différents pays, par les représentants des dirigeants administratifs de la DREIF, les chercheurs de l'INRETS[1], les gestionnaires de trafic et les industriels automobiles. Dans le cadre du projet

[1]INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.

d'exploitation du RVR en Ile-de-France, ces missions sous forme de voyages d'étude ont été organisées sur l'initiative de la DDE du Val-de-Marne et de la DREIF. Les visites sur place ont donné lieu à des documents décrivant le paysage de l'exploitation des RVR dans différents pays (Etats-Unis, Japon, Allemagne et Angleterre). Ces documents permettent d'avoir une vision de la situation mondiale en 1987. Une des conclusions s'en dégageant était le pragmatisme dans l'approche des problèmes d'exploitation.

Or l'exploitation des RVR est un domaine neuf, en évolution rapide. Il est difficile de suivre cette évolution à travers uniquement cette approche bibliographique. En conséquence, il nous a fallu chercher des informations complémentaires. Nous avons eu recours à une approche de questionnaires pour actualiser les expériences étrangères et notamment pour connaître les problèmes liés au fonctionnement des systèmes d'exploitation (DAI, DAB, modélisation...).

Un questionnaire destiné à des gestionnaires des RVR a été conçu (cf. Annexe n° 7). Il regroupe 15 questions portant sur l'information générale des réseaux, les éléments des systèmes d'exploitation, les problèmes rencontrés dans l'exploitation des systèmes. Ces questionnaires ont été ensuite envoyés à des exploitants de RVR des différents pays. A titre d'exemple, nous avons reproduit les réponses de cinq exploitants américains; leurs réponses sont présentées en annexe n° 7.

A partir des sources bibliographiques et avec les renseignements fournis par cette démarche de questionnaires, on peut mieux connaître les expériences acquises et en dégager des enseignements pratiques pour nos problèmes d'exploitation de RVR en Ile-de-France.

II.2. L'APPROCHE AMERICAINE

II.2.1. L'exploitation des RVR aux Etats-Unis

Les RVR américains sont d'étendue importante, en général plus vaste que la Région Parisienne, et de formes variables, allant du corridor unidirectionnel (Long Island, N.j. Turnpike) au réseau maillé d'autoroutes proprement dit (Los Angeles). La plupart des grandes agglomérations américaines ont mis en place des systèmes d'exploitation, chaque système étant exploité indépendamment des autres. A partir de l'approche précédemment décrite, nous avons obtenu le tableau comportant les caractéristiques des systèmes américains d'exploitation des RVR (Tableau 2.1).

Agglomération	Système	Taille du réseau (km)	Boucle	Caméra	Téléphone d'urgence	Accès contrôlé	PMV	HOV*	Radio	Système embarqués	Source
Boston	Central Artery /Third Harbor Tunnel		800	500	non	20	210	oui	oui	non	**
Chicago	Traffic system center	218	2000	non	8	109	oui	oui	oui	non	***
Detroit	Detroit Freeway Operation	685	1350	10	non	49	oui	non	non	non	**
Los Angeles	Metropolitan Area Management system	1172	6380	15	3475	900	48	oui	oui	oui	***
Minneapolis	Twin City Traffic Management	724	900	108	non	308	32	oui	oui	non	**
New Jersey	N.J. Turnpike Automatic Traffic Surveillance and Control	238	969	2	non	non	108	non	non	non	***
New York / Long Island	INFORM	230	2100	35	non	74	75	non	oui	non	***
San Diego	San Diego Area Management system		oui	oui	non	78	non	oui	oui	non	**
San Francisco	San Francisco Bay Area Traffic Operations Management		oui	oui	non	45	50	oui	oui	non	**
Texas	Traffic Management System, Fort Warth	260	782	214	120	207	137	non	oui	non	***
Washington	The flow system, Seattle	56	1200	55	non	23	22	oui	oui	non	****

*HOV : High Occupancy Vehicles, priorité pour des véhicules à fort taux d'occupation.
** Source 1991 : "Freeway operations projects summary", Transportation Research Circular, N°378, 1991, TRB.
***Source 1994 : Enquête par questionnaire (cf. Annexe N°7).
****Source 1993 : "Symposium on Integrated Traffic Management Systems", TRC N°404, March 1993 pp.5-7.

Tableau 2.1 : Présentation des systèmes américains d'exploitation des RVR

Les plus grands systèmes actuels sont ceux de Los Angeles, Chicago, Minneapolis, Seattle et Long Island Pour mieux comprendre l'approche américaine d'exploitation des RVR, on va présenter les trois systèmes suivants :

L'exploitation du réseau (maillé) autoroutier de Los Angeles

Le réseau autoroutier de Los Angeles est le plus important avec une longueur de 1172 km traversant 3 comtés : Los Angeles, Orange et Vertura (cf. Fig.2.1). Il couvre le territoire de 80 municipalités et est géré par le District 7 du Département de Transport de Californie (CALTRANS). Le trafic continue à croître à un rythme de 4 à 5% par an tandis que les temps de parcours et les encombrements augmentent annuellement de 7%.

En 1994, ce réseau est doté d'un système intégré d'exploitation comportant un important dispositif de RAD, de caméras de surveillance, de bornes d'appel d'urgence, de contrôle d'accès et des PMV (cf. tableau 2.1). L'annexe n° 8 donne une description détaillée de l'expérience d'exploitation de ce réseau (techniques, outils, stratégies, organisation). Cette expérience est surtout intéressante pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France du point de vue technique et organisationnel.

Une particularité de l'exploitation du RVR à Los Angeles est l'instauration des priorités pour des véhicules à fort taux d'occupation sur les voies rapides avec les priorités aux accès et des voies (voire des chaussées) réservées à cette catégorie de véhicules. Sur ce réseau métropolitain de Los Angeles, quelques accès sont exclusivement réservés aux véhicules à fort taux d'occupation. Sur d'autres, une voie prioritaire est affectée à cette catégorie de véhicules afin qu'ils ne subissent pas l'attente due aux contrôles d'accès

L'ensemble des équipements constituent un système complet et performant. La performance de ce système a été évaluée à un gain de 10 millions de véh•h/an (45 000 véh•h/jour) en congestion récurrente et de 2.5 millions de véh•h/an en congestion non récurrente par rapport à la situation avant son installation (cf. Annexe n° 8).

Système INFORM

INFORM (INformation FOR Motorists), mis en service en 1989, est le système d'exploitation du RVR de Long Island qui couvre un corridor long de 56 km et large de 8 km comprenant environ 230 km de routes. Ce système est exploité par le Department of Transportation de l'Etat de New York et il représente les systèmes d'information des

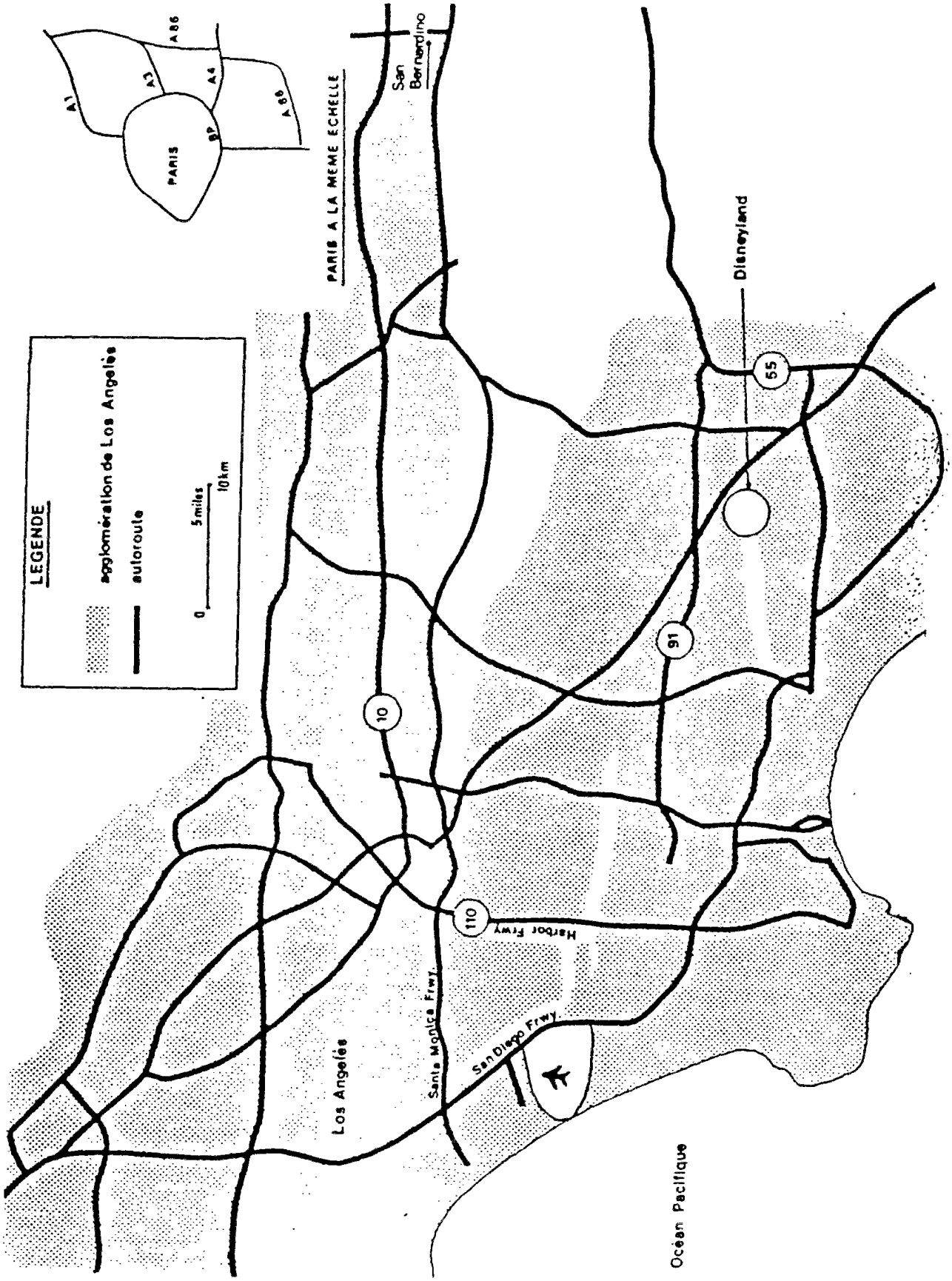


Fig.2.1 : Réseau autoroutier de Los Angeles

conducteurs par PMV les plus modernes des Etats-Unis. Les équipements du système comprennent 2100 capteurs, 35 caméras de surveillance, 75 PMV, 74 contrôle d'accès, plus de 100 carrefours à feux, et 22 postes-moniteurs de bande de fréquence amateurs. Les fonctions principales du système INFORM sont la surveillance des conditions de circulation en temps réel, la détection des incidents, la diffusion des informations aux automobilistes, à la presse, la radio, la télé, et à la police, et finalement la mise en oeuvre de stratégies de délestage et de déviation.

Système "SMART CORRIDOR"

Actuellement, aux Etats-Unis, plusieurs projets sont en cours pour développer des systèmes intégrés d'information et de régulation. Le système "SMART CORRIDOR" entrant en pleine phase d'implantation à partir de 1993, en est un exemple. Ce système est fondé sur la surveillance, la régulation du trafic (par contrôle d'accès et par coordination des feux de signalisation des réseaux associés) et l'information des conducteurs[2]

Plusieurs entités administrativement distinctes interviennent dans ce système. L'Etat exploite le réseau d'autoroutes, les différentes communes s'occupent de la voirie traditionnelle urbaine, la coordination etant assurée par la communication orale et la mise en commun de donnees informatiques Ainsi, les données en provenance des centres d'exploitation de cinq agences sont intégrées dans une base de données en commun partagée par les cinq gestionnaires Ce partage de données permet les stratégies de gestion de la circulation suivantes contrôle d'accès aux autoroutes, synchronisation des signaux, application de la réglementation sur les parking, itinéraires alternatifs et informations aux automobilistes

II.2.2. Les caractéristiques de l'approche américaine

A : Un recueil de données important

D'une façon generale, le recueil de données est très dense sur les corridors (Long Island, N.J. Turnpike) et sur les réseaux maillés d'autoroutes (Los Angeles). La technique la plus utilisee est celle des boucles inductives. Les boucles simples sont implantées tous les 800 metres environ. Elles mesurent le taux d'occupation et le débit.

[2]en utilisant des systèmes de communication comme Highway Advisory Radio (HAR), des PMV, des kiosques et télétextes

Les boucles doubles ont une fréquence moins importante (4 km environ) et mesurent en plus la vitesse et la longueur des véhicules.

Des capteurs sont installés sur les sections courantes comme sur les entrées et les sorties. Les données sont rapatriées en temps réel au P.C. et permettent la détection des congestions et des incidents. Dix-neuf des plus grandes agglomérations américaines emploient le comptage aux rampes pour le contrôle d'accès.

B : Les moyens de détection et de traitement des incidents importants

- La Détection Automatique d'Incidents (DAI) s'est généralisée. L'algorithme le plus répandu est l'algorithme "californien", avec des délais d'alerte de quelques minutes. La CB (Citizen's Band) est largement utilisée, moins comme outil de détection des incidents que comme moyen de validation de l'existence et de la nature de l'incident.

- Les patrouilles de Police, très fréquentes, sont largement utilisées pour détecter les incidents, de même que les équipes de maintenance diverses qui circulent fréquemment sur les autoroutes.

- Les moyens aériens (avions ou hélicoptères) sont également très utilisés. Ils appartiennent généralement à des organisations privées qui ont également des réseaux d'observateurs et qui vendent leurs informations aux nombreuses chaînes de radio. Des protocoles permettent un échange d'informations "gracieux" entre ces organisations et les P.C. autoroutiers

- Une pratique originale est d'encourager les conducteurs ayant des téléphones de voiture à signaler les incidents par l'intermédiaire d'un numéro de téléphone spécialisé. Chicago a introduit un tel service en août 1989 et reçoit en moyenne 7000 appels par an.

C : Le contrôle d'accès généralisé

Depuis une vingtaine d'années, les américains utilisent les contrôles d'accès pour réguler le trafic. Le plus grand système est celui de Los Angeles où plus de 900 rampes sont sous contrôle. Le contrôle d'accès s'est avéré comme l'un des moyens de régulation les plus efficaces rapportés au coût.

La stratégie de contrôle d'accès se répartit entre environ 1/3 temps fixe et 2/3 de temps adaptatif. Dans ce dernier cas, il s'agit d'adaptation locale. La coordination entre

rampes voisines n'est pas largement pratiquée. Il s'agit essentiellement d'améliorer l'insertion des véhicules sur voies rapides plutôt que d'inciter les usagers à utiliser le réseau de surface. La marge de manoeuvre du contrôle d'accès est ainsi réduite puisque le remplissage de la bretelle déclenche le passage sur le cycle à débit maximum, ce qui se produit très rapidement aux heures de pointes.

D : L'importance considérable accordée à l'information des usagers

L'information est extrêmement développée. Elle utilise essentiellement la radio et les PMV. Il y a une grande diversité d'organisation. Dans certains cas, le P.C. autoroutier envoie périodiquement des comptes rendus de trafic aux radios ou à des sociétés de service (Chicago, Los Angeles), ou seulement sur incidents. Ainsi, un service spécial de la New Jersey Turnpike Authority est consacré aux relations avec les médias. Les radios ont souvent leurs propres moyens de recueil d'informations, et les diffusent sans coordination particulière avec les services gestionnaires.

En ce qui concerne les PMV, leur utilisation en média d'information routière est relativement réduite, bien qu'elle doive se développer fortement dans l'avenir (IMIS, Chicago, Los Angeles), ils sont plutôt utilisés comme moyen de régulation. En général, les PMV sont commandés manuellement; des systèmes de commande automatique ou assistée existent cependant. Ainsi le système de PMV du N.J. Turnpike est commandé de manière totalement automatique, l'IMIS fonctionne sur validation d'une procédure automatique.

II.2.3. Analyse et réflexion

A : A propos du contrôle d'accès

L'expérience américaine tend à montrer que le contrôle d'accès améliore le flux de circulation principale et conduit à une importante réduction du nombre d'accidents. L'évaluation du système INFORM [STEVEN et al., 1992] a montré que la vitesse avait augmenté de près de 10% pendant les heures pointes du matin et du soir sur les autoroutes du corridor régulé à Los Angeles. Cela représente approximativement un gain annuel de 3 millions de véh.h durant les heures de pointe du matin et du soir. Il y a donc là un gain potentiel pour le réseau francilien à travers la mise en place des contrôles d'accès. Le plus grand intérêt des contrôles d'accès américains semble être la réduction du nombre d'accidents de l'ordre de 25% à 50% [AIPCR, 1991].

B : A propos de la détection et du traitement des incidents

Puisque les incidents sont à l'origine de plus de la moitié des embouteillages des autoroutes urbaines aux Etats-Unis[3], leur gestion mérite une attention particulière. Les différents moyens, qu'ils soient automatiques ou humains se complètent pour détecter et signaler tous les incidents le plus rapidement possible.

En effet, le caractère aléatoire et la diversité des incidents sur RVR nécessitent des moyens automatiques et manuels pour une détection rapide et certaine. L'intervention des secours est plus ou moins complexe selon la nature des incidents et relève souvent de la compétence de plusieurs organismes. Il est indispensable de mettre en place une structure cohérente d'organisation et de coordination entre les différents moyens et les différents organismes concernés.

C : A propos de l'information des usagers

Aux Etats-Unis, les PMV ont dépassé la vocation unique d'information. Ils sont souvent utilisés comme moyen de régulation. En général, les expériences américaines montrent qu'il est efficace d'utiliser les PMV pour donner des conseils d'itinéraires et pour gérer les incidents. L'efficacité dépend essentiellement de la fiabilité et de la rapidité des informations. L'évaluation de l'efficacité des PMV en cas d'incidents a montré que les automobilistes modifient effectivement leurs itinéraires [STEVEN et al., 1992].

Néanmoins la régulation du trafic par PMV est une mesure d'exploitation passive (on admet qu'il n'y a pas de latitude pour le gestionnaire au niveau de l'affichage) dont l'efficacité dépend des décisions volontaires des conducteurs influencées par les informations (visuelles ou auditives). La confiance des automobilistes sur les systèmes d'information est difficile à obtenir et facile à perdre. Le retard de diffusion des informations est une des causes principales de la perte de crédibilité des systèmes de PMV. La cohérence des messages sur différents PMV concernant un même événement (bouchon, incident) est également déterminante pour la crédibilité des systèmes de PMV.

[3]Selon une étude effectuée par U.S. Federal Highway Administration en 1986, environ 60% des congestions sur autoroutes urbaines étaient attribuables à des incidents.

II.3. L'EXPERIENCE JAPONAISE

Le réseau autoroutier national japonais s'étend sur 3900 km, dont environ 410 km sont des autoroutes urbaines. Ces dernières sont concentrées à Tokyo à Osaka-Kobe (Fig.2.2 et Fig.2.3). Ces deux sites sont particulièrement intéressants, parce que comparables (au niveau de la densité et du maillage, ce réseau est très radioconcentrique) à celui d'Ile-de-France et très équipé.

Il convient de préciser deux spécificités japonaises concernant le réseau et le trafic. Tout d'abord, "il ressort, d'une comparaison avec New York, Londres et Paris, que Tokyo possède le plus petit RVR (173 km) alors qu'elle est le coeur d'une concentration de près de 30 millions d'habitants" [DREIF, 1987]. Ensuite, ces réseaux autoroutiers urbains japonais sont très saturés. Les autoroutes urbaines sont utilisées principalement par les véhicules commerciaux (60% à Tokyo).

Outre les aspects évoqués dans l'approche américaine, la particularité japonaise est l'existence de péage sur toutes les voies rapides urbaines.

II.3.1. Présentation de l'expérience japonaise

A : Le recueil de données

Le recueil des données est extrêmement dense : stations de mesure des débits, vitesses et taux d'occupation tous les 300 mètres à Tokyo. Les détecteurs à ultrasons sont couramment utilisés pour leur facilité de maintenance (ces détecteurs sont aériens et disposés soit sur portiques soit en bordure d'autoroute). En 1991, il y avait 1781 détecteurs.

B : Détection et traitement des incidents

Les téléphones de secours sont installés, à Tokyo, tous les 500 mètres à l'air libre, tous les 100 mètres en tunnel. Ce qui fait, en 1991, un nombre total de 1126 de postes d'appels. Ces postes d'appels constituent un moyen approprié de détection des incidents.

D'ailleurs, la détection des incidents est faite visuellement à partir du synoptique, et grâce aux patrouilles de police et de maintenance. Les caméras de T.V. sont largement utilisées aux points névralgiques (608 à Tokyo en 1991).

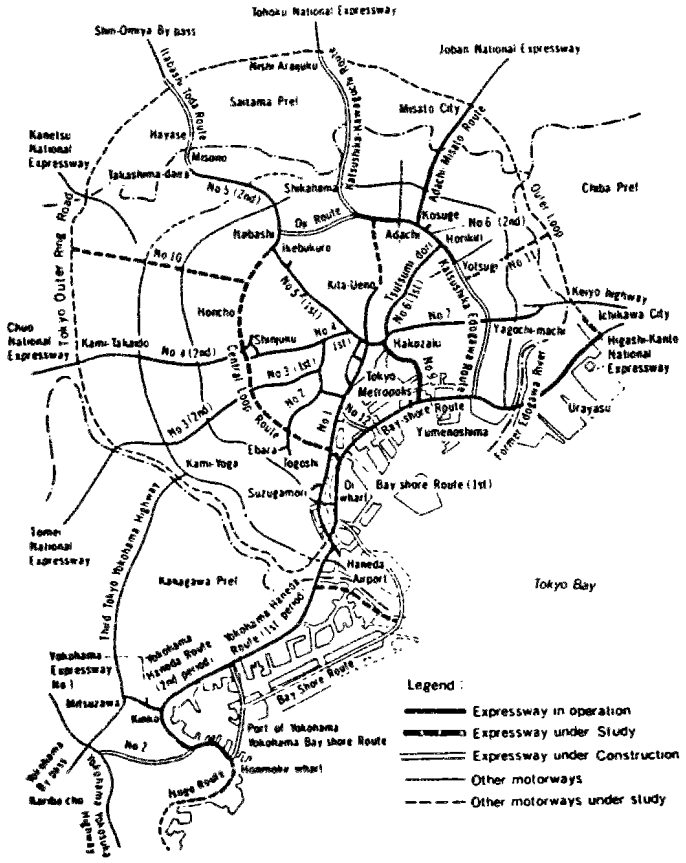


Fig.2.2 : Autoroutes métropolitaines de Tokyo

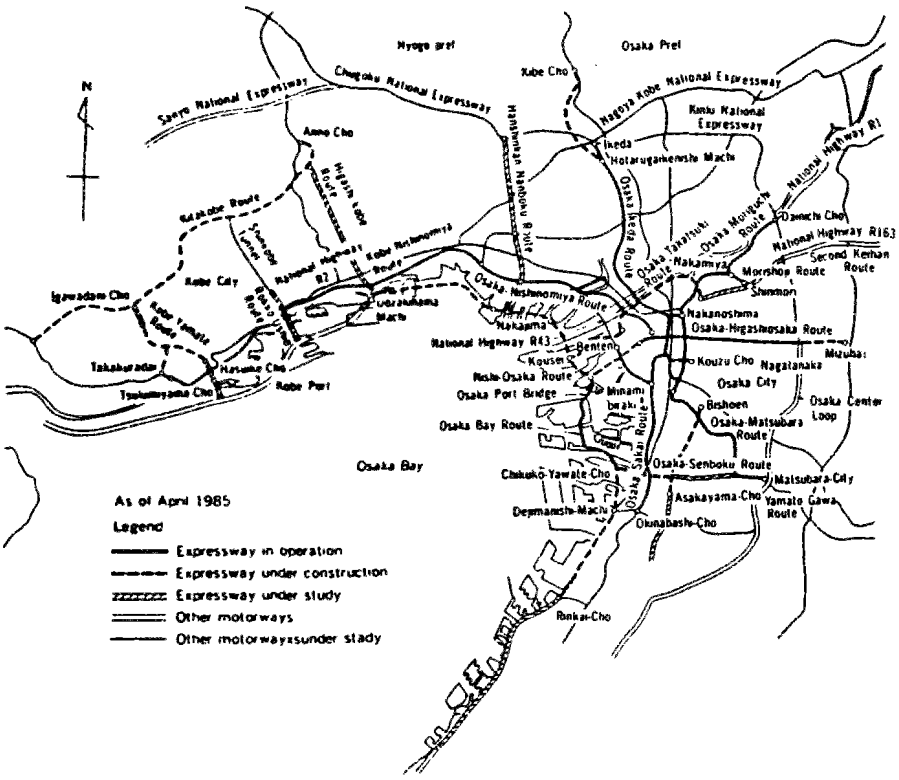


Fig.2.3 : Autoroutes de la région de Hanshin (Osaka - Kobé)

C : Contrôle d'accès

Il n'y a pratiquement pas de contrôle d'accès par feux de circulation au sens courant du terme (1 seul site équipé, sur l'autoroute Narita à Tokyo), la régulation se faisant aux péages. Mais des fermetures d'accès sont régulièrement pratiquées pour des durées d'une demi-heure à des moments fixés dans la journée et portés à la connaissance des usagers (par radio et PMV). Une certaine modulation des entrées est également possible en jouant sur la cadence des opérations de péage aux guichets.

D : Information des usagers

L'information des usagers s'effectue à travers trois moyens principaux : PMV, radio diffusion de proximité et radiodiffusion de zone. La radio est utilisée en complément des PMV pour l'information routière Les PMV du réseau de surface, au nombre de 224 en 1991, sont placés soit a proximite des acces pour donner leur état (ouvert ou fermé), soit en amont des entrées sur l'autoroute pour donner l'état du trafic de celle-ci. Les PMV situés sur les voies rapides (380 en 1991) donnent l'état du trafic sur celles-ci; en amont des divergents, ils donnent l'etat de la circulation dans les deux directions, et aux sorties d'autoroutes sur l'état du reseau de surface

Les PMV graphiques ont ete installés aux endroits où la complexité du réseau (branchement multiple) ne permettait pas de donner une information suffisamment complète et claire a l'aide des PMV classiques Du fait de leur coût élevé (trois fois plus qu'un PMV ordinaire), de leur taille et de la technologie utilisée, l'utilisation des PMV graphiques est limitee (au nombre de 18 en 1991).

Les PMV japonais donnent exclusivement des informations sur le trafic et non un message de conseil sur l'itineraire a emprunter La commande des PMV est entièrement automatique, grâce à la densite du recueil de données qui permet d'évaluer précisément les caractéristiques des bouchons position de la tête, de la queue et longueur. Il convient de souligner un gros avantage du langage japonais sur le langage alphanumérique en necessitant pour un même message moins de signes, le japonais permet d'afficher plus d'information[4]

[4]par exemple: les messages comme "sur autoroute de HIGASHI /Accident/Bouchon/2 km" et "entre CHIBA et ANAGAWA/Travaux/Bouchon 3 km" ne nécessitent que six caractères.

E : L'organisation fonctionnelle

L'établissement public prend en charge les tâches de surveillance (Observation de synoptique et gestion du réseau d'appel d'urgence) et la gestion des PMV. Lorsqu'un incident se produit, l'opérateur prévient la police, les pompiers, les autres autoroutes, etc. Les fonctions de péage et de maintenance sont sous-traitées de même qu'au CNIR[5] japonais la fonction d'information aux usagers.

II.3.2. Analyse et réflexion

La pratique de la régulation au Japon révèle trois potentialités liées à l'utilisation du péage. Premièrement, la tarification théoriquement permet d'agir sur la demande. Deuxièmement, l'étalement des flux de trafic sur les autoroutes urbaines peut être maîtrisé via le rythme de perception des péages. Troisièmement, les péages peuvent être utilisés pour financer de nouvelles infrastructures. Mais une telle politique nécessite l'existence d'un transport en commun bien développé. On s'accorde néanmoins à penser que le péage sera un jour appliqué sur la plupart des RVR.

Un autre trait particulier de l'approche japonaise est le recours important à l'information envers les usagers. Nous avons vu de façon chiffrée combien les PMV tiennent une place importante dans le système japonais. La stratégie adoptée est de donner des messages d'information plutôt que des conseils d'itinéraire. L'automatisation complète de l'information par PMV est un atout.

II.4. LES EXPERIENCES EUROPEENNES

Par rapport aux situations américaine et japonaise, l'exploitation des RVR en Europe présente un retard certain (à l'exception du système SIRIUS). Néanmoins, certaines expériences menées en Allemagne, en Angleterre, en France et aux Pays-Bas apportent tout de même des éléments de réflexion pour l'amélioration du fonctionnement des RVR.

[5]CNIR: Centre National d'Information Routière.

II.4.1. L'expérience allemande

L'exemple allemand d'exploitation des RVR étudié porte sur le réseau d'autoroutes Münster-Wuppertal situé dans un environnement périurbain. Il s'agit d'un corridor (fuseau d'environ 90 km) offrant plusieurs opportunités de cheminement (cf. Fig.2.4).

Le recueil des données est moins dense que ceux des Etats-Unis et du Japon. L'originalité du système allemand est d'obtenir au moyen de boucles simples une bonne estimation de la vitesse moyenne sur 5 mn (et une classification des véhicules légers et des poids lourds). Ce pré-traitement des données s'effectue localement. La détection des incidents se fait par des moyens manuels : réseau d'appel d'urgence, patrouilles de police et équipes de maintenance. Très peu de sites sont équipés de contrôle d'accès.

L'information des usagers est utilisée comme moyen de régulation. Elle utilise comme support la radio et les panneaux de signalisations variables. Les panneaux régulent un axe (brouillard, ralentissement, etc.) ou un itinéraire (délestage). La régulation d'itinéraire par panneaux de signalisation variable de direction constitue l'originalité du système allemand de gestion des autoroutes urbaines. La police est chargée de la gestion des panneaux de signalisation variable de direction.

II.4.2. L'expérience anglaise (Autoroute M25 à Londres)

L'expérience anglaise se focalise principalement sur l'exploitation de l'autoroute M25 dans le périmètre de Londres. D'une longueur de 188 km, elle est comparable à notre A86. Elle comporte 31 échangeurs et intercepte une quinzaine d'autoroutes radiales. Initialement conçue comme une voie de transit, un rôle de desserte est venu s'y ajouter, de sorte que le niveau du trafic atteint conduit à une congestion régulière aux heures de pointe du matin et du soir

Actuellement, cet axe est équipé d'un système d'exploitation dynamique avec un système de RAD constitué de capteurs simples tous les 500 mètres, d'une DAI, d'un RAU[6], et d'un système de PMV. L'ensemble du système d'exploitation est piloté automatiquement.

[6]RAU : Réseau d'Appel d'Urgence.

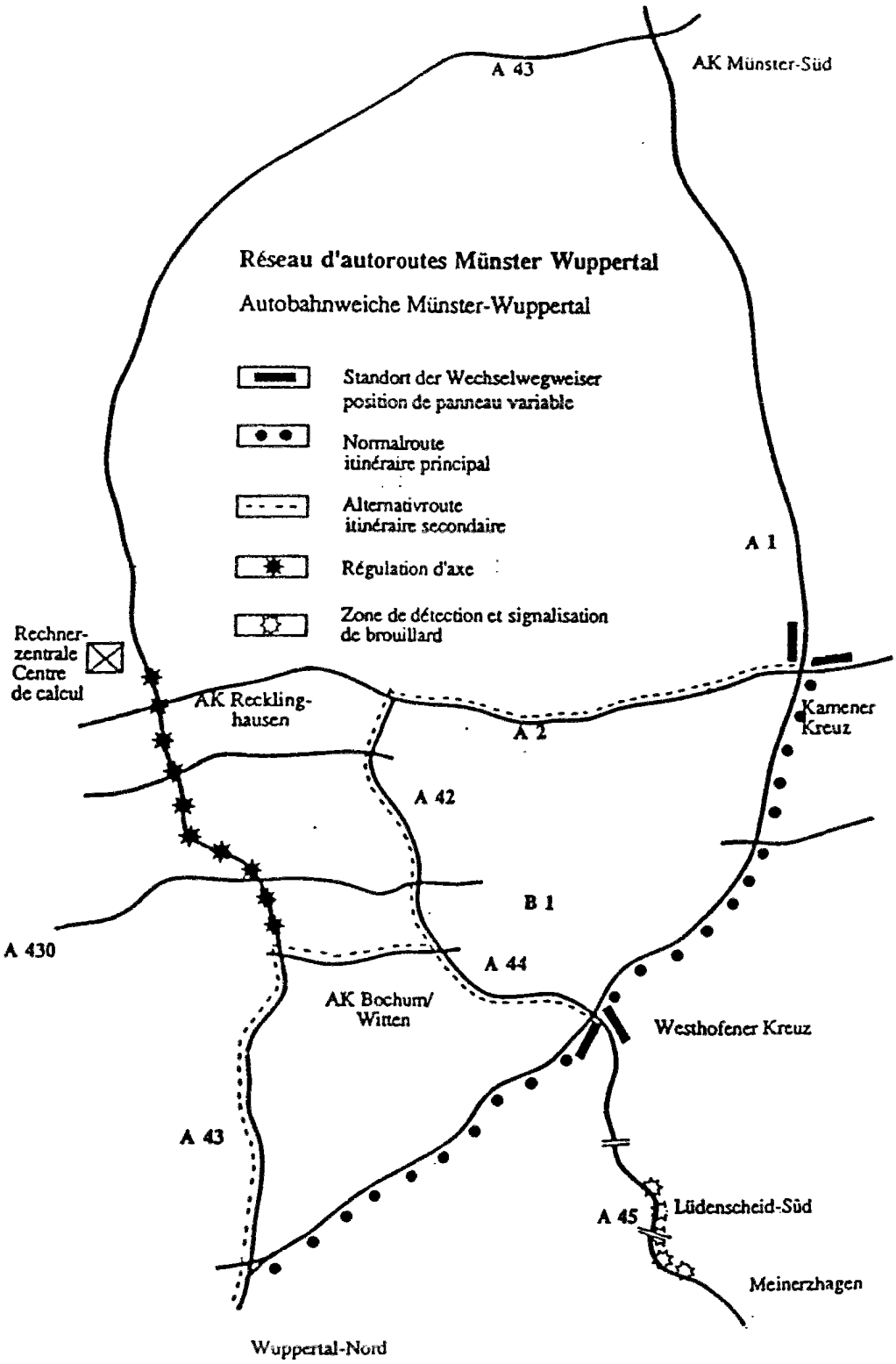


Fig.2.4 : Réseau d'autoroutes de Münster Wuppertal (Allemagne)

Cet axe n'est pas équipé de système de contrôle d'accès. L'unique régulation du trafic pratiquée est réalisée par l'information des usagers au moyen de PMV à matrice de lampe situés sur le terrain plein central tous les 2 km sur les sections à 3 voies et situés sur portique tous les 500 mètres sur les sections à 4 voies. Ces panneaux sont à deux faces, ce qui permet de traiter les deux sens de circulation avec un seul panneau; ils sont dotés de 4 feux clignotants et peuvent indiquer des mentions de vitesse limite recommandée, d'affectation de voie et fin de perturbation.

II.5. ETAT DE L'ART DES STRATEGIES ET DES OUTILS

II.5.1. Les stratégies d'exploitation

A : La diversité des problèmes de congestion

La répartition de la congestion selon les causes est différente pour les différents réseaux. Chaque exploitant met en oeuvre des stratégies d'exploitation en fonction du problème majeur (bouchon récurrent ou perturbation aléatoire) à traiter sur le réseau dont il a la charge. A partir de notre démarche de questionnaire citée à l'introduction, on obtient le tableau de répartition de la congestion selon les causes principales pour les cinq systèmes américains (voir Tableau 2.2).

Système	Préoccupation du système	Bouchons récurrents	Accidents	Travaux	Mauvais temps
New Jersey Turnpike	Incidents	20%	60%	17%	3%
Texas Traffic Management	Congestion récurrente	-	-	-	-
California	Congestion récurrente et incidents	40%	50%	5%	5%
Illinois Traffic System Center	Congestion récurrente et incidents	40%	25%	25%	10%
INFORM Long Island	Congestion récurrente	60%	15%	15%	10%

Tableau 2.2 : Répartition de la congestion selon les causes pour cinq systèmes américains

Il en ressort du tableau 2.2 que les incidents (accidents + travaux) restent la cause principale de la congestion pour trois réseaux sur cinq. Ces chiffres confirment la politique prioritaire de la gestion des incidents dans l'exploitation des RVR aux Etats-Unis pour l'objectif de sécurité mais aussi pour l'objectif de fluidité.

Diverses stratégies ont été développées et mises en oeuvre pour la gestion du trafic sur les RVR. On peut les résumer en trois catégories :

- stratégies pour la gestion des bouchons récurrents,
- stratégies pour la gestion de la demande,
- stratégies pour la gestion des incidents.

B : Stratégies pour la gestion des bouchons récurrents

Les bouchons récurrents sont actuellement gérés, pour la plupart des RVR, par l'utilisation des systèmes de surveillance, des systèmes d'information et des systèmes de régulation. Les systèmes de surveillance recueillent des informations permettant de prendre des mesures adaptées d'exploitation et de retarder l'apparition de la congestion récurrente.

L'information diffusée en temps réel peut améliorer la fluidité de trafic par une meilleure répartition des flux et peut améliorer la sécurité en permettant une réduction des accidents en queue de bouchons. Selon l'évaluation du système INFORM, il y a 5% de réduction des accidents après la mise en service du système INFORM (1989) par rapport à l'année 1988 à l'époque où le système n'était pas en service.

Les PMV sont utilisés par tous les systèmes d'exploitation des RVR existants comme un moyen de communication avec les usagers. Le tableau 2.3 résume les stratégies d'utilisation de PMV pour les cinq systèmes américains. On constate que les PMV américains sont utilisés principalement pour la gestion des incidents, pour donner des informations de guidage et de déviation, qu'ils sont implantés notamment sur les réseaux autoroutiers et qu'il y a très peu de PMV implantés sur les réseaux associés (à l'exception du système INFORM) pour donner des informations sur l'état du trafic sur autoroute.

Les systèmes de régulation au sens propre du terme sont essentiellement des contrôles d'accès. Comme on constate sur le tableau 2.3, le contrôle d'accès est

généralisé aux Etats-Unis. La stratégie la plus répandue est une stratégie locale et adaptative. La coordination de plusieurs accès commence à se développer dans la mesure où elle permet d'avoir un fonctionnement optimal sur une zone étendue.

Système		New Jersey Turnpike	Texas Traffic Management	California	Illinois Traffic System Center	INFORM Long Island
Stratégies d'affichage des PMV (types de messages)	Bouchon	•			•	•
	Incident	•	•	•	•	•
	Temps de parcours					
	Régulation de vitesse	•			•	
	Guidage	•	•	•	•	
	Déviation	•	•	•	•	•
Localisation des PMV	Divergent	•	•	•	•	•
	Section courante		•		•	
	Reseau associe					•
Commande des PMV	Manuelle			•		
	Manuelle assistee		•	•	•	•
	Automatique	•	•			
Stratégies de contrôle d'accès	Fixe			•		
	Adaptative locale	•	•	•	•	•
	Coordonnee	•			•	•

Tableau 2.3 : Stratégies d'utilisation des PMV et des contrôles d'accès pour les systèmes américains

C : Stratégies pour la gestion de la demande

De toute évidence, les RVR ne peuvent plus satisfaire l'augmentation sans cesse de la demande. La gestion de la demande sera appelée à jouer un rôle important dans les années à venir pour la plupart de ces réseaux. On peut distinguer deux modes de régulation de la demande : la tarification de l'utilisation d'infrastructure et les stratégies

de contrôle d'accès. On a vu précédemment que la tarification a fait l'objet d'application au Japon.

La stratégie coordonnée de contrôle d'accès est par nature une régulation de la demande au sens où elle permet de contrôler le nombre de véhicules entrant sur les voies rapides. La stratégie coordonnée est théoriquement faisable et bénéfique pour un optimum collectif, mais elle s'avère difficile à mettre en oeuvre du fait de multiples contraintes comme la capacité de stockage sur les rampes, l'effet sur les réseaux associés, etc..

La politique d'accès prioritaire et des voies réservées aux véhicules à fort taux d'occupation (2, 3 ou plus de personnes) et aux véhicules de transport en commun est une particularité de l'approche américaine. Cette politique a pour objectif d'inciter les automobilistes ayant même origine et destination de se grouper pour leur déplacement quotidien. Elle contribue ainsi à l'amélioration de la circulation par une réduction de la demande en terme de nombre de véhicules.

Mais la mise en oeuvre d'une telle politique nécessite l'aménagement ou la construction de nouvelles infrastructures, ce qui est difficile pour la plupart des RVR situés dans un tissu urbain déjà dense et encombré. De plus, l'efficacité de la politique de voies réservées aux véhicules à fort taux d'occupation dépend de la culture des automobilistes et d'autres facteurs socio-économiques comme l'organisation du travail et l'aménagement du territoire.

D : Stratégies pour la gestion des incidents

Prévisibles ou aléatoires, des incidents sur réseau de voies rapides rendent la capacité de la chaussée inférieure à la demande. La congestion due aux incidents est appelée congestion non-récurrente. Cette dernière est dépendante de la durée d'incident, du nombre de voies neutralisées et du volume de la demande au moment d'un incident. Typiquement, selon les études américaines, un incident induisant la neutralisation d'une voie sur une chaussée comportant trois voies diminue de 50% la capacité et on observe 80% de réduction pour la neutralisation de deux voies. Même un véhicule en panne sur bande d'arrêt d'urgence peut provoquer une perte de 25% de la capacité d'une chaussée de trois voies. La gestion efficace des incidents présente donc un enjeu fort du point de vue de la sécurité et du point de vue de la fluidité.

La première étape dans la gestion des incidents aléatoires consiste à détecter l'apparition (l'existence) d'un incident (accident notamment). La détection automatique des incidents à partir des données issues de capteur s'impose dans tous les systèmes d'exploitation. La méthode élémentaire de la DAI en temps réel exige des données tels le débit, le taux d'occupation et la vitesse par rapport à des seuils préfixés. Pour les algorithmes de la DAI, quand il y a un changement anormal dans l'écoulement du trafic (réduction de volume, de vitesse et augmentation de TO), une alarme sera déclenchée pour signaler un incident (ou une congestion).

L'examen des données peut identifier les effets des incidents sur l'écoulement du trafic, mais il ne peut pas déterminer la nature des incidents. Pour connaître la nature des incidents, il faut avoir recours à d'autres moyens d'observation directe des incidents (caméras, ou patrouille envoyée sur place).

L'étape suivante consiste à traiter des incidents. Le traitement des incidents est une tâche complexe car il associe les aspects techniques, organisationnels (coordination entre plusieurs acteurs par exemple) et juridiques. On constate une diversité d'organisation pour le traitement des incidents (accidents) à travers les RVR du monde entier. Du point de vue de gestion du trafic, le traitement efficace des incidents implique la mise en place des plans de gestion du trafic et la mise en oeuvre des consignes entre plusieurs services concernés.

II.5.2. Evaluation des outils existants

A : Les algorithmes de la DAI

Ce qui précède a montré que la détection automatique des incidents (DAI) présente un enjeu important pour l'efficacité de la gestion des incidents. Il est intéressant de connaître la performance de la DAI parmi les expériences étrangères. Une étude d'évaluation des algorithmes de la DAI a été réalisée aux Etats-Unis par Kevin N. Balke en 1993. Le tableau 2 4 montre la performance des différents algorithmes de la DAI, évaluée par cet auteur à partir des résultats disponibles dans la littérature.

Certaines remarques relatives à cette étude sont nécessaires :

- L'évaluation a été réalisée uniquement sur les résultats apparus dans la littérature. Ces algorithmes n'ont pas été testés dans des conditions similaires (sites, données, méthodes...), les résultats d'évaluation sont donc difficilement comparables.

- Les évaluations existantes dans la littérature sur lesquelles l'auteur s'appuie ont été faites en temps différé avec des tests limités.

- Le critère du taux de fausses alarmes utilisé est défini comme la proportion de fausses alarmes sur une seule section par rapport au nombre total de tests. Ainsi, les résultats présentés ici donnent l'impression d'une performance "extraordinaire" par rapport à ce critère. Or il faut noter que la définition retenue ne s'adapte pas tout à fait à l'exploitation opérationnelle sur un réseau étendu car elle ne permet pas de connaître la fréquence réelle de fausses alarmes. Pourtant, cette dernière s'avère primordiale pour juger l'utilité opérationnelle de la DAI car si les fausses alarmes sont trop fréquentes, l'opérateur ne peut pas les vérifier et progressivement, il ne fait plus confiance à cet outil, voire il ne s'en sert plus.

- Le temps moyen de détection fait référence à l'instant où l'incident est signalé par l'opérateur. Cet instant n'est généralement pas le moment exact de l'apparition de l'incident. En réalité, l'intervalle du temps entre le moment où l'incident se produit et celui où l'opérateur le découvre peut varier considérablement selon des moyens dont disposent les opérateurs pour la surveillance du trafic.

Tableau 2.4 : Performance des algorithmes existants de la DAI

Algorithme	Taux de détection	Taux de fausses alarmes	Temps moyen de détection	Niveau de complexité	Facilité d'intégration
Californien					
Basic	82%	1.73%	0.85 min	peu élevé	facile
Algorithme #7	67%	0.134%	2.91 min	moyen	facile
Algorithme #8	68%	0.177%	3.04 min	moyen	facile
APID	86%	0.05%	2.5 min	moyen	facile
Standard Normal Deviate	92%	1.3%	1.1 min	peu élevé	difficile
Bayesian	100%	0%	3.9 min	peu élevé	moyenne
Time-Series ARIMA	100%	1.5%	0.4 min	élevé	difficile
Exponential Smoothing	92%	1.87%	0.7 min	moyen	moyenne
Low-Pass Filter	80%	0.3%	4.0 min	moyen	facile
McMaster	68%	0.0018%	2.2 min	moyen	moyenne

Au vu de ces éléments, il convient donc de prendre ces résultats avec précaution. D'ailleurs, il est important de noter que, dans l'état actuel, sur un réseau maillé de voies rapides, la DAI ne paraît pas être très performante. L'étude effectuée par ce même auteur sur le terrain a d'ailleurs confirmé ce constat.

A l'occasion de cette recherche, M. Kevin a en effet visité 7 centres d'exploitation aux Etats-Unis et au Canada dans l'objectif de connaître les types d'algorithmes de la DAI utilisés et le rôle joué par la DAI dans la gestion des incidents. Il en ressort que seulement 4 sur 7 systèmes d'exploitation (Los Angeles, Northern, Chicago et Toronto) utilisent effectivement un algorithme de la DAI. A l'exception du système de Toronto, les trois autres systèmes utilisent tous une version modifiée de l'algorithme Californien[7]. Le système de Toronto a remplacé récemment l'algorithme de la famille de l'algorithme Californien par l'algorithme "McMaster".

Il est à noter qu'aucun de ces systèmes ne dispose de données quantitatives concernant la performance des algorithmes de la DAI. Aucun rapport d'exploitation ne permet d'avoir des résultats précis et cohérents.

Force est de constater que les opérateurs ne s'appuient pas vraiment sur les algorithmes de la DAI pour la détection des incidents. La plupart du temps, les opérateurs connaissent l'apparition des incidents par d'autres moyens tels les rapports de patrouille de police ou les caméras de surveillance [KEVIN, 1993].

Sur les trois autres systèmes visités par cet auteur, une version modifiée de l'algorithme Californien avait été utilisé mais ensuite abandonnée à cause d'un niveau

---

[7]L'algorithme californien ou californien modifié, repose sur l'observation des discontinuités provoquées par la réduction de capacité due à un incident. Les effets de remontée des perturbations sont par suite appréhendés par le biais de fonctions des valeurs mesurées ou estimées de taux d'occupation (TO).

On note TO(i, t) le TO mesuré au droit de la station i, à l'instant t, l'indice i croissant dans le sens du trafic. Une alarme est déclenchée, selon l'algorithme californien, lorsque les trois inégalités suivantes sont simultanément vérifiées

$$TO(i,t) - TO(i+1,t) > K_1$$

$$\frac{TO(i,t) - TO(i+1,t)}{TO(i,t)} > K_2$$

$$\frac{TO(i+1,t-2) - TO(i+1,t)}{TO(i+1,t-2)} > K_3$$

K_1, K_2, K_3 désignant des seuils à calibrer [COHEN, 1990].

élevé de fausses alarmes. Le problème de calibrage semble être la raison principale du niveau élevé de fausses alarmes pour ces systèmes.

Pour le système SIRIUS, la DAI a été implanté dans le système informatique, mais l'opérateur ne s'en sert pas pour la détection de l'existence des incidents pour des raisons diverses (le nombre important de fausses alarmes, par exemple). Mais la raison profonde est que, dans la pratique actuelle d'exploitation de ce réseau, la DAI n'est pas prioritaire par rapport à la DAB. La détection des incidents se fait par le RAU et les patrouilles de polices. A notre avis, il y a un effort à effectuer pour faire fonctionner la DAI afin de réduire le temps de détection des incidents.

B : En ce qui concerne la détection automatique de bouchons (DAB)

La DAB est une partie intégrante de tous systèmes d'exploitation des RVR. Dans la littérature, il n'y a pas de travaux portant sur l'évaluation de la performance de la DAB utilisée dans les systèmes opérationnels. L'approche de la DAB utilisée par la plupart des systèmes d'exploitation est simple et empirique. Selon les résultats de questionnaires que nous avons envoyés, sur les 5 systèmes américains enquêtés, trois exploitants ont jugé que la performance de leur DAB est satisfaisante, un exploitant mentionne que la DAB n'est pas satisfaisante dans son système d'exploitation.

Il convient de signaler que ce résultat est une estimation subjective de la part des exploitants. De plus, les systèmes de PMV américains ont pour mission principale la gestion des incidents La DAB est moins prioritaire pour les systèmes américains par rapport au systeme SIRIUS dans la mesure où ce dernier s'est vu assigner une fonction principale d'information dynamique des usagers par l'annonce des bouchons.

Pour ce dernier, la DAB est essentielle pour la crédibilité des systèmes d'information par PMV du fait que les résultats de la DAB servent directement à la composition des messages. Nous mènerons une étude approfondie du problème de la DAB qui donnera lieu à une analyse détaillée au chapitre VI.

C : En ce qui concerne l'utilisation des outils de simulation

Le résultat d'enquête par questionnaire fait qu'il y a seulement 1 système (à Taxes, Computerized Traffic Management System) qui avait utilisé un outil de simulation (FREQ) dans l'exploitation pour analyser les mesures d'exploitation (en temps différé). Ce résultat confirme notre analyse du chapitre suivant. En fait, l'utilisation ou

l'intégration d'un outil de simulation au sein d'un système d'exploitation reste encore un terrain vierge.

Or, à mesure du développement des systèmes sophistiqués d'exploitation, la simulation est une nécessité pour certains problèmes comme la reconstitution des données manquantes ou l'aide au choix des stratégies de régulation (contrôle d'accès) et des stratégies d'information (messages des PMV). Une des raisons de l'absence d'outil de simulation au sein du système informatique des systèmes d'exploitation de RVR est que la plupart des systèmes sont en train d'être mis au point. Pour cette phase de développement, la préoccupation des exploitants est de rendre les systèmes opérationnels avec des stratégies simples, ce qui laisse voir les potentialités d'utilisation des outils de simulation afin d'accroître l'efficacité des systèmes d'exploitation.

II.6. LES GRANDS PROGRAMMES INTERNATIONAUX

Confrontés à des niveaux croissants de congestion, les pays industrialisés ont manifesté un grand interêt de recherche et de développement de nouvelles approches de gestion du trafic afin d'optimiser l'utilisation des infrastructures existantes. La potentialité des nouvelles technologies a conduit, a partir des données 80 et de par le monde, à un nombre important de projets de recherche et de développement ainsi qu'à des idées nouvelles de gestion du trafic PROMETHEUS et DRIVE[8] en Europe, CACS, RACS et AMTICS[9] au Japon et, IVHS et PATH[10] aux Etats-Unis figurent parmi les programmes internationaux les plus en vue dans ce domaine

IVHS et DRIVE ont etc destines principalement au développement des systèmes avancés de regulation et d'information des usagers. PROMETHEUS, CACS, RACS et AMTICS se sont orientes vers les aides à la conduite par des systèmes embarqués. PATH s'est dirigé vers le developpement d'autoroute automatique. On assiste ainsi à une tendance de développement des reseaux routiers intelligents avec lesquels les véhicules intelligents pourront communiquer

[8]PROMETHEUS : Program for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety.
DRIVE : Dedicated Road infrastructure for Vehicle Safety in Europe.
[9]CACS : Comprehensive Automobile Traffic Control System.
RACS : Road Automobile Communication System.
AMTICS : Advanced Mobile Traffic and Communication System.
[10]IVHS : Intelligent Vehicle Highway Systems
PATH : Program on Advanced Technology for Highway.

Aujourd'hui, ces efforts de recherche et de développement ont atteint le stade de la réalisation sur grande échelle d'essais sur le terrain et de la mise en oeuvre de système de pilotes. Un groupe de spécialistes de l'OCDE[11] a publié en 1992 un rapport d'évaluation des recherches sur les systèmes de communication : route-véhicule. Ces programmes mondiaux auront une forte influence sur le secteur de l'exploitation des RVR. Dès à présent, l'exploitation des RVR doit prendre en compte ces éléments nouveaux afin de se préparer à les intégrer progressivement dans les processus d'exploitation. Les analyses qui suivent, et en particulier celles qui portant sur les difficultés de mise au point d'un système performant de RAD, tendent toutefois à penser qu'il s'agit d'un processus qui devra être géré sur le long terme.

II.7. LES ENSEIGNEMENTS

II.7.1. Enseignements généraux

A : Une approche pragmatique et empirique

Dans le domaine d'exploitation des RVR, on assiste actuellement à une tendance croissante vers le développement des systèmes de gestion dynamique de la circulation par la commande des feux aux accès autoroutiers et des systèmes dynamiques d'information du conducteur. La plupart des grandes agglomérations ont équipé ou sont en train de construire leur propre système d'exploitation de RVR. Les expériences étrangères sont caractérisées par un pragmatisme dans la stratégie d'exploitation. Les systèmes de surveillance et de régulation du trafic apparaissent efficaces non seulement pour la congestion récurrente, mais surtout pour les congestions dues aux incidents. Par exemple, selon l'étude du Ministère de Transport d'Ontario, le système d'exploitation de Queen Elizabeth Way in Mississauga (Ontario) a conduit une réduction de 22% de la collision et une augmentation de 45% de la vitesse moyenne et une réduction de 21% de retard (nous avons toutefois noté la nécessité d'accueillir ces évaluations avec une certaine prudence).

B : Limite et potentialité de l'exploitation des RVR

Le pragmatisme de l'exploitation a apporté des améliorations au fonctionnement des RVR. Mais son efficacité est limitée du fait de l'absence de stratégies élaborées et nécessite des développements futurs pour faire ressortir la potentialité des infrastructures

[11]OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique.

(maillage du réseau) et des technologies de pointe appliquées dans le domaine de transport.

Avec le maillage progressif des RVR, on rencontre fréquemment des situations de déséquilibre dans l'utilisation des capacités disponibles dans les réseaux. Dans ce type de situation, pour une liaison "origine-destination" donnée, certains itinéraires deviennent provisoirement plus rapides que d'autres, saturés, mais ne sont cependant pas utilisés par les conducteurs en raison de l'absence d'actions appropriées d'information et de régulation. La réhabilitation des RVR avec des équipements dynamiques d'exploitation rend possible une utilisation optimale de ces réseaux. Pour cela, il est nécessaire, à partir des expériences acquises, de réaliser les tâches suivantes :

- identification des situations de déséquilibres dans l'utilisation de la capacité disponible,
- définition des stratégies adéquates,
- mise en oeuvre de mesures de régulation en temps réel.

Sur la base de l'examen des expériences étrangères, il paraît dès lors qu'un énorme potentiel existe pour le développement d'une nouvelle stratégie d'exploitation des RVR. Pour utiliser toutes les potentialités des systèmes sophistiqués d'exploitation des RVR existants et développer des systèmes nouveaux, il est nécessaire de mener attentivement des recherches dans les domaines concernés afin d'améliorer les techniques de détection de véhicule, de développer des stratégies coordonnées de contrôle d'accès, de développer des systèmes experts, d'étudier le comportement des usagers et des modèles d'affectation et de simulation du trafic en temps réel.

L'information des usagers jouera un rôle plus important dans les futurs systèmes d'exploitation que ces défis pourront être relevés. Pour préserver la crédibilité des systèmes d'information auprès des usagers, il faut en effet s'assurer que l'information soit précise, vienne au bon moment et se révèle pertinente par rapport aux conditions de circulation et aux besoins du conducteur. Or, ceci n'est pas toujours le cas aujourd'hui où le recueil de l'information à partir des diverses sources et sa diffusion auprès des conducteurs est souvent un processus insuffisamment maîtrisé.

Les expériences françaises et étrangères laissent penser que les futurs systèmes d'exploitation des RVR continueront de faire appel aux stratégies conventionnelles tels le contrôle d'accès et des systèmes d'information. Il y a cependant des limites à ce que peut réaliser la régulation conventionnelle des flux. La régulation des itinéraires représente l'étape suivante, elle fait appel à des stratégies de déviation pour apporter des

améliorations supplémentaires en utilisant plus efficacement la capacité résiduelle du réseau. Les stratégies actuelles de déviation ne présentent qu'une efficacité limitée en raison de l'absence de sélectivité de l'information donnée au conducteur. A l'avenir, le développement des systèmes embarqués devrait conduire à un recours accru aux actions de déviation par information sélective (ou guidage) des conducteurs selon leurs propres destinations.

Fondamentalement, la démarche pragmatique qui a jusqu'alors été suivie montre à la fois son intérêt et ses limites dans la mesure où elle ne permet pas d'optimiser le fonctionnement des réseaux maillés. Le recours à des modèles de simulation semble indispensable pour enrichir cette démarche. Les plus importantes améliorations potentielles paraissent se concentrer dans la gestion des situations de déséquilibre, en particulier lors des encombrements dus aux incidents et aux chantiers non programmés de travaux routiers.

C : Information dynamique et comportement des usagers

L'évaluation des impacts d'information dynamique sur le comportement des usagers est délicate. Peu d'études rigoureuses existent à ce sujet [citons toutefois l'étude réalisée aux Etats-Unis par Steven A. Smith sur le système INFORM (1992) et l'évaluation de SIRIUS réalisée en France par l'Institut MV2 en 1992]. Les effets de couplage entre l'information et le comportement des usagers sont en particulier mal connus. A un moment où tous les systèmes d'exploitation des RVR ont recours à l'information dynamique des usagers, c'est à dire de la mise à disposition des automobilistes d'informations en temps réel sur l'état de trafic et où le comportement des usagers est identifié comme un élément important du bon écoulement de la circulation, le problème se pose très concrètement d'anticiper les effets possibles de l'information et d'opérer en conséquence des choix stratégiques (Quel système d'information pour quelle politique d'exploitation?) ou bien que tactiques (comment gérer une situation de circulation donnée avec un système donné?) [LATERRASSE, 1991a].

L'effort de recherche dans le domaine d'exploitation des RVR représente un des principaux défis afin de faire face à l'accroissement de la circulation. L'intérêt des nouvelles technologies est confirmé en Europe par le programme EUREKA (PROMETHEUS, CARMINAT) et le programme DRIVE de la Communauté Economique Européenne, aux Etats-Unis par le programme IVHS et au Japon avec le programme AMTICS.

II.7.2. Enseignements concrets

A : Pour la conception et le développement des systèmes d'exploitation

Les systèmes modernes d'exploitation des RVR ne peuvent pas être imaginés fonctionnant tout seuls Il faut trouver un bon compromis entre l'intervention des opérateurs dans différentes tâches comme l'initiation des contrôles d'accès, le changement des messages des PMV, l'affectation des tronçons pour faire la DAI et la DAB, la communication avec les autres acteurs et les médias, et la part d'initiative laissée aux usagers.

Si la théorie a encore à l'évidence beaucoup à apporter, les expériences déjà engagées montrent en même temps que l'exploitation des RVR ne peut se résumer à une science exacte. La conception et la réalisation des systèmes sophistiqués d'exploitation des RVR nécessitant l'utilisation massive des équipements électroniques et informatiques avancés doivent être suffisamment souples et adaptatifs, afin de pouvoir évoluer et prendre en compte les apports de l'expérience dans les domaines concernés.

Autre constat : la prise en compte des besoins opérationnels et de la maintenance dans la phase de conception du système d'exploitation a été souvent oubliée dans les systèmes existants. Cela a conduit à des dysfonctionnements des systèmes d'exploitation et diminue leur crédibilité vis-à-vis des usagers. Il convient de prendre en considération ces deux dimensions pour le développement des systèmes nouveaux dans la phase même de conception.

Les logiciels pilotent les systèmes d'exploitation. La compréhension et surtout la maîtrise des logiciels est un point clé pour la réussite du développement et de l'exploitation d'un système d'exploitation. Souvent, les logiciels sont développés par des entreprises privées ou par des consultants. Dans ce cas, quelqu'un du service chargé de l'exploitation doit avoir une connaissance fine des logiciels afin de pouvoir suivre leurs évolutions et formuler des cahiers de charges pour faire évoluer les logiciels en temps opportun tout en intégrant les nouveaux besoins de l'exploitant et de la maintenance.

La communication des expériences entre les exploitants des RVR est appelée à se développer dans le futur. Etant donné l'indépendance de l'exploitation des systèmes dans les différentes agglomérations, les enseignements de chaque système commencent à apparaître. La prise en compte des avances techniques, stratégiques et organisationnelles,

les approches des problèmes rencontrés sur les autres systèmes pourrait aider mutuellement les exploitants à mieux gérer leur propre système.

B : Pour la surveillance du trafic

Pour une détection rapide et précise des incidents et des bouchons, un intervalle adopté entre deux stations de mesure consécutives d'environ 500 mètres semble correct.

Une dizaine d'algorithmes de la DAI ont été développés. Mais il manque une véritable méthodologie pour évaluer objectivement ces algorithmes en intégrant des facteurs tels la définition des critères, le choix des sites et des durées de tests... Il faudrait en effet évaluer la performance des différents algorithmes avec les mêmes données et inversement, un algorithme doit être testé sur différents sites. Dans l'état actuel, on est obligé de prendre les résultats d'évaluation à titre indicatif.

En pratique, la DAI n'a pas joué le rôle qu'on lui assigne dans la mesure où les opérateurs (pour la plupart des systèmes) ne s'appuient pas vraiment sur elle pour la détection des incidents. Des améliorations doivent être cherchées sur la mise au point opérationnelle de la DAI sachant que plusieurs facteurs tels la fiabilité des données, le calibrage des paramètres interviennent, qui sont difficiles à maîtriser.

Pour la gestion des incidents, le temps est apparu comme le facteur essentiel sur lequel il faut agir pour réduire les conséquences des accidents: temps de détection, temps d'identification de la nature des accidents, temps d'organisation de l'intervention, temps de traitement, temps nécessaire pour rétablir une capacité suffisante, temps pour résorber la congestion . L'organisation de l'exploitation et la coordination des acteurs concernés apparaissent bien, au-delà des efforts à faire pour améliorer les outils disponibles, comme un élément essentiel pour réduire chacun de ces temps et minimiser la perturbation des accidents sur l'ecoulement du trafic.

C : Pour l'information des usagers par PMV

Les PMV ont pour avantage essentiel de s'adresser à tous les conducteurs en un point de l'axe, à un moment donné (variation possible des informations). Mais en contre partie, l'exploitant ne peut afficher que des messages concis (courts ou codifiés) et en nombre limité. Il en résulte un certain nombre d'options que le gestionnaire devra préciser pour appliquer une stratégie d'information au cas particulier de son réseau. Il faut pour cela définir des priorités au choix de la population ciblée, de la localisation des

PMV, du type de messages à délivrer et du mode de commandement des PMV (par exemple, choix entre une information locale, adaptée à des messages de sécurité, et une information plus globale, qui serait adaptée à une stratégie de régulation).

Le maintien de la fiabilité de l'information délivrée par PMV doit être la priorité absolue des systèmes d'information. Pour un réseau de la taille de celui d'Ile-de-France, compte tenu du nombre important des PMV à gérer, la meilleure solution est d'avoir un mode de composition et d'affichage automatique mais sous le contrôle de l'opérateur, à qui il appartient de contrôler, la pertinence et la cohérence des messages.

Dans l'état actuel du développement d'information des usagers par PMV, l'information factuelle est un choix stratégique pour la plupart des RVR, y compris dans l'objectif de répartition des flux. On laisse les automobilistes faire leur choix en fonction des messages affiches Par-dessus tout, le problème de l'acceptation par les automobilistes revêt une importance primordiale pour l'efficacité de ces systèmes. La prise en compte des messages dans les stratégies de déplacement nécessite un temps d'adaptation de la part des automobilistes. L'utilisation en France de PMV est relativement récente dans le domaine de la circulation routière. Il est impératif de les utiliser avec discernement, en choisissant une stratégie d'affichage essentiellement voire purement informative

La radio est tres utilisee au Japon et aux Etats-Unis comme moyen complémentaire d'information des usagers Il n'est pas impossible que le système SIRIUS souffre d'une faiblesse dans ce domaine, par l'absence de relais radio efficaces [DE BALINCOURT, 1989].

D : Pour le contrôle d'accès

Le contrôle d'acces est un moyen actif de régulation du trafic sur RVR agissant directement sur la demande Il existe différentes stratégies : stratégie locale, stratégie coordonnée et fermeture d'acces pour une période déterminée (une demi heure par exemple) durant les heures de pointe Pour être efficace, l'utilisation du contrôle d'accès doit faire l'objet d'information des usagers.

Cependant l'efficacite de ce type de régulation va rapidement plafonner du fait de l'absence de stratégie à l'échelle du réseau. Les stratégies de déviation doivent constituer l'étape suivante qui devrait permettre une amélioration de l'écoulement du trafic en

mettant à profit l'existence de capacités temporairement disponibles sur le réseau (en cas d'incident, par exemple).

*

* *

En conclusion, des possibilités nouvelles d'exploitation des RVR sont maintenant concevables grâce au progrès technique, et plus particulièrement au développement de la micro-électronique, de l'informatique et des systèmes experts. Ces techniques permettent de franchir une étape nouvelle de l'exploitation des voies rapides, mais cela nécessite une réflexion approfondie sur les objectifs recherchés[12].

Les progrès rapides des technologies de l'information (systèmes embarqués) devraient être à terme intégrés aux stratégies de régulation. Les outils traditionnels (contrôle d'accès, PMV etc.) devront être cependant encore améliorés, et ont encore à notre avis des marges d'évolution importantes.

L'exploitation des RVR va s'orienter de plus en plus vers l'intégration (la gestion commune, liée) des techniques de régulation, d'information et d'entretien du réseau. Les contrôles d'accès doivent se généraliser et faire l'objet de stratégies globales, dont on peut penser qu'elles s'accompagneront de plus en plus de la mise en place de systèmes de péage. L'information routière sous toutes ses formes devrait jouer un rôle fondamental dans les dispositifs futurs.

[12]Sur le RVR d'Ile-de-France, on peut par exemple constater deux stratégies d'exploitation différentes (affichage des bouchons par le SIER, affichage des temps de parcours par la Ville de Paris sur le Boulevard Périphérique) qui correspondent à des objectifs différents.

Chapitre III :

INVENTAIRE ET ANALYSE DES OUTILS DE SIMULATION

III.1. INTRODUCTION DU CHAPITRE

Le recours à la simulation s'impose dans le domaine du trafic routier, comme un moyen d'investigation privilégié. Les exigences de sécurité, les difficultés et les coûts de réalisation des expériences militent pour l'élaboration d'outils susceptibles de tester a priori, d'évaluer et de comparer plusieurs variantes d'exploitation.

Nous avons indiqué dans l'introduction générale les problèmes et les enjeux de l'exploitation des RVR. Pour poursuivre des objectifs de gestion et en particulier pour utiliser au mieux les possibilités offertes par le maillage des réseaux et les nouvelles technologies (notamment les systèmes d'information dynamique des usagers), les exploitants ont besoin de disposer d'outils de simulation opérationnels. Ces derniers sont indispensables relativement à divers problèmes d'exploitation des RVR, tels la définition de stratégies de contrôle d'accès, l'aide au choix de stratégies d'exploitation en cas d'incidents, l'évaluation des systèmes d'information, etc.

Mais on constate que pratiquement aucun des systèmes sophistiqués d'exploitation de ces réseaux dans le monde ne possède d'outil de simulation opérationnel. Cette constatation nous amène à réfléchir sur les causes de cette absence d'outils de simulation dans l'exploitation quotidienne. En contre partie, la recherche en modélisation du trafic autoroutier a commencé dans les années 50 et un grand nombre de modèles existent déjà de par le monde. Dès lors, il apparaît opportun de dresser un bilan des modèles existants afin de :

- comprendre pourquoi les modèles existants n'ont pas été utilisés dans l'exploitation opérationnelle,
- dégager ceux qui seraient susceptibles d'être directement utiles dans l'exploitation des RVR et en particulier de celui d'Ile-de-France.

III.2. INVENTAIRE DES OUTILS DE SIMULATION DU TRAFIC AUTOROUTIER EXISTANTS

III.2.1. Historique

Avant d'entrer dans la description des modèles, il nous paraît intéressant d'analyser quelques éléments historiques à l'origine de leur développement.

Dans l'histoire du développement des modèles de trafic, la première question qui s'est posée fut de savoir comment appréhender le trafic et le prévoir. Des théories de trafic cherchant à répondre à ces questions ont été mises au point dans les années 50. C'est alors qu'ont été élaborés les premiers modèles mathématiques de trafic [LESORT, 1989]. Depuis, les modèles se sont imposés comme indispensable aux décideurs, tant pour l'élaboration de nouvelles infrastructures que pour la régulation du trafic.

Confrontés au problème de la congestion des infrastructures routières, les pouvoirs publics disposaient de deux moyens d'action : accroître la capacité du réseau en réalisant des travaux d'aménagement (planification d'autoroutes, maillage du réseau, etc.), et développer des techniques permettant la régulation du trafic.

Historiquement, c'est vers le développement des infrastructures routières que se sont d'abord portés les efforts. Mais les modèles d'affectation de trafic sont nés dans cette exigence [HUMBERT, 1993].

Les modèles d'affectation de trafic sont statiques, macroscopiques et conceptuels et sont surtout utilisés comme outils de planification et comme aides à la conception d'aménagements lourds et à la construction d'infrastructures nouvelles.

Mais l'extension des réseaux s'est rapidement révélée insuffisante pour absorber la totalité du trafic. Aussi, fallut-il recourir à une autre approche fondée sur la prise en compte de la dynamique de l'écoulement du trafic.

Le point de départ de cette nouvelle approche repose sur l'assimilation du trafic à un phénomène physique : un flot de véhicules s'apparentant soit à un fluide, soit à un ensemble de particules s'écoulant dans un réseau complexe. Il existe alors deux façons d'appréhender le trafic, apparues simultanément, qui ont donné lieu à deux courants de modélisation tant dans leurs outils conceptuels que dans leurs applications.

Ainsi, un premier courant de modélisation assimile le trafic à un flux et utilise les bases conceptuelles de l'hydrodynamique (modèle de PAYNE). Ce type de modèle, dynamique, macroscopique et conceptuel (utilisant la représentation analogique avec un fluide) était initialement destiné à améliorer la planification et le dimensionnement des réseaux. Puis ils furent petit à petit une place dans la gestion du trafic (au niveau des carrefours à feux).

Pendant que cette voie de recherche progressait lentement, un second courant de modélisation engendrait un véritable engouement par son caractère extrêmement réaliste. Jouissant par ailleurs des progrès considérables de l'informatique et de l'extension des capacités de mémoire, la modélisation microscopique s'est imposée depuis quelque temps comme une voie très prometteuse.

Elle se distingue de la précédente par la prise en compte explicite de chaque véhicule dont elle décrit la réaction à l'environnement immédiat, c'est-à-dire l'accélération instantanée en fonction du comportement de la voiture qui le précède sur la chaussée (loi de poursuite[1])

Toutefois, cela ne va pas sans inconvénients : ces modèles (microscopiques) requièrent en effet une grande quantité de données, une taille de programme et un volume de calculs considérables, qui rendent délicate leur validation et illusoire leur utilisation en temps réel. C'est une des limites de leur application pour la simulation du trafic autoroutier

Or la modélisation est de plus en plus nécessaire non plus pour la construction de nouvelles infrastructures, mais pour une meilleure utilisation du réseau existant. Il devenait de plus en plus indispensable de concevoir des dispositifs opérant une répartition optimale du trafic sur les réseaux. Pour cela, il faut disposer d'outils de simulation nécessitant de faibles temps de calcul. Aussi, pour l'exploitation des RVR, les modèles macroscopiques seront appelés à jouer un rôle important dans les années à venir.

---

[1]La loi de poursuite est une loi mécaniste qui s'écrit comme suit: $X''_n(t+T) = a\left[X'_{n+1}(t) - X'_n(t)\right]$; où $X''_n(t+T)$ représente l'accélération du véhicule n au temps t majoré d'un temps T de réaction. α représente la sensibilité de la voiture suivante au comportement de la voiture précédente. $X'_{n+1}(t)$ représente la vitesse du véhicule n+1 à l'instant t.

III.2.2. Typologie des outils de simulation du trafic autoroutier existants

L'étude historique de la modélisation des réseaux routiers nous révèle déjà deux critères de distinction des modèles : selon la manière dont les véhicules sont pris en compte dans la procédure de simulation et selon la valeur de la période de temps élémentaire du modèle.

A : Modèles microscopiques et modèles macroscopiques

Si l'on se réfère au premier critère, il existe essentiellement, comme nous venons de le noter, deux grandes catégories de modèles sans que la frontière entre les deux puissent être tracée avec précision : les modèles microscopiques et les modèles macroscopiques [COHEN, 1990].

Les premiers tiennent principalement compte du temps de réaction des conducteurs pour asservir leur vitesse à celle des véhicules qui les précèdent. Ces modèles sont ceux qui représentent le trafic avec le plus de détail.

Les modèles macroscopiques étudient quant à eux le comportement des flots de véhicules. Pour ce faire, ils utilisent des variables qui sont des moyennes temporelles ou spatiales des variables microscopiques (pour plus de détails sur la théorie macroscopique de trafic, voir IV.1.1). En consequence, ils nécessitent un temps de calcul nettement plus faible que les modèles microscopiques. Par exemple, 500 équations différentielles sont nécessaires pour simuler microscopiquement un trafic dense (une densité ≈ 25 véh/km/voie) sur une autoroute de 10 km de longueur et possédant deux voies de circulation, tandis que 40 equations différentielles suffisent pour un modèle macroscopique [SMULDERS, 1990]. Les modèles macroscopiques présentent théoriquement l'avantage d'une grande simplicité et permettent l'étude de réseaux de grande taille [ABOURS et al., 1988]. Ils semblent mieux adaptés aux problèmes posés par l'exploitation des RVR.

B : Modèles statiques et modèles dynamiques

Selon la maniere d'appréhender le temps ou la variation des variables de trafic dans le temps, on distingue deux types de modélisation : statique et dynamique[2]. Dans la

[2]Un modèle statique peut être considéré comme un modèle dynamique réduit à une seule (longue) tranche de temps. On "dynamise" donc la modélisation en augmentant le nombre de ces tranches et en réduisant leur longueur [TOINT, 1991].

pratique, les modèles dynamiques sont plus difficiles à mettre en oeuvre car la quantité des paramètres à calibrer y est plus importante.

Parmi les modèles dynamiques, les modèles discrétisés analysent l'évolution du trafic en découpant le temps en une série de petits intervalles durant lesquels l'état du trafic est supposé stable. Les différents phénomènes étudiés (comme les congestions) varient donc uniquement d'une tranche de temps à d'autre. Les variables macroscopiques sont souvent calculées à partir des lois qui lient leurs valeurs pour une tranche de temps spécifique aux valeurs obtenues pour les tranches précédentes. Un des modèles les plus célèbres dans cette catégorie est le modèle META dont la première version a été élaboré en 1971 par H.J PAYNE, aux Etats-Unis [PAYNE, 1971]. D'autres développements ont depuis lors été entrepris [PAPAGEORGIOU, 1988].

Malgré la difficulté de leur mise en oeuvre, les modèles dynamiques s'avèrent les plus utiles pour la définition et l'évaluation de stratégies d'exploitation comme les contrôles d'accès, l'information des usagers par PMV, et les systèmes embarqués dans les années à venir.

Dans le cadre de l'exploitation des RVR, nous nous limitons à l'analyse des modèles dynamiques.

III.2.3. Inventaire des modèles dynamiques de trafic autoroutier existants

A : Les modèles de trafic autoroutier existants

Au fil du temps, un nombre important de modèles d'écoulement du trafic en vue du contrôle et de la régulation du trafic ont été développés. La plupart de ces modèles macroscopiques se fondent sur la théorie hydrodynamique des fluides. Souvent, ces modèles ont été conçus par les organismes de recherches ou d'exploitation pour leur propre besoin. En effet, il peut être difficile pour les exploitants de RVR de choisir, parmi les modèles existants souvent théoriques, ceux adaptés à leurs problèmes.

Un certain nombre de recherches ont tenté de classifier les différents types et les différentes versions des modèles développés. Citons les recherches menées par Ross et Gibson (1977), May (1981, 1987), Skabardonis (1984), Van Aerde et Yagar (1987), Sullivan et Wong (1989). En France, une récente recherche menée par BUISSON à l'INRETS tend de dresser un bilan complet sur les modèles [BUISSON, 1994].

Toutefois, ces recherches avaient pour objectif de dresser l'état de l'art des modèles de trafic et d'encourager la coopération entre les chercheurs et les exploitants afin de faciliter l'application des outils de simulation existants et d'en créer de nouveaux. Mais elles se sont principalement circonscrites aux expériences américaines et nécessitent une remise à jour tenant compte des expériences européennes. D'ailleurs, ces études avaient d'autres fins que l'exploitation des RVR.

La première lecture bibliographique fait ressortir, non exhaustivement, 16 modèles dynamiques de simulation du trafic autoroutier. Ces modèles sont figurés dans le tableau 3.1 avec leurs principales caractéristiques :

- fondement conceptuel (macroscopique ou microscopique),
- capacité du modèle (axe, réseau autoroutier ou corridor[3]),
- possibilité d'affectation du trafic
- possibilité de simuler la congestion.

Les modèles présentés dans le tableau 3.1 ont été développés dans différents pays et notamment aux Etats-Unis [TRB, 1981] et en France [BARADEL, 1992], [ABOURS et al., 1988] et [MESSMER et al., 1990], etc. On constate qu'aux Etats-Unis, les modèles ont été développés soit pour simuler un axe autoroutier soit pour un corridor. Par contre, en France, l'approche de modélisation de corridor commence seulement à prendre de l'importance. Il convient de noter qu'il existe un "fossé" qui sépare la recherche sur les modèles de simulation en France et leur application sur le terrain; ce qui n'est pas le cas aux Etats-Unis. Consécutivement, en France, l'application des outils de simulation dans l'exploitation opérationnelle est moins évidente.

Pour l'exploitation des RVR, les besoins en outil de simulation diffèrent selon les problèmes à traiter. Les modèles de simulation d'un axe autoroutier ou d'un tronçon d'autoroute à accès sont utiles pour évaluer les influences des incidents sur l'écoulement local du trafic et pour définir et évaluer les stratégies de contrôle d'accès. Mais le maillage de réseau réclame des modèles capables de simuler l'écoulement du trafic à l'échelle du réseau. Le tableau ci-dessus montre que 5 modèles sont capables de simuler les réseaux maillés autoroutiers.

[3]On appelle corridor autoroutier, l'ensemble formé par l'autoroute et le réseau associé, constitué par les itinéraires parallèles concurrents de l'autoroute et la voirie de distribution assurant les échanges avec celle-ci [COHEN, 1990].

Tableau 3.1 : modèles dynamiques de trafic autoroutier

N°	Modèle	Pays*	Année	Approche**		Capacité			Affectation du trafic	Congestion
				Macro.	Micro.	Axe	Réseau	Corridor		
1	FREESIM	USA	1982		X	X				
2	INTRAS	USA	1977		X	X		P		X
3	KRONOS	USA	1971		X	X				X
4	MAC-FREFLO.	USA	1979	X		X		X		X
5	META	F	1986	X		X				X
6	ROADRUNNER	USA	1978	X		X				
7	SIMAUT	F	1989	X		X				X
8	METANET	A/F	1990	X		X	X		X	X
9	SIMRES	A/F	1992	X		X	X		X	X
10	CORQ1C	USA	1975	X	X			X	X	P
11	CORQ-CORCO	USA	1975	X				X	X	X
12	DYNEV	USA	1984		X			X	X	
13	MCONTRAM	GB	1990	X		X	X	X	X	X
14	INTEGRATION	C	1988		X	X	X	X	X	X
15	METACOR	F	1993	X		X	X	X	X	X
16	TRAFLO	USA	1980	X				X	X	

* A = Allemagne, C = Canada, F = France, GB = Grande Bretagne

** Macro = Macroscopique, Micro = Microscopique.

X = Existant; P = Partiellement existant

Par ailleurs, le maillage des RVR implique, pour un meilleur fonctionnement, de nouvelles stratégies de régulation et d'information des usagers. La définition et l'évaluation de ces nouvelles stratégies nécessitent des outils non seulement capables de simuler l'ensemble du réseau maillé mais aussi d'affecter les flux de trafic, c'est-à-dire de considérer pour chaque tronçon la proportion de véhicules d'une origine et d'une destination données. Ceci est important notamment pour le test et le développement des stratégies d'information des usagers par les systèmes embarqués qui sont déjà en expérimentation sur plusieurs RVR de par le monde (CARMINAT en Région Ile-de-France sur le réseau équipé par SIRIUS).

La reconstitution des congestions doit être aussi considéré comme une fonction essentielle des outils de simulation. Les modèles susceptibles d'être appliqués doivent se

montrer performants en décrivant correctement la complexité de l'écoulement du trafic en cas de bouchon (apparition, propagation et disparition de bouchon...).

En résumé, dans le cadre de l'exploitation des RVR, les modèles à utiliser doivent être dynamiques, capables de simuler un axe ou un réseau maillé d'autoroutes, capables de restituer correctement la congestion, et permettre l'affectation du trafic.

La combinaison de ces trois caractéristiques forme le modèle idéal pour l'exploitation des RVR. Ce modèle idéal présente un potentiel et donc un avenir dans l'exploitation des RVR dans la mesure où il permettrait de développer ou d'évaluer des stratégies intégrées en terme de réseau (RVR + réseau associé) et en terme de systèmes de régulation et d'information.

Parmi les modèles recensés dans le tableau 3.1, cinq modèles (INTEGRATION, MCONTRAM, METACOR, METANET, SIMRES) réunissent ces trois caractéristiques à la fois. De ce fait, nous en reprendrons plus loin l'analyse par rapport à d'autres critères.

Comme noté précédemment, certains problèmes d'exploitation des RVR (simulation locale des incidents par exemple) n'ont pas besoin de modèle possédant ces trois caractéristiques en même temps. Ceci élargit le champ de notre choix sur les modèles existants. Pour cela, on peut retenir ceux ayant les deux premières caractéristiques (simulation d'un axe ou d'un réseau et simulation de la congestion) en laissant de côté le critère d'affectation de trafic. Ainsi, les dix modèles inscrits dans le Tableau 3.2 sont retenus pour une analyse approfondie :

Tableau 3.2. Modèles sélectionnés

INTRAS **KRONOS** **MACK-FREFLO** **META** **SIMAUT**	Modèles de simulation d'un axe autoroutier ou d'un tronçon d'autoroute
METANET **SIMRES**	Modèles de simulation d'un réseau maillé d'autoroutes
INTEGRATION **MCONTRAM** **METACOR**	Modèle de simulation d'un corridor

B : Analyse des modèles sélectionnés

L'étape précédente de notre démarche a conduit à l'identification de dix modèles susceptibles d'être utilisés pour les problèmes d'exploitation des RVR. Il convient d'en mener une analyse approfondie afin de mettre en évidence leur performance relative selon des critères spécifiques qu'on va définir, concernant notamment leur facilité d'usage.

L'analyse se fera en deux phases :
- une phase d'évaluation (selon des critères spécifiques),
- une phase de synthèse (afin de faciliter leur comparaison).

1. Définition des critères spécifiques et établissement des fiches d'analyse des dix modèles retenus

Relativement à notre objectif visant à une meilleure exploitation des RVR, une grille d'analyse comportant 12 rubriques a été conçue afin de comparer les modèles. Ces rubriques portent essentiellement sur la description des modèles, la capacité des modèles, leurs conditions d'utilisation et leur facilité d'usage. Le tableau 3.3 montre ces rubriques.

Tableau 3.3 : Les critères d'analyse des modèles

MODELE	
REFERENCES	
OBJECTIFS	
APPROCHE DE MODELISATION	
DONNEES D'ENTREE	
DONNEES DE SORTIE	
DOMAINES D'UTILISATION	
VALIDATION	
APPLICATION	
DOCUMENTATION	
FACILITE D'UTILISATION	
LIMITATION	

En suivant cette démarche, des fiches d'analyse ont été réalisées pour nos dix modèles. Ces fiches d'analyse sont présentées en annexe n° 9. A partir de ces fiches d'analyse, nous avons établi des tableaux de synthèse regroupant les principales

caractéristiques de ces modèles afin de faciliter la comparaison (Tableau 3.4. et Tableau 3.5).

Tableau 3.4 : Caractéristiques inhérentes aux modèles

	Objectif	Prise en compte des accès[4]	Nb d'accès simulé	Prise en compte des incidents	Simulation Divergent convergent	Optimi-sation[5]	Affecta.[6] du trafic
INTRAS	évaluation des stratégies de gestion des incidents	oui	limité	oui	non	non	non
KRONOS	évaluation des mesures d'exploitation	oui	40	oui	oui	oui	non
MARC-FREFLO	- Contrôle d'acces. - gestion des incidents	oui	limite	oui	oui	non	non
META	simulation de l'écoulement du trafic	non	illimité	non	non	non	non
SIMAUT	simulation de l'écoulement du trafic	oui	illimité	non	oui	non	non
METANET	conception et évaluation des strategies	oui	illimité	oui	oui	oui	oui
SIMRES	aide à la decision en temps reel	oui	illimité	oui	oui	oui	oui
INTEGRA-TION	simulation des strategies de regulation	oui	illimité	oui	oui	oui	oui
MCONTR-AM	idem	oui	illimité	oui	oui	oui	oui
METACOR	idem	oui	illimité	oui	oui	oui	oui

[4]Il s'agit de la simulation explicite de l'écoulement du trafic sur les accès autoroutiers.
[5]L'optimisation désigne ici la capacité des modèles pour optimiser des paramètres (variables de contrôle d'accès par exemple) dans le choix des stratégies à mettre en oeuvre.
[6]Affecta. : Affectation

Tableau 3.5 : Critères de facilité d'utilisation des modèles

	Validation	Nb d'application	Version	Facilité d'utilisation	Documen-tation
INTRAS	oui	2	ST**	difficile	P
KRONOS	P*	0	MO*** et ST	facile	P
MARC-FREFLO	P	2	ST	moyenne	oui
META	oui	5	MO et ST	moyenne	oui
SIMAUT	oui	2	MO et ST	moyenne	P
METANET	P	1	MO et ST	moyenne	oui
SIMRES	en cours	0	ST		P
INTEGRATION	oui	6	MO et ST	moyenne	P
MCONTRAM	oui	3	ST	moyenne	oui
METACOR	oui	3	MO et ST	moyenne	en cours

***P : Partielle; **ST : Station de Travail; ***MO : Micro-ordinateur**

2. Commentaires

1). A propos des cinq modèles portant sur un axe (ou un tronçon) d'autoroute

Le modèle INTRAS a été développé pour étudier notamment les incidents sur autoroutes. Les véhicules sont simulés individuellement, selon des algorithmes de poursuite et de changement de files. Le modèle INTRAS est relativement complexe et difficile à calibrer [COHEN, 1990]. De ce fait, il est difficile d'envisager son application massive sur des réseaux maillés de voies raides.

En cours de validation, le modèle KRONOS présente une réelle facilité de manipulation (environnement graphique, menu d'utilisation) associée à une version pour micro-ordinateur [MICHALOPOULOS et al., 1991]. Il intègre des fonctions de développement et d'évaluation de mesures d'exploitation (contrôle d'accès, gestion des incidents) dans le cadre de perturbations aléatoires, ayant une influence locale sur l'écoulement du trafic. Après validation, cet outil pourrait être mis à la disposition des exploitants des RVR pour effectuer des études à caractère opérationnel en temps différé.

Les modèles de la famille MACK-FREFLO ne sont pas validés sur plusieurs sites. De plus, ils doivent fonctionner sur des stations de travail [MAY, 1987] et [GARDES et al., 1990]. Par conséquent, ils ne remplissent pas les exigences requises.

Le modèle META est plutôt un modèle qu'un outil au sens propre du terme et il constitue un module de simulation pouvant être utilisé dans différentes études. La simulation de l'écoulement du trafic sur les accès n'a pas été prise en considération dans

ce modèle. L'existence de version pour micro-ordinateur et les validations effectuées montrent que le modèle META peut devenir un outil opérationnel à condition qu'il profite d'une bonne interface avec l'utilisateur [ABOURS et al., 1988] [COHEN, 1989].

En conclusion, parmi ces cinq modèles de simulation du trafic sur un tronçon d'autoroute, aucun ne satisfait l'ensemble des critères spécifiques définis précédemment. Les analyses précédentes font que le modèle KRONOS et le modèle META sont les mieux placés pour traiter les problèmes d'exploitation des RVR en raison principalement de la facilité d'utilisation de ce premier et de la flexibilité et de la polyvalence de ce dernier.

2). A propos des deux outils de simulation des réseaux maillés d'autoroutes

En ce qui concerne la gestion du trafic, les deux modèles (METANET et SIMRES) répondent à un véritable besoin de simulation du maillage du réseau autoroutier pour le développement et l'évaluation des stratégies d'information dynamique des usagers permettant une meilleure répartition des flux de trafic selon les circonstances de circulation (bouchons récurrents ou perturbations aléatoires) [MESSMER et al. 1990], [MORIN et al., 1991] et [BARADEL, 1992].

Il convient de signaler que ces deux modèles sont identiques du point de vue des principes de base qui introduisent une fonction explicite de modélisation des comportements des usagers et une fonction d'aide de mise en ouvre de stratégies d'information (choix des PMV à activer ou à mettre à jour, message à afficher). En fait, le modèle SIMRES est dérivé du modèle METANET. Ces deux modèles répondent tout à fait à l'attente de l'exploitant, ils sont susceptibles d'être appliqués pour des problèmes d'exploitation des RVR

Dans un premier temps, on peut envisager leur application en temps différé pour développer ou pour évaluer des mesures d'exploitation en cas d'incidents (accidents et travaux) ayant une influence géographique large. Une fois bien maîtrisés, ces modèles pourraient être intégrés dans les systèmes d'exploitation tel que SIRIUS pour aider en temps réel l'opérateur dans le choix des stratégies d'information et de contrôle d'accès.

Outil de recherche et à son stade actuel du développement, le modèle SIMRES doit progresser avant de devenir un outil opérationnel. Pour accélérer le processus de développement et pour qu'il soit un outil opérationnel, il est indispensable que les exploitants participent aux différentes étapes de sa validation et de son application.

Le modèle METANET a été validé partiellement sur un site du RVR d'Ile-de-France. L'un de ces avantages est l'existence d'une version pour micro-ordinateur qui peut faciliter son utilisation par un grand nombre de spécialistes de l'exploitation des RVR.

De façon générale, ces deux modèles ne sont pas encore opérationnels. Mais ils présentent un potentiel important pour améliorer l'exploitation des RVR dans la mesure où ils devraient permettre de mieux choisir les stratégies de contrôle d'accès et surtout des stratégies d'information des usagers par PMV.

3). A propos des modèles de corridor (INTEGRATION, MCONTRAM et METACOR)

Spécialement développés pour la simulation et l'affectation du trafic sur les réseaux mixtes (autoroutes + voiries urbaines associées), ces modèles répondent à la nécessité d'une approche globale de la gestion du trafic dans les zones urbaines et périurbaines des grandes agglomérations [GARDES et al., 1990] [HAJ SALEM et al., 1993]. Ils présentent un intérêt particulier dans le cadre des systèmes embarqués qui impliquent une capacité d'affectation du trafic entre différentes voiries et une possibilité du suivi de l'évolution du trafic sur l'ensemble des voiries afin d'assurer un bon compromis entre optimum individuel et optimum collectif.

Par rapport aux modèles INTEGRATION et METACOR, le modèle MCONTRAM a un inconvénient principal du temps de calcul très long (modèle d'affectation itératif). Pour le modèle INTEGRATION, la taille des réseaux simulés peut être limitée du fait de l'approche microscopique utilisée, qui nécessite des performances informatiques importantes (mémoire et rapidité de calcul). Par son approche macroscopique, le modèle METACOR est plus avantageux pour simuler des RVR de la taille de celui d'Ile-de-France avec ses réseaux associés.

Il reste que les modèles INTEGRATION et METACOR sont capables de répondre aux nécessités de l'exploitation commune des RVR et des réseaux associés dans une perspective d'information dynamique et individualisée par des systèmes embarqués. Leurs caractéristiques satisfont la plupart des critères spécifiques définis plus haut. L'étape de leur application pour une gestion intégrée de circulation automobile à l'échelle d'une grande agglomération doit cependant encore être franchie pour tester réellement leur opérationnalité.

III.3. OBSTACLES A L'UTILISATION DES OUTILS DE SIMULATION DANS L'EXPLOITATION DES RVR

Dans cette section, nous allons passer en revue les principales contraintes à l'utilisation des modèles de trafic autoroutier dans l'exploitation des RVR. Les obstacles sont de deux ordres : intrinsèques et extrinsèques, ces dernières pourront être d'ordre comportemental, physchologique, logistique ou pédagogique. Il nous paraît intéressant d'analyser ces raisons intrinsèques et extrinsèques de manière à attirer l'attention des théoriciens, des modélisateurs et des gestionnaires sur certains points à prendre en considération lors du développement et de l'utilisation des outils de simulation.

De manière générale, l'étude bibliographique, ([MICHALOPOULOS et al., 1991], [MALECK et al., 1981], [CASE et al., 1981]...), permet de faire ressortir des éléments qui limitent l'application des modèles dynamiques du trafic autoroutier dans l'exploitation opérationnelle des RVR :

- Premièrement, les théories du trafic et en particulier les hypothèses sur lesquelles elles reposent ne sont qu'approchées.
- Deuxièmement, les données statiques sont souvent peu fiables ou incomplètes et les données dynamiques sont encore difficiles à obtenir, ce qui rend difficile le calibrage et la validation des modèles
- Troisièmement, le maillage récent des RVR et le développement des systèmes sophistiqués d'exploitation ont engendré de nouveaux besoins auxquels les outils existants ne sont pas encore en mesure de répondre.
- Enfin, la collaboration reste insuffisante entre les chercheurs (développeurs) des modèles et les utilisateurs potentiels de ces outils.

Il y a encore d'autres facteurs comme les habitudes de travail des exploitants, le manque de personnels capables d'utiliser les modèles au sein des services chargés de l'exploitation et l'insuffisance des matériels informatiques. Tous ces facteurs se mêlent et limitent l'application des outils de simulation dans l'exploitation opérationnelle. Nous nous proposons d'en examiner quelques uns.

III.3.1. Les théories du trafic

Les théories du trafic apparaissent insuffisantes face aux nouvelles contraintes de gestion du trafic, à l'analyse plus fine du comportement des usagers, et aux nouveaux environnements de déplacements [DEHOUX et al., 1991]. Rappelons que les théories

utilisées par les modèles macroscopiques et dynamiques existants se fondent sur les deux hypothèses suivantes :

- information parfaite des automobilistes,
- comportement uniforme des usagers.

L'hypothèse d'information parfaite des automobilistes doit être abandonnée depuis l'apparition des systèmes d'information. De même le comportement des automobilistes face aux nouvelles technologies de gestion du trafic n'est pas uniforme, mais dépend de divers facteurs notamment socioculturels encore mal identifiés.

Dans les conditions actuelles d'évolution rapide du trafic, l'introduction de nouvelles techniques d'information a déjà modifié le comportement des usagers. Pour analyser des impacts des systèmes d'information sur les conditions du trafic, il faut développer des modèles dynamiques capables de décrire le comportement des usagers et la performance du réseau.

Pour remédier à ces limites des modèles macroscopiques, les modèles microscopiques capables de prendre un compte chaque véhicule individuellement sont appelés à se développer en particulier pour le développement des systèmes embarqués.

III.3.2. Les données

Les résultats des modèles dépendent directement de la qualité des données nécessaires à son fonctionnement. Or, il apparaît souvent difficile d'obtenir des données de trafic fiables Les mauvaises performances des recueils automatiques de données (en quantité et en qualité) furent un frein dans l'application de ces modèles [ABROUS et al., 1988]. Ici, la difficulté se trouve accrue : d'une part, les modèles ont besoin de données dynamiques, en grande quantité pour leur validation. D'autre part, ces données doivent être suffisamment fiables. La plupart des systèmes actuels ne sont pas en mesure de satisfaire cette double exigence

Par exemple, sur le RVR d'Ile-de-France, il existait très peu de stations de mesure avant le projet SIRIUS. Après le lancement de ce projet, le RAD[7] s'est densifié; a priori, l'exploitant dispose désormais d'une quantité suffisante de données. Certains modèles, tels META, METANET et SIMRES, peuvent donc être testés et appliqués pour développer et/ou évaluer des stratégies d'exploitation.

[7]RAD : Recueil Automatique de Données.

III.3.3. Emergence de nouvelles contraintes sur les outils de simulation

Deux éléments nouveaux sont à prendre en considération. D'une part, le modèle doit être capable de répartir des flux de trafic en tenant compte du maillage pour supprimer ou atténuer la congestion, la question théorique la plus difficile étant ici la modélisation des noeuds autoroutiers. D'autre part, le modèle doit pouvoir modéliser le comportement des usagers en présence du système d'information dynamique par PMV[8].

Le maillage des autoroutes et les systèmes d'information des usagers étant relativement récents, il est normal que le développement des outils pour la simulation de ce type de réseau soit en retard. Le RVR d'Ile-de-France et le système SIRIUS forment un très bon site d'expérimentation de ce point de vue.

III.3.4. Problème de communication

Parmi les obstacles que l'on rencontre, le principal est probablement la quasi-inexistence de communication entre modélisateurs et gestionnaires qui peut d'une certaine façon traduire les problemes déjà évoqués [ORNE, 1981]. Assez peu d'efforts ont été faits pour transcrire les modélisations en termes compréhensibles pour les exploitants et les gestionnaires. Les gestionnaires des RVR, peu familiarisés avec les techniques de modélisation, sont donc peu disposés à compter sur des procédures qui leur sont hermétiques.

Cependant, l'effort de communication ne doit pas être à sens unique. Ceux qui peuvent utiliser les resultats d'un modele ont aussi leur part d'effort à effectuer afin de se mettre au courant des nouveaux outils et de ce qu'ils peuvent leur apporter. A notre avis, une bonne connaissance, de la part des exploitants, des théories, des hypothèses sous-jacentes et des algorithmes utilises par un modèle est fondamentale pour assurer une bonne utilisation. Il s'agit là d'une tâche difficile car ces problèmes complexes que l'on rencontre dans l'exploitation des RVR touchent une multitude de disciplines.

---

[8]La modélisation du comportement des usagers en un point de choix (divergent autoroutier ou sortie sur le réseau associé), suite à une information ponctuelle, peut être faite par application d'un "taux d'obéissance" à la partie du trafic concerné par cette indication, c'est à dire des usagers qui traversent normalement la perturbation signalée. Ce taux va dépendre de la nature du message de PMV (information factuelle, conseil, guidage, déviation...) et peut être obtenu par des mesures moyennes sur le terrain.

Dans la plupart des cas, les outils de simulation ont été développés pour des besoins spécifiques (le cas des modèles américains) et il est difficile pour les autres utilisateurs potentiels de connaître ces outils (surtout leur domaine d'application et leurs performances), faute de documents de communication. En conséquence, il manque toujours une bonne compréhension de la part des exploitants (utilisateurs des outils de simulation) sur les rôles et les bénéfices à espérer des modèles.

Aux Etats-Unis, la FHWA[9] est chargée d'interface entre les développeurs de modèles, la distribution ainsi que l'implantation [CASE et al., 1981]. En France, il manque une autorité équivalente. Il en résulte cette situation où des modèles développés par les chercheurs sont peu appliqués dans la pratique d'exploitation.

Pour y remédier, il convient de définir préalablement et correctement les problèmes auxquels est confronté l'exploitant des RVR et les informations dont il a besoin pour prendre une décision. Les créateurs d'outils de simulation doivent avoir des relations de travail étroites avec les gestionnaires des RVR qui éventuellement feront usage du modèle.

III.4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'APPLICATION

III.4.1. Conclusion

Nous avons donné dans ce chapitre un aperçu des outils existants dans le domaine de la simulation du trafic autoroutier. Le développement des études sur les systèmes autoroutiers complexes associés au développement de l'informatique ont provoqué au cours de ces 30 dernières années l'apparition d'un nombre relativement important de modèles mathématiques dans le domaine de l'ingénierie du trafic. Mais il faut reconnaître que ces outils n'ont pas toujours apporté ce qu'on en attendait en termes de connaissance et maîtrise du fonctionnement des RVR. En fait dans le domaine de l'exploitation des RVR, la référence aux outils de simulation est encore rare.

Cet inventaire des modèles de simulation du trafic autoroutier dans la littérature montre l'existence d'une quantité relativement importante de modèles. Mais d'une part, la plupart d'entre eux ont été développés soient par des organismes particuliers pour des besoins spécifiques, soient par des chercheurs en laboratoire, et la communication

[9]FHWA : Federal Highway Administration.

nécessaire pour la promotion de ces outils mis au point n'existe pas toujours. D'autre part, nous n'avons pas trouvé dans la littérature un seul exemple d'utilisation des outils de simulation à l'échelle d'un réseau maillé d'autoroutes. D'ailleurs, il faut signaler que les modèles ont été testés avec des données limitées en qualité et en quantité; de la même façon les tests des différents modèles avec un même jeu de données sont rares. Un autre facteur important est que la plupart de ces outils ne présentent pas d'interface bien élaborée pour les utilisateurs. Cela présente des difficultés pour les exploitants pour la maîtrise de ces outils dans leurs tâches quotidiennes d'exploitation.

L'utilisation optimale des RVR existants implique la définition et la mise en oeuvre des nouvelles stratégies d'exploitation. La simulation macroscopique s'avère un outil indispensable au développement et à l'évaluation de ces stratégies. Nous avons passé en revue les modèles développés dans différents pays et les principales contraintes liées à l'utilisation de ces outils. Cette approche bibliographique permet une sélection des modèles existants et susceptibles d'être utilisés pour divers problèmes relatifs à l'exploitation des RVR à partir des contraintes identifiées.

Au terme de cette étude bibliographique, on en tire les points suivants :

1. La simulation d'un tronçon d'autoroute sur RVR est possible avec les modèles macroscopiques existants (par exemple: KRONOS, META, FREFLO). L'exploitant peut donc choisir parmi ces modèles selon ses objectifs et ses contraintes matérielles (micro ordinateur ou station de travail) et humaines (personnel qualifié). Par exemple, on peut envisager d'utiliser le modèle META pour la reconstitution en temps réel de données manquantes, nécessaires à l'exploitation des RVR afin de garantir la continuité des fonctions de traitement de données telle la détection automatique des incidents et des bouchons. Cette piste de réflexion sera oeuvrée au chapitre VII.

2. Le fonctionnement des RVR est loin d'être optimisé du fait de l'absence d'algorithmes d'optimisation de stratégie de coordination sur plusieurs mailles. Des modèles de simulation comme METANET (ou METACOR) et SIMRES doivent être rapidement validés et integrés pour le développement et l'évaluation des stratégies d'exploitation, en passant notamment par l'élaboration et l'évaluation des stratégies de contrôle d'accès et l'évaluation des stratégies d'information et/ou de guidage.

3. Le développement et l'expérimentation des modèles de simulation du trafic sur réseau maillé autoroutier n'en sont qu'à leurs débuts. Il n'y a pas de modèle directement applicable à l'exploitation des réseaux maillés complexes de voies rapides. Il reste donc

de nombreuses étapes à franchir. L'utilisation en temps réel sur une échelle spatiale importante nécessite d'importants efforts théoriques et empiriques.

4. L'intégration des modèles de simulation dans les activités d'exploitation nécessite des efforts communs des chercheurs et des exploitants. D'une part, les chercheurs doivent améliorer non seulement la performance des modèles mais également leur facilité de manipulation (par exemple avec des sorties graphiques et des menus permettant des choix faciles). Les modèles (outils) doivent s'orienter de plus en plus vers une intégration des différentes fonctions dans un même environnement. D'autre part, les exploitants doivent prendre d'avantage conscience du potentiel de ces modèles et développer les compétences nécessaires à leur utilisation. Mais des efforts en vue de l'acquisition de données sont indispensables afin de construire, de tester et de valider ces modèles.

III.4.2. Perspective d'utilisation des outils de simulation dans l'exploitation du RVR d'Ile-de-France

A : Etat de lieu

Comme nous l'avons vu au chapitre I, l'exploitation du RVR d'Ile-de-France se dote à terme d'un ensemble d'équipements destinés à améliorer le fonctionnement du réseau et le niveau de service offert à l'usager à travers le projet SIRIUS. Le projet SIRIUS tel qu'il est défini au départ ne prévoit aucun outil de simulation au sein du système informatique qui est le coeur du projet au sens où se concentrent des informations (données) de trafic, sont traitées ces informations, et sont commandés les équipements dynamiques de régulation comme des contrôles d'accès et des systèmes d'information par PMV. Un autre constat est que l'exploitant ne dispose pas non plus d'outil de simulation permettant une utilisation courante et en temps différé dans les diverses études de caractère opérationnel Tout ceci fait que la simulation du trafic est encore un point faible du projet SIRIUS

Pourtant, avec la mise en service du système SIRIUS, plusieurs éléments sont favorables à une application des outils de simulation pour aider l'exploitant à optimiser le fonctionnement du réseau. Tout d'abord, le RAD permet d'avoir, a priori, des données fiables et suffisantes en quantités pour alimenter les modèles de simulation. Auparavant, le manque de données en quantité et en qualité ne permettait pas d'utiliser les outils de simulation. Ensuite, le renforcement du parc informatique interne du service permet aux personnels du groupe Etude de disposer des moyens informatiques pour faire tourner

certains outils. De plus, la multiplication des études à effectuer nécessite la mise à disposition des outils de simulation afin d'augmenter l'efficacité de travail. Enfin, la prise de conscience par l'exploitant de la nécessité d'utiliser des outils de simulation est un élément déterminant.

B : Perspective d'application des outils existants de simulation

Les éléments ci-dessus jumelés avec les résultats d'examen des outils de simulation existants permettent de donner les recommandations suivantes pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France. Ici on se limite à donner des pistes d'application possibles. Certaines applications seront développées davantage dans les autres chapitres.

Compte tenu de la performance recensée des outils existants, il est préférable que le modèle META soit adopté pour le Groupe Etudes afin d'effectuer des études ponctuelles sur un tronçon d'autoroute, car ce modèle peut bénéficier d'un soutien logistique de l'INRETS. Ces études concernent principalement .

- le développement et l'évaluation des stratégies de contrôle d'accès,
- l'évaluation de l'impact des incidents (accidents et travaux) sur l'écoulement du trafic,
- l'aide à proposer des aménagements du réseau pour améliorer la circulation locale,
- le développement et l'évaluation des mesures d'exploitation destinées au traitement des incidents,
- l'aide à emettre des avis (par exemple, pour le programmation des chantiers).

Etant donnée la politique d'information des usagers, l'exploitant a besoin de disposer d'un outil de simulation pour le développement et l'évaluation des stratégies d'information par PMV. L'évaluation du système de PMV implique la capacité de simuler l'écoulement du trafic sur plusieurs mailles du réseau et la possibilité de modéliser le comportement des usagers vis-à-vis des messages des PMV.

Théoriquement, les modèles METANET, SIMRES et METACOR semblent répondre à ces exigences Il convient de les tester sur un sous-réseau afin de vérifier sa performance réelle et en cas de besoin de lui apporter des améliorations. Compte tenu de l'avancement du projet SIRIUS, la partie Est du RVR en Ile-de-France pourrait être choisie pour constituer un band d'essai. Cette expérimentation, pour être efficace, doit être menée conjointement par les développeurs de l'outil et l'exploitant de sorte que les exigences et les contraintes opérationnelles soient prises en compte pour faire plus tard de ces modèles un outil opérationnel pour l'exploitation de ce réseau.

Le développement des systèmes embarqués marquera une nouvelle étape dans l'exploitation des RVR. Ils offrent la possibilité d'affectation du trafic pour une meilleure utilisation du maillage du réseau. En outre, les systèmes embarqués nécessitent une gestion coordonnée ou coopérée des RVR et des réseaux associés. Ainsi, un modèle capable de traiter un corridor autoroutier doit être progressivement intégré dans le système SIRIUS afin de pouvoir simuler la complexité de l'écoulement du trafic en présence des systèmes embarqués. A partir de notre approche bibliographique, les modèles INTEGRATION et METACOR répondent à ce besoin et donc sont recommandés pour être utilisé, dans le futur, pour la gestion intégrée du trafic sur des réseaux mixtes (RVR + réseaux associés) dans les zones urbaines et périurbaines.

Deuxième Partie

Développement, analyse, validation et prospective des outils d'exploitation

Chapitre IV :

OUTILS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION DES DONNEES DE TRAFIC

IV.1. CONSIDERATION GENERALE

IV.1.1. Théorie macroscopique de trafic

Une présentation de la théorie macroscopique de trafic est indispensable pour bien comprendre les outils étudiés dans cette deuxième partie.

A : Variables macroscopiques de trafic

La description macroscopique du flux de trafic implique la définition de variables adéquates qui expriment le comportement moyen des flots de véhicules sur une section d'autoroute donnée. Ces variables représentent des moyennes temporelles ou spatiales des variables microscopiques [COHEN, 1990].

1. Le débit

Il correspond à la répartition des véhicules dans le temps. Le débit, noté Q(x, Δt), est le nombre de véhicules par unité de temps passant par une section de voie repérée par son abscisse x

$$Q(x,\Delta t) = \frac{n(x,\Delta t)}{\Delta t} \qquad \text{exprimé en[véh/h]} \qquad (1)$$

où n(x, Δt) est le nombre de véhicules ayant franchi la section d'abscisse x pendant l'intervalle de temps Δt.

2. La concentration (ou densité)

C'est un indicateur de la répartition des véhicules dans l'espace. La concentration, notée $C(\Delta x, t)$, est le nombre de véhicules à l'instant "t" sur la portion d'autoroute de longueur Δx :

$$C(\Delta x, t) = \frac{n(\Delta x, t)}{\Delta x} \qquad \text{en [véh/km]} \qquad (2)$$

La méthode classique consiste à estimer la concentration à partir de la variable plus facilement mesurable "taux d'occupation".

3. Le taux d'occupation (TO)

Le TO est, en pourcentage, la proportion de temps durant lequel un point de la chaussée est occupé par des véhicules. Cette variable est aujourd'hui couramment employée dans le domaine de l'exploitation. Autour des stations de mesure, le TO est directement lié à la concentration par la relation :

$$TO = (L+l) \bullet C(\Delta x, t) \qquad (3)$$

où "L" est la longueur moyenne des vehicules et "l" la longueur du capteur.

4. La vitesse

La vitesse, notée $V(\Delta x, t)$, est la moyenne harmonique des vitesses des véhicules circulant sur une portion de longueur Δx à l'instant t. Elle peut être mesurée à partir de deux boucles placées sur une même voie de circulation et séparées par une courte distance.

B : Les relations fondamentales

1. La relation débit - concentration - vitesse

Par définition des variables macroscopiques et par analogie avec la théorie hydrodynamique, on peut démontrer que, pour des conditions de trafic homogènes[1],

[1]conditions où tous les véhicules se déplacent avec la même vitesse et gardent entre eux des espaces égaux.

l'expression: **Débit = Concentration • Vitesse** [WARDROP, 1952]. Cette équation est également approximativement satisfaite pour des conditions non-homogènes. On peut donc la supposer, en première approximation, valable pour tous les états de trafic.

2. La loi de conservation des véhicules

La loi de conservation des véhicules s'énonce ainsi: "la variation du nombre de véhicules sur le tronçon (x_1, x_2) est égale à la différence entre le nombre de véhicules entrés en x_1 entre les instants t_1 et t_2 avec le nombre de véhicules sortis en x_2 durant le même intervalle de temps". Formellement, ce principe s'exprime ainsi :

$$\int_{x_1}^{x_2} [C(x,t_2) - C(x,t_1)] \cdot dx = \int_{t_1}^{t_2} [Q(x_2,t) - Q(x_1,t)] \cdot dt \qquad (4)$$

3. L'hypothèse du diagramme fondamental

Une relation particulière de la théorie de l'écoulement du trafic est celle exprimant la vitesse comme une fonction monotone décroissante de la concentration :

$$V(x, t) = f(C(x, t)) \qquad (5)$$

L'expérience montre que, pour une autoroute presque vide ($C \rightarrow 0$), un véhicule circule avec la vitesse désirée par le conducteur, appelée vitesse libre : V_f; plus la concentration augmente, plus la vitesse diminue jusqu'à un état dit de blocage ($C = C_{max}$), où les véhicules sont totalement immobiles. C_{max} désigne la concentration maximale.

$$V_f = V(C = 0) \text{ et } V(C = C_{max}) = 0 \qquad (6)$$

Plusieurs formules mathématiques ont été proposées pour décrire ce phénomène [MAY, 1990]. Elles sont fondées sur des études microscopiques et imposent des hypothèses sur l'homogénéité et la stationnarité du trafic (le débit, la concentration et la vitesse varient peu autour de leurs valeurs moyennes). Une formulation générale de ce comportement satisfaisant aux conditions de limites se traduit :

$$V(C) = V_f \cdot \left[1 - \left(\frac{C}{C_{max}}\right)^l\right]^m \qquad (7)$$

où $l > 0$ et $m > 1$ sont des paramètres à valeurs réelles. Pour le choix des paramètres, May et Keller ont proposé en 1967 :

$$V(C) = V_f \bullet \exp\left[\frac{-1}{a}\left(\frac{C}{C_{cr}}\right)^a\right] \tag{8}$$

soient $l = 2$, $C_{max} = C_{cr} \bullet \sqrt{2m}$ et $m \to \infty$. C_{cr} est la concentration critique qui correspond au débit maximal.

Substituons alors la loi V(C) dans l'équation **Q = C • V**, nous obtenons une relation débit - concentration .

$$Q = f(C) \tag{9}$$

connue sous le nom d'hypothèse du diagramme fondamental (Fig.4.1).

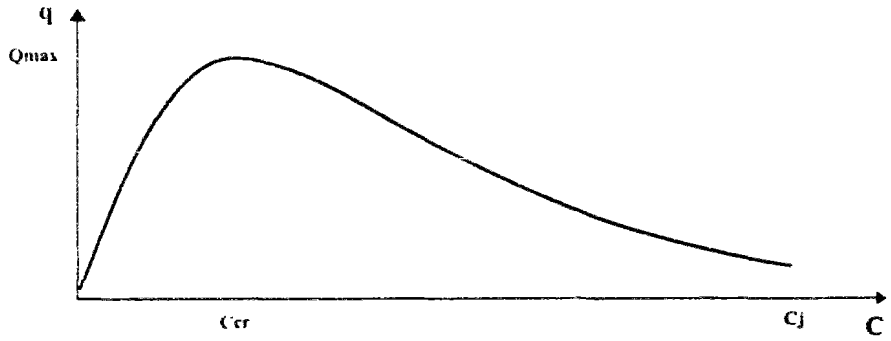


Fig.4.1: Diagramme fondamental

La première partie de la courbe (Fig.4.1), de C=0 jusqu'à $C=C_{cr}$, correspond à l'état de circulation fluide. Au-delà de ce seuil critique, si la concentration augmente, le débit diminue, les véhicules se gênent de plus en plus et le régime de circulation est dit saturé. Ce régime est caractérise par une forte instabilité: dès que la concentration dépasse la concentration critique (C_{cr}), le trafic devient rapidement et sans raison manifeste de plus en plus congestionné

Pour l'exploitation des RVR, la concentration optimale est théoriquement la concentration critique. Elle correspond à une utilisation totale de la capacité de l'infrastructure. Certains facteurs tels que l'environnement (éclairage, proximité d'un tunnel...) ou la géométrie de la chaussée (pente, courbe...) influent sur le diagramme fondamental.

IV.1.2. Données de trafic

L'exploitation et la gestion des RVR nécessitent la connaissance en temps réel des états de trafic afin de pouvoir prendre des mesures adéquates de régulation et d'information. La connaissance des états de trafic s'appuie sur la mesure des trois variables macroscopiques de trafic : le débit, le taux d'occupation et la vitesse moyenne dans l'espace et dans le temps.

L'ensemble des variables mesurées dans l'espace et dans le temps constituent les données de trafic. Selon l'intervalle de calcul, on peut distinguer deux types de données : dynamiques et statiques[2]. L'intervalle d'acquisition des données peut varier d'un système à l'autre. Par exemple, le système SIRIUS adopte une période de 20 secondes comme unité de base de l'élaboration des données et le système de gestion de Queen Elizabeth Way dans l'Ontario, au Canada utilise une période de 30 secondes [CLEGHORN and al., 1991].

IV.1.3. Recueil automatique de données (RAD)

Les données dynamiques sont obtenues par un système de recueil automatique de données (RAD). Au sein de chaque système d'exploitation, le RAD est la base de toutes les fonctions de régulation et d'information des usagers. Les techniques courantes de RAD sont des systèmes à boucles magnétiques noyées dans la chaussée. C'est le cas du système d'exploitation (SIRIUS) en Ile-de-France. Le capteur à ultrason au bord de la chaussée est largement utilisé au Japon. L'avantage de cette dernière technique est sa facilité de maintenance, son inconvénient est le manque de précision. Les caméras vidéo et les techniques de traitement d'image ont été expérimentées en France et dans d'autres pays [ESPIE et al., 1990], [MICHALOPOULOS, 1993]. Cette technique permettrait de surmonter certaines difficultés relatives à l'utilisation des capteurs électromagnétiques. Par exemple, la concentration peut être directement mesurée à partir de séquences vidéo [BLOSSEVILLE et al., 1990].

Dans la suite de ce document, on se restreint aux boucles électromagnétiques, couramment utilisées dans la plupart des systèmes d'exploitation.

---

[2]Les donnés dynamiques sont des variables de trafic (débit, TO, vitesse...) mesurées ou calculées pour des intervalles de temps courts (de plusieurs dizaines de secondes à quelques minutes). Les données statiques sont des variables calculées pour des périodes longues (données horaires, journalières, annuelles...). Les données statiques peuvent être calculées à partir des données dynamiques.

Le RAD par capteurs électromagnétiques se fait dans un milieu ouvert et est soumis à de multiples facteurs influençant la fiabilité des données. Ces facteurs sont notamment : problème de transmission, conditions climatiques, travaux d'entretien de la chaussée détériorant les boucles, difficulté du calibrage des paramètres [COURAGE et al., 1976]. Tous ces facteurs se combinent et conduisent à des dysfonctionnements fréquents dans les RAD.

IV.1.4. Données de trafic du système SIRIUS et leur utilisation

A : Données de trafic du système SIRIUS

Pour le système SIRIUS, le RAD est assuré par un ensemble de capteurs de trafic (boucles magnétiques) installés dans la chaussée. Les données élaborées sont fondées sur le découpage du réseau routier en vecteurs voiries[3] [BERNARD et al., 1992]. Il s'agit des :

- données 20s "capteur" et "station"[4] ,
- données 1mn glissant 20s capteur et station[5],
- données 6mn capteur et station[6],
- données 1h station[7]

B : Utilisation des données

La Fig.4.2 illustre le schéma fonctionnel du système SIRIUS en terme d'acheminement des informations. La base de données "ORACLE" est une base où se trouvent des tables de configuration du réseau (découpage en vecteurs voiries) et des

---

[3]Un vecteur voirie est une entité résultant de la décomposition du réseau routier en sections homogènes. Le système informatique "voit" donc le réseau routier comme la juxtaposition de tous les vecteurs voiries. Le découpage du réseau routier en vecteurs voiries est réalisé par l'exploitant lors de la configuration du système. Un vecteur voirie possède une identité à travers tous les systèmes informatiques de SIRIUS.

[4]Pour un point de mesure donné sur la route, chaque voie est équipée d'un capteur. L'ensemble des capteurs sur un point de mesure constitue une station de mesure. Les données "capteur" représentent alors des données de trafic d'une voie. Les données "station" représentent la situation de trafic de l'ensemble des voies dans un même point de mesure. Les données 20s capteur et station: par période de 20 secondes, le système élabore pour chaque capteur et chaque station le débit, le TO et la vitesse.

[5]Par période de 20 secondes en cumulant les trois dernières données 20 secondes, le système élabore pour chaque capteur et chaque station le débit, le TO et la vitesse moyenne.

[6]Par période de 6 minutes et à partir des données 20s, le système élabore pour chaque capteur et chaque station le débit, le TO, la vitesse moyenne et la longueur moyenne des véhicules.

[7]Par période de 1 heure et à partir des données 6mn, le système élabore pour chaque station : le débit, le TO et la vitesse moyenne.

équipements d'exploitation (boucles, stations, caméras, PMV, postes d'appel d'urgence...) ainsi que des données historiques[8] de trafic et du fonctionnement des équipements.

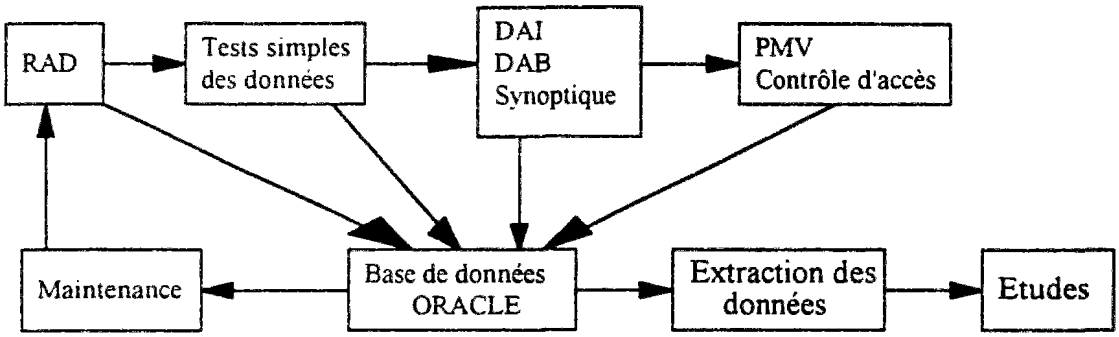


Fig.4.2 : Chaîne de recueil, de traitement et d'utilisation des données

Les données dynamiques sont utilisées pour interpréter en temps réel les conditions de circulation Les données 1 minute glissant 20 secondes sont utilisées pour alimenter en temps réel:

- les algorithmes de la DAI et de la DAB,
- les synoptiques d'états de trafic

Les données sont utilisées en temps différé tant pour l'exploitation que pour la planification et/ou l'amenagement des réseaux. Diverses approches dans l'utilisation des données de trafic sont à considérer, notamment :

- les études prospectives,
- les études ayant pour objet la définition d'une politique régionale d'exploitation à court et à moyen terme,
- les études ponctuelles à caractères opérationnels (aménagement du réseau, temps de parcours, contrôle d'accès...),
- les études de suivi et de bilan qui ont pour but d'apprécier le fonctionnement et l'efficacité des mesures d'exploitation préconisées et appliquées.

---

[8]Par rapport à des données mesurées en temps réel. les données historiques sont des données archivées. Pour le système SIRIUS. Les données 20s sont sauvegardées sur demande de l'opérateur; les données 6mn station sont conservées sur le système pendant 40 jours; les données 1 heure station sont archivées sur le système pendant 2 ans
Les données 20s archivées servent essentiellement au calibrage des algorithmes de la DAI et de la DAB; les données 6mn station archivées sont utilisées pour les traitements statistiques; les données 1 heures station archivées sont utilisées pour les traitements statistiques et pour l'élaboration des données du Recueil National des Données

Les erreurs dans les données impliquent une fausse interprétation des conditions de circulation par le système d'exploitation. Ceci peut avoir des conséquences directes sur les actions d'exploitation Pour la DAI et la DAB, les données non fiables conduisent à un nombre important de fausses alarmes ou au contraire à un taux faible de détection des incidents ou des bouchons [DUDEK et al., 1974]. L'efficacité même de ces systèmes sophistiqués d'exploitation peut donc être remise en cause par une fiabilité insuffisante du RAD.

IV.1.5. Objectifs du chapitre

Rappelons qu'une tres forte densité de stations de mesure (boucles simples tous les 500 mètres, boucles doubles tous les 2 km) a été réalisée sur le RVR d'Ile-de-France comme dans les autres reseaux etrangers (Etats-Unis, Japon par exemple). Ce recueil de données oriente fortement les gestionnaires des RVR vers des actions de surveillances et d'information Or les difficultés rencontrées dans le RAD sont un obstacle au développement des systemes d'information à l'échelle des RVR. Ce défi implique une maîtrise parfaite du RAD

Quand nous avons commence a travailler sur le système SIRIUS, on s'est aperçu du manque de fiabilité des donnees Avant donc de développer et de tester des outils pour l'exploitation des RVR, il nous est apparu indispensable de nous orienter d'abord vers la recherche d'une meilleure maîtrise du RAD

Comme les causes d'erreurs sont nombreuses dans un système de RAD, la maîtrise du RAD doit s'attacher tant au niveau technique qu'au niveau organisationnel. Les mesures techniques identifient les dysfonctionnements des capteurs. Les aspects organisationnels sont la mise en place de procedures de maintenance des dispositifs de RAD. Ce chapitre traite des aspects techniques L'organisation des services pour une meilleure maîtrise du RAD sera abordee plus tard au chapitre VIII

La vérification et la validation des données sont une étape essentielle de fiabilisation des systèmes d'information Pourtant on constate qu'en pratique, les données de trafic issues des RAD sont tres peu vérifiées Une enquête de 1984 montre que, parmi 32 projets de systèmes d'exploitation autoroutiers en Amérique du Nord, 17 possèdent une procédure de verification des données [JENG et al., 1984]. Lors de notre enquête par questionnaire précitee (Chapitre II.1.2), la question relative à la vérification des données a eté posée. Le resultat montre que seulement un système sur 5 possède une procédure

de vérification et de validation des données (cf. Annexe N° 7). Par ailleurs, les méthodes utilisées dans la plupart des systèmes d'exploitation sont insuffisantes.

Si l'exploitant dispose désormais d'une quantité importante de données de trafic, le dysfonctionnement du RAD est fréquent et perturbe considérablement le fonctionnement normal des algorithmes de DAI et DAB. La détection des dysfonctionnements dans les données apparaît donc comme une tâche prioritaire du développement de systèmes d'exploitation plus sophistiqués. C'est la raison pour laquelle nous nous efforçons ici d'étudier les méthodes de vérification de données.

L'objectif principal de ce chapitre est :
- d'analyser les moyens existants de vérification et de validation des données,
- de développer de nouvelles méthodes pour compléter ces moyens existants,
- de tester ces nouvelles méthodes avec les données du système SIRIUS.

IV.2. ANALYSE DES MOYENS EXISTANTS DE VERIFICATION ET DE VALIDATION DES DONNEES DE TRAFIC

IV.2.1. Moyens existants

La vérification des données issues des capteurs n'est pas une idée nouvelle. Mais peu de recherches ont éte réalisées sur ce sujet jusqu'à présent. Jacobson et al. [JACOBSON et al., 1990] classaient les procédures de vérification de données en deux catégories : microscopique et macroscopique. Le niveau microscopique consiste en des tests faits par le contrôleur du microprocesseur. Le niveau macroscopique est effectué à travers le système informatique après agrégation des données dans le temps

A : Vérifications élémentaires

Le test macroscopique de fiabilité des données consiste à comparer les valeurs d'une variable de trafic à une valeur maximale et à une valeur minimale. Les méthodes courantes de vérification des données sont basées sur l'hypothèse implicite de l'existence d'une zone acceptable pour une variable indépendante des autres variables. Le test simple sur chaque variable est effectué pour chaque intervalle de temps (20 secondes dans SIRIUS). Les règles de vérifications courantes sont les suivantes :

- Le débit ne doit pas être négatif et il ne doit pas dépasser une valeur prédéfinie (environ 2 fois le débit maximum observé).

- Le taux d'occupation ne doit pas être négatif et il ne doit pas être supérieur à 100%.
- La vitesse ne doit pas être négative et elle doit rester inférieure à une valeur maximale (150 km/h utilisée dans le système Mississauga à Toronto).

B : Autres méthodes de vérification des données

CLEGHORN et al. (1991) ont proposé trois techniques de vérification des données de trafic autoroutier.

Leur première approche consiste à établir une enveloppe théorique de limite supérieure pour les nuages de points débit-TO dont le TO est inférieure ou égale au TO critique. Selon l'hypothèse du diagramme fondamental, on a :

$$\text{Débit} = \frac{\text{TO} \cdot \text{Vitesse}}{L + l}$$

avec L et l : longueur moyenne des véhicules et longueur de boucle.

Ils avaient déduit à partir de cette équation que, pour un débit constant, le TO diminue quand la vitesse croît et ou quand la longueur moyenne des véhicules diminue. Ainsi, leur première methode propose une enveloppe des limites supérieures des points (débit, TO) par une droite dont la pente est le ratio : V_{max} / L_{min} où V_{max} et L_{min} désignent respectivement la vitesse maximum et la longueur minimum de véhicule. Cette technique convient aux stations équipées de capteurs simples.

Leur deuxième méthode pour des stations équipées de capteurs doubles consiste à comparer les variables de trafic mesurées par les deux boucles installées sur une même voie et séparées par une courte distance (1 ou deux mètres). Par exemple, sur le plan composé du débit de la première boucle (Q_1) et du débit de la deuxième boucle (Q_2), la disposition des points (Q_1, Q_2) doit se trouver dans une zone délimitée par deux droites en tenant compte des phenomènes tel le changement de voie.

Leur troisième méthode consiste à définir des marges empiriques acceptables pour des combinaisons de vitesse, débit et taux d'occupation, fondées sur des données historiques. L'objectif est de détecter les combinaisons impossibles entre les trois variables dans un espace de trois dimensions.

IV.2.2. Analyse et réflexion

La vérification élémentaire est une approche simple et nécessaire pour assurer un fonctionnement normal des systèmes d'exploitation. Elle constitue une étape essentielle dans le processus de recueil et de traitement de données. Mais force est de constater qu'elle n'est pas suffisante pour garantir la fiabilité des données. D'une part, cette approche vérifie chaque variable d'une façon indépendante qui ne permet pas de détecter une combinaison impossible entre les trois variables à un moment donné[9]. D'autre part, elle traite des stations séparément sans utiliser la cohérence entre les stations adjacentes.

L'approche de CLEGHORN pour des stations équipées de capteur simple est limitée du fait qu'elle ne traite pas les points dont les TO sont supérieurs au TO critique[10]. D'ailleurs notre expérience avec des données SIRIUS montre qu'il y a souvent des points non fiables pour TO > TO critique. D'autre part, cette technique ne fait pas référence à une enveloppe de limites inférieures sur le plan débit-TO. Cette approche est donc encore incomplète.

La technique de comparaison des données entre deux capteurs d'une même station proposée par CLEGHORN est utile et pratique.

Pour ce qui est enfin de la technique de vérification de débit, de vitesse et de TO à partir des données historiques, elle constitue théoriquement un bon moyen de vérification en permettant de détecter des combinaisons impossibles des trois variables macroscopiques. Cependant, cette technique est difficile à mettre en oeuvre en pratique et ne permet pas de donner une estimation pour les données non fiables.

L'analyse ci-dessus montre que les moyens existants ne suffisent pas pour détecter les dysfonctionnements dans des données. Dans ce qui suit, nous proposons trois méthodes pour identifier et remplacer les données erronées. Elles sont :

- la vérification des données par POCHES;
- les tests de cohérence entre débit, TO et vitesse;
- l'algorithme du double lissage exponentiel.

---

[9]comme un TO de 3% correspondant à un débit de 2000 véh/voie/h ou un TO de 100% correspondant à une vitesse de 30 km/h.

[10]le TO critique est le taux d'occupation correspondant à la concentration critique.

IV.3. PROPOSITION DE TROIS MOYENS DE VERIFICATION DES DONNEES

IV.3.1. Vérification par "POCHES"

A : Principe

Selon la loi de conservation des véhicules, la variation du nombre de véhicules sur un tronçon (x_1, x_2) d'autoroute est égale à la différence entre le nombre entré en x_1 entre les instants t_1 et t_2 et le nombre sorti en x_2 durant le même intervalle de temps.

Le principe des POCHES est l'application directe de cette loi de conservation des véhicules. Si l'intervalle de temps est suffisamment long (une heure par exemple), la différence entre la somme des véhicules entrant d'une section et la somme des véhicules sortant de cette même section doit être très faible. Elle ne doit pas dépasser la variation de concentration multipliée par la longueur de la section.

Le principe de POCHES se formalise de la manière suivante :

$$Q_1 - Q_2 < \Delta x \cdot \frac{TO(t_2) - TO(t_1)}{L + l}$$

Avec :

Q_1, Q_2 : nombre de véhicules entrant et sortant d'une POCHE entre instant t_1 et t_2,

$TO(t_2)$, $TO(t_1)$: taux d'occupation aux instants t_2 et t_1,

Δx : longueur du tronçon . $\Delta x = (x_2 - x_1)$,

L, l : longueur moyenne des véhicules et longueur du capteur.

B : Utilités

La méthode des POCHES consiste à vérifier la cohérence des débits de différentes stations. C'est par la création et la vérification de plusieurs POCHES associées à une station de mesure qu'on peut identifier la justesse de la mesure du débit.

IV.3.2. Vérification des données par tests de cohérence entre débit, taux d'occupation (TO) et vitesse

Ce moyen peut s'effectuer avec tous les capteurs qu'ils soient simples ou doubles. A partir du diagramme correspondant aux relations Débit-TO, Débit-Vitesse et Vitesse-

TO, on détermine des plages d'espace considérées comme "zones interdites" à l'intérieur desquelles les points seront considérés erronés.

A : Test de cohérence Débit-TO

Comme illustré sur la Fig.4.3, les zones interdites sont délimitées par des droites du type Q=a•TO+b. Les valeurs a et b des droites dépendent du type de voie (voies lentes, voies médianes, voies rapides) de l'agrégation des données.

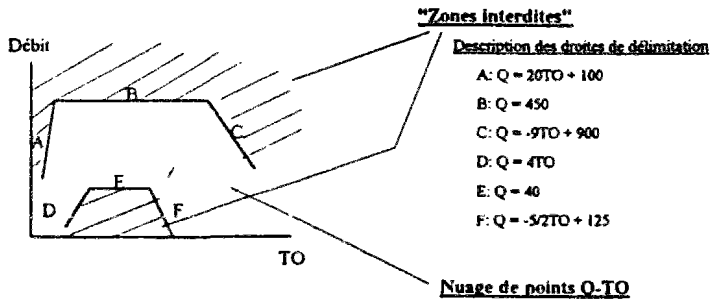


Fig.4.3 : Exemple de délimitation des "zones interdites" sur le plan Q-TO

L'exemple ci-dessus (droites A à F) est valable pour l'ensemble des capteurs (et pour des données 6mn).

B : Test de cohérence Débit-Vitesse

Les zones interdites sont délimitées par des droites de type Q=c•V+d (c et d sont des paramètres). La Fig.4.4 montre un exemple de délimitation.

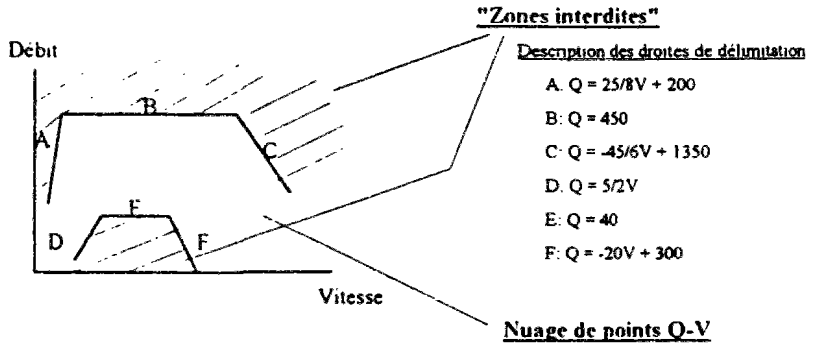


Fig.4.4 : Exemple de délimitation des "zones interdites" sur le plan Q-V

Les valeurs c et d des droites dépendent toujours du type de voie (voies lentes, voies médianes, voies rapides) et de l'agrégation des données.

C : Test de cohérence Vitesse-TO

Les zones interdites sont délimitées par des droites du type V=e•TO+f (e et f sont des paramètres).

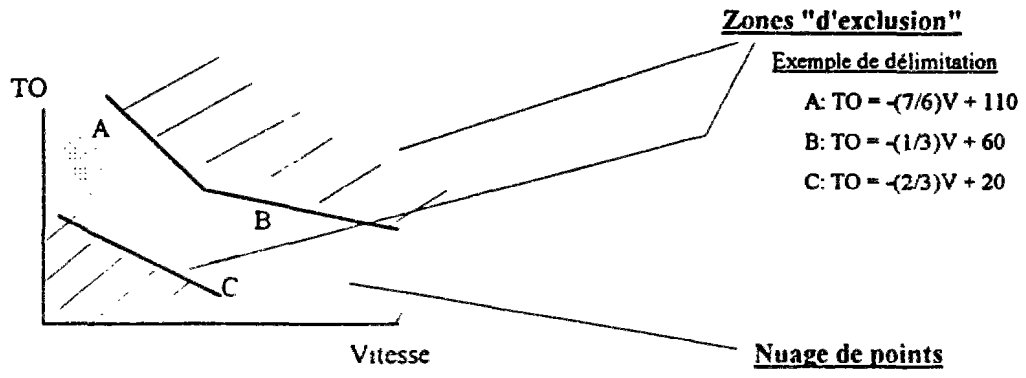


Fig.4.5 : Exemple de délimitation des "zones interdites" sur le plan V-TO

D : Qualification des données en fonction des tests de cohérence

Les trois tests de cohérence ci-dessus permettent d'éliminer les valeurs des variables macroscopiques

- Si les trois couples de variables testées appartiennent à une zone interdite, les trois données: débit, TO et vitesse sont qualifiées "fausses",
- Si deux couples sur trois appartiennent à une zone interdite, alors la variable appartenant aux deux zones interdites et n'appartenant pas à la zone admise est qualifiée de "fausse". Les deux autres variables sont qualifiées "vraies".
- Si un couple de variables appartient à une zone interdite et les deux autres à une zone admise, alors les trois variables sont qualifiées "fausses".

IV.3.3. Vérification des données par le double lissage exponentiel

Le lissage exponentiel permet d'avoir une prédiction de la variable étudiée (débit, taux d'occupation et vitesse) d'après sa valeur aux instants précédents. Cette méthode consiste en un lissage de la variable déjà lissée. Soit x(t) la variable de trafic utilisée, on définit:

$$S_1(t) = a \cdot x(t) + (1-a)\, S_1(t-1) \quad (1)$$

$$S_2(t) = a \cdot S_1(t) + (1-a)\, S_2(t-1) \quad (2)$$

avec : S_1 et S_2 : Valeurs lissées,
a : constante de lissage.

La prévision de la valeur $x_e(t+\tau)$ se fait par :

$$x_e(t+\tau) = A(t) + \tau \cdot B(t) \quad (3)$$

Avec: $A(t) = 2\, S_1(t) - S_2(t)$ (4)

$$B(t) = \frac{a}{1-a}\left[S_1(t) - S_2(t)\right] \quad (5)$$

τ : horizon de prédiction

Le filtrage consiste à vérifier $x(t)$ par rapport à $x_e(t)$ soit :

$$x_e(t) - \varepsilon(t) < x(t) < x_e(t) + \varepsilon(t) \quad (6)$$

Avec $\varepsilon(t)$: écart type

On approche l'écart type en calculant l'écart absolu moyen (σ) qui lui est proportionnel, avec un coefficient. Soit :

$$\varepsilon(t) = \beta \cdot \sigma(t) \quad (7)$$

avec β coefficient

On obtient la valeur de l'écart absolu moyen par lissage exponentiel de la différence entre la variable calculée et sa valeur réelle.

$$\sigma(t) = \alpha\, |E(t)| + (1-\alpha) \cdot \sigma(t-1) \quad (8)$$

$$E(t) = x(t) - x_e(t) \quad (9)$$

avec α : constante, $\alpha = 0.1$

L'initiation de S_1 et S_2 se faite avec la moyenne des dix premières valeurs mesurées et $\sigma(t-1)$ s'obtient par la formule :

$$\sigma(t-1) = \left[\left(\frac{2}{2-a} \cdot \frac{2}{\pi}\right) \sigma_x^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (10)$$

Règle de qualification des données:

Si x(t) ne vérifie pas la relation (6), on la considère comme une donnée aberrante et on la remplacera par la valeur estimée: $x_e(t)$.

Cette méthode peut être utilisée pour filtrer les données à utiliser dans des modèles de simulation du trafic. Par exemple, on peut vérifier avant d'appliquer le modèle META les données, à chaque pas de temps (k), en calculant les valeurs $x_e(k+1)$ et $\varepsilon(k+1)$ et en les comparant aux valeurs mesurées. Les variables du trafic considérées sont le débit (Q), le taux d'occupation (TO) et la vitesse (V).

Compte tenu du caractère aléatoire des variables à traiter, on a fixé le coefficient "a" entre 1 et 2. D'autre part, on définit pour chaque variable une zone de valeur "raisonnable", largement au-dessus de la zone calculée par la formule (6). Soit: $0 < x(t) < X_{max}$

X_{max} est défini selon la variable et l'intervalle de mesure du débit. Pour le taux d'occupation, TO_{max} = 100% Pour la vitesse, V_{max} = 150 km/h.

IV.4. APPLICATION DES OUTILS DE VERIFICATION SUR LES DONNEES SIRIUS

IV.4.1 Choix du site et des données

L'exemple porte sur un tronçon de l'autoroute A13 en sens W (Province→Paris) où se forment régulièrement des bouchons (voir Fig.4.6). Ce tronçon possède trois stations successives de mesure dont l'inter-distance est d'environ 500 mètres (cas fréquent pour le réseau SIRIUS). Par la suite, il sera utilisé au chapitre VII pour l'application du modèle META pour la reconstitution des données manquantes.

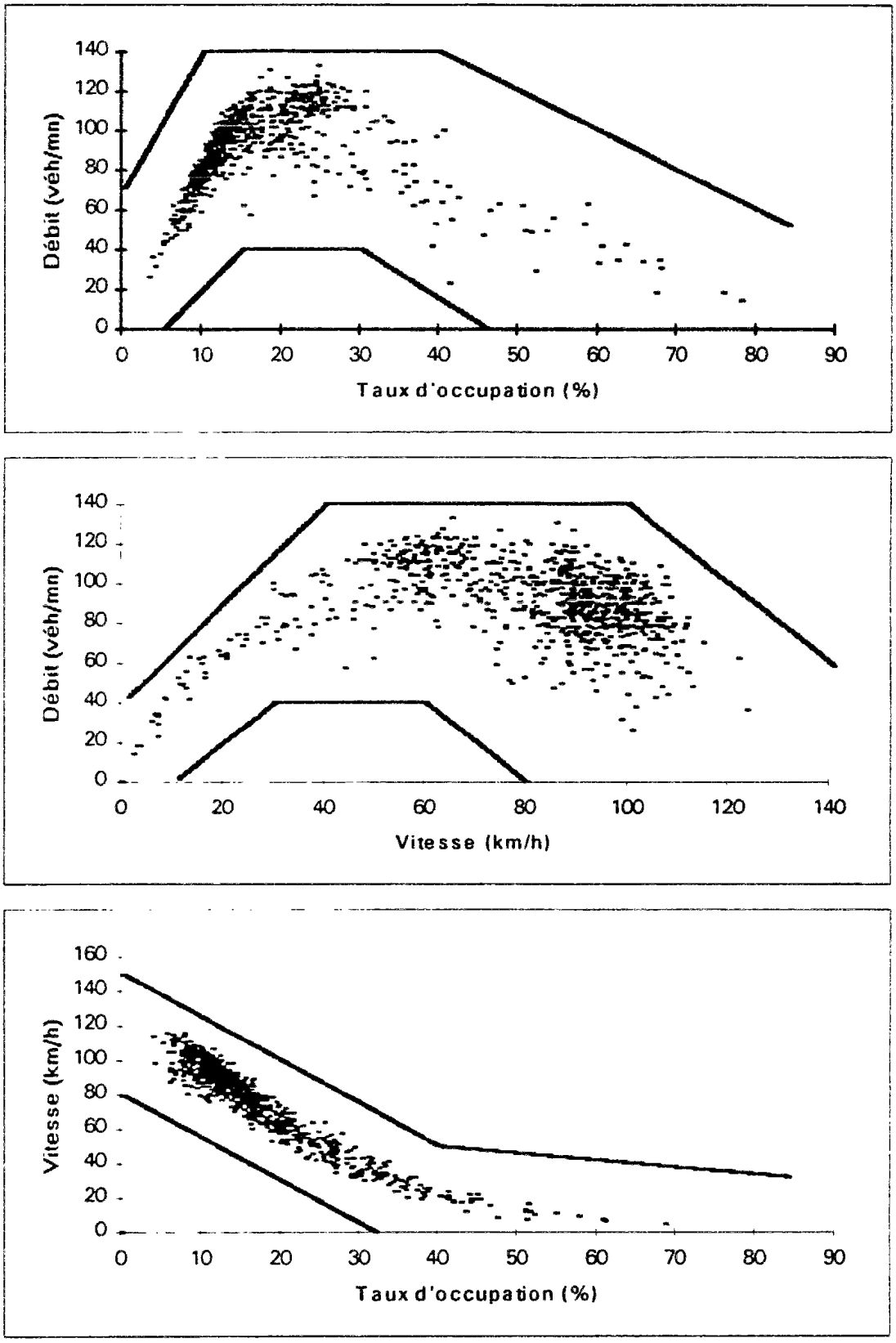


Fig.4.9 : Test de cohérence Q-TO, Q-V et V-TO (Station A13 W 28, données du 24 juin 1992)

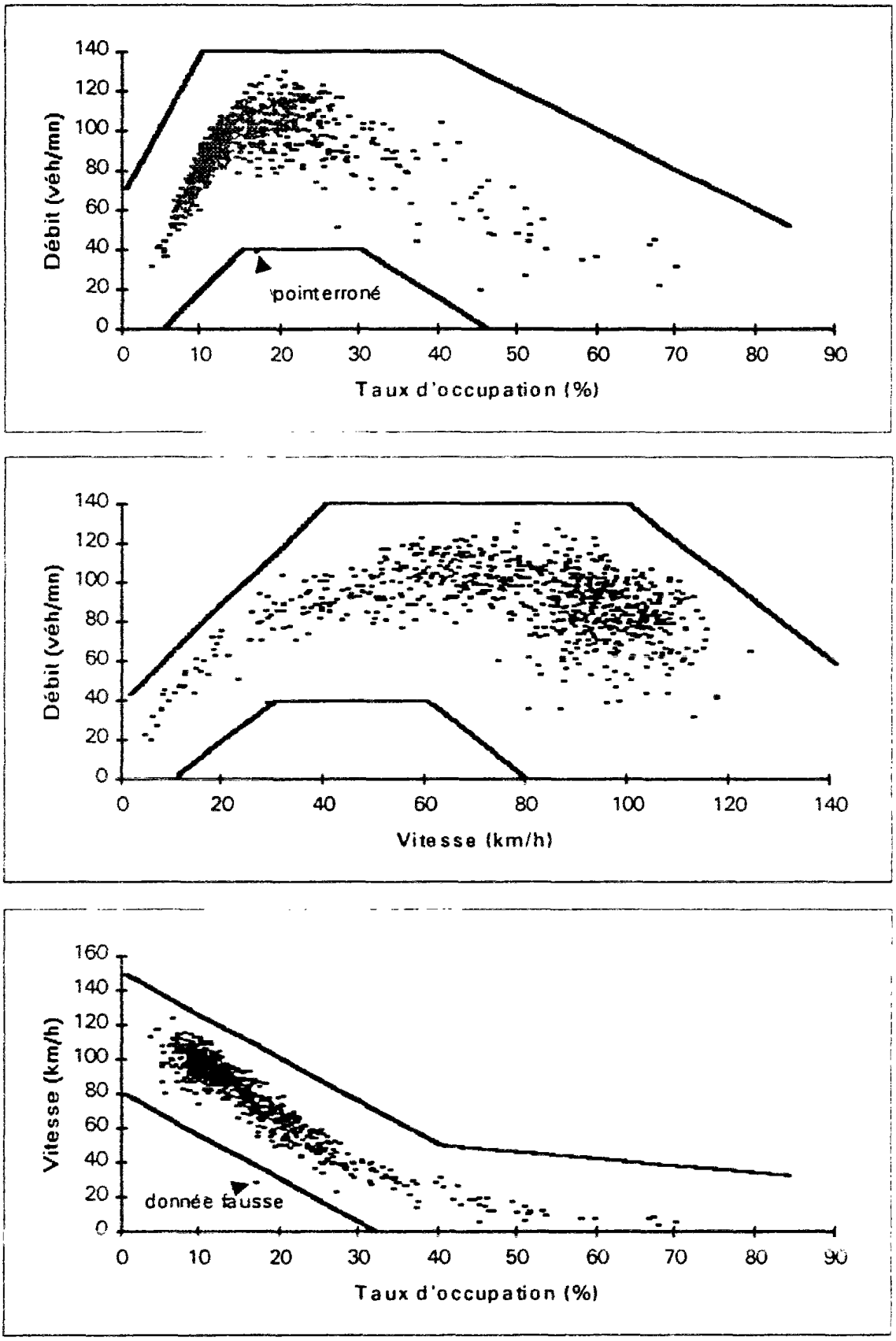
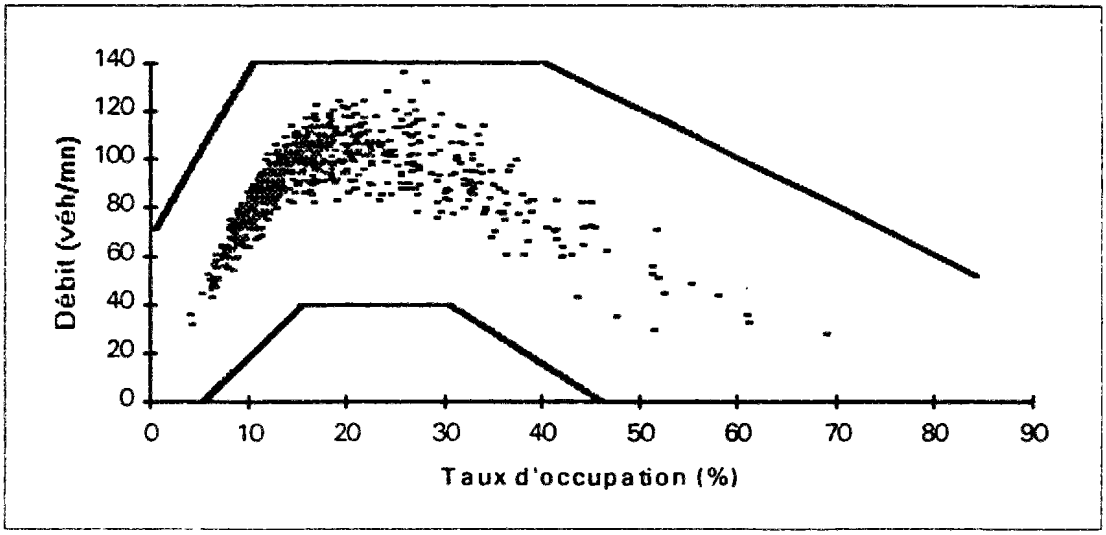
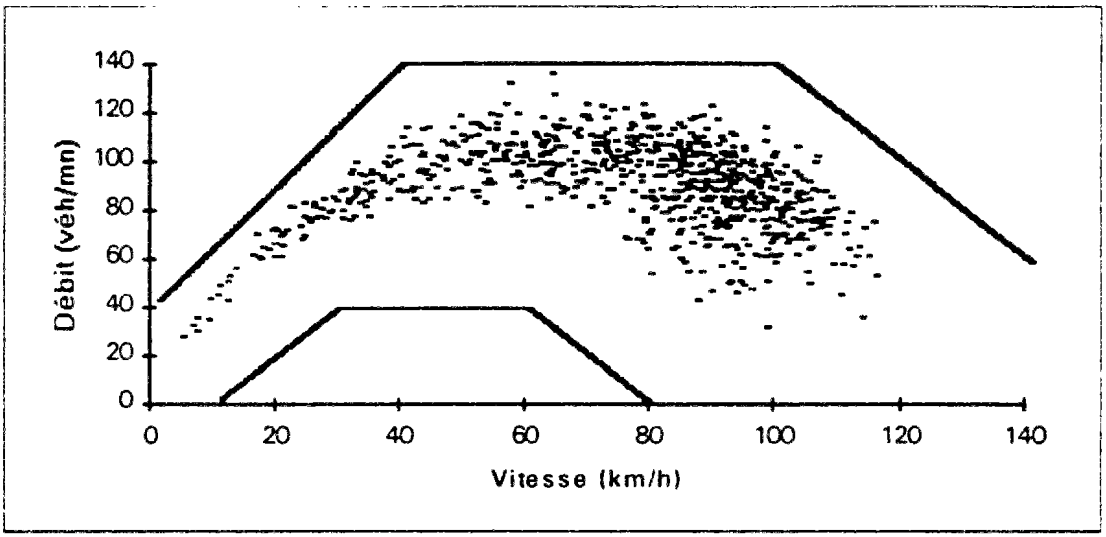


Fig.4.10 : Test de cohérence Q-TO, Q-V et V-TO (Station A13 W 26, données du 24 juin 1992)





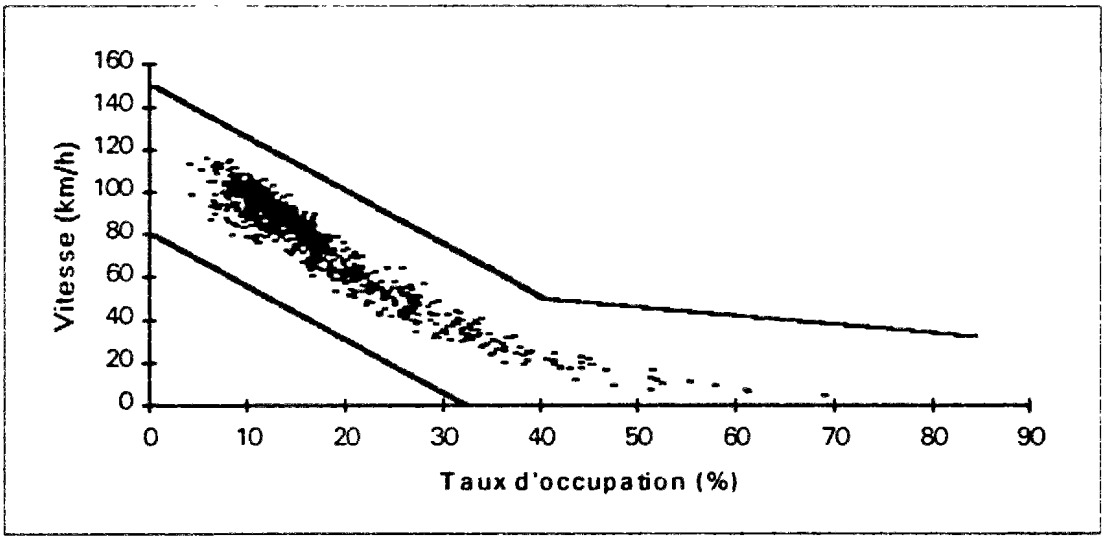


Fig.4.11 : Test de cohérence Q-TO, Q-V et V-TO (Station A13 W 24, données du 24 juin 1992)

IV.4.4. Vérification et remplacement des données aberrantes

Un programme de filtrage des données avec algorithme de double lissage exponentiel (cf. IV.3.3) a été réalisé. L'algorithme de programmation est donné dans la Fig.4.12. En utilisant ce programme de vérification, ont été remplacées les valeurs aberrantes du ficher de données du 24/06/92.

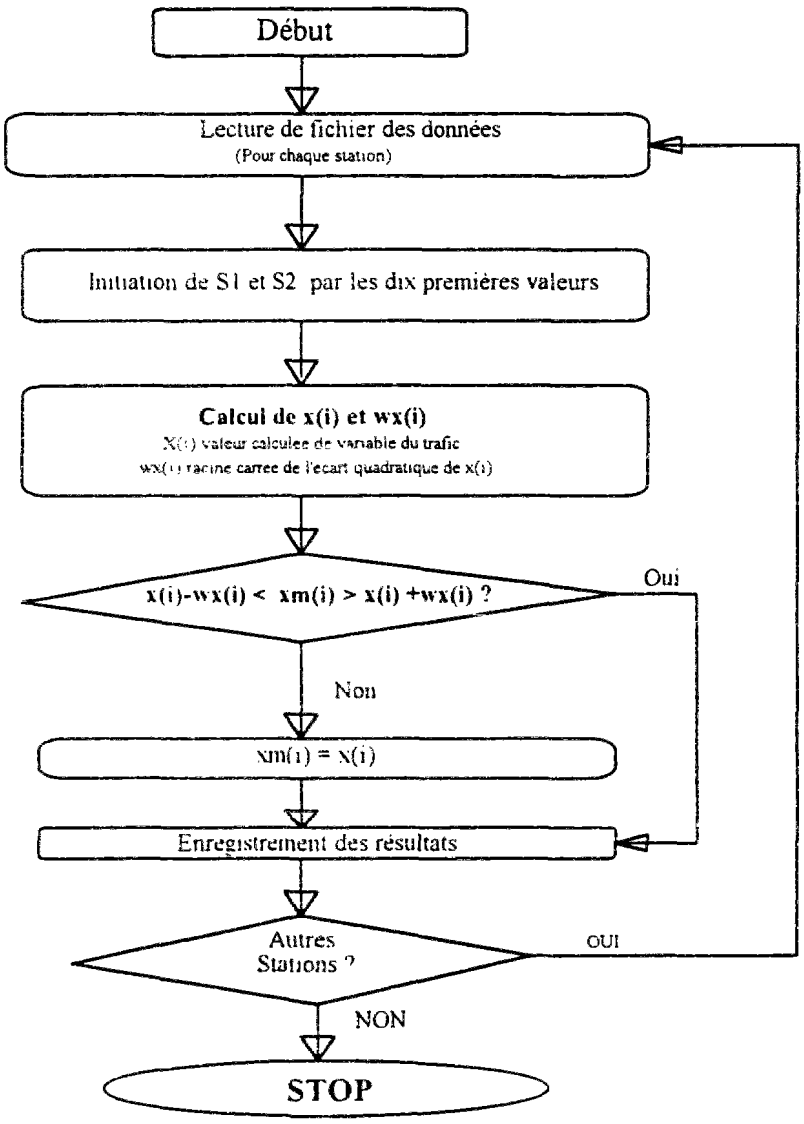


Fig.4.12. Algorithme de vérification des données par l'algorithme de double lissage exponentiel

IV.5. EVALUATION ET CONCLUSION

Les trois méthodes que nous avons proposées viennent compléter les méthodes existantes de vérification des données de trafic. Leur application peut contribuer à optimiser la fiabilité des données.

La méthode de POCHES permet de confronter les comptages dans l'espace et dans le temps. Cette méthode est surtout efficace pour des stations situées en sections courantes par rapport aux stations situées aux extrémités des axes. Selon la finesse de la vérification souhaitée, la période peut être plus ou moins longue (une journée, une heure, 15 mn etc.). Cette méthode peut être utilisée en temps réel et en temps différé sachant que son utilisation en temps réel nécessite un matériel informatique plus conséquent (mémoire et capacité de traitement).

La vérification par test de cohérence Q-TO, Q-V et V-TO constitue un processus essentiel de qualification des données dynamiques. En fait, ces tests de cohérence permettent une double vérification. La fiabilité des données est examinée d'une part à travers les relations intrinsèques liant les trois variables d'une manière visuelle et directe et d'autre part, via la position des courbes théoriques du diagramme par rapport aux nuages de points sur les plans Q-TO, Q-V et V-TO. S'il existe un écart systématique trop important entre les courbes théoriques et les nuages de points, on juge que le diagramme ne convient pas (plus) à cette station. On recalibre les paramètres. Pour l'instant, la délimitation des zones interdites reste empirique et grossière et nécessite des recherches approfondies en prenant en compte des facteurs comme le type de voies, l'agrégation des données et les comptages réels.

La méthode du double lissage exponentiel est théoriquement capable d'identifier des données aberrantes et de les remplacer. L'avantage principal de cette méthode réside dans la proposition d'une valeur de remplacement. Le remplacement en temps réel des données aberrantes rend possible la fonction de surveillance du trafic, la DAI et la DAB en cas de dégradation du système d'exploitation. Toutefois, cette méthode doit faire l'objet d'une validation d'être appliquée.

A signaler que l'utilisation en temps réel de ces moyens de traitement des données entraîne des coûts supplémentaires d'installation, de fonctionnement et d'entretien du système informatique. Mais la finalité recherchée les justifie pleinement (gain potentiel lié à l'amélioration des actions d'exploitation fondées sur des données fiables).

L'application de ces méthodes dans le système SIRIUS a montré leur pertinence. Ces moyens de vérification de données vont aider l'exploitant à améliorer le RAD, essentiel pour la mise en place de nouvelles politiques d'exploitation.

Ce chapitre a été consacré à la mise à plat de ces méthodes de vérification des données. Leur utilisation au sein du système SIRIUS sera traitée ultérieurement au chapitre VIII.

Chapitre V :

CALIBRAGE DES PARAMETRES DU DIAGRAMME FONDAMENTAL

V.1. CONSIDERATION GENERALE

1. Le diagramme fondamental

Le diagramme fondamental (cf. IV.1.1.) est la représentation d'une loi expérimentale liant les trois principales variables macroscopiques du trafic : débit, concentration et vitesse. Il livre une image simplifiée de la réalité de l'écoulement du trafic tout en correspondant "bien" aux données expérimentales.

L'hypothèse du diagramme fondamental suppose le trafic homogène et stationnaire, c'est-à-dire que le débit, la concentration et la vitesse varient peu autour de leurs moyennes respectives. A faible concentration de véhicules, on observe une vitesse moyenne du flot de véhicules généralement élevée. Cette dernière est appelée vitesse libre ou vitesse désirée. A l'inverse, lorsque la concentration augmente, les interactions entre les véhicules s'accroissent et la vitesse moyenne diminue. Ce constat suggère que la vitesse soit une fonction monotone décroissante de la concentration.

Dans le passé, plusieurs lois fondamentales ont été proposées. Parmi elles, les fonctions polynomiales, logarithmiques et exponentielles sont souvent utilisées. Les fonctions les plus fréquemment employées sont décrites par S. COHEN [COHEN, 1990]. Dans cette recherche, nous avons choisi les lois proposées par May et Underwood pour le calibrage des paramètres, en raison principale de leur application massive dans le domaine de l'exploitation routière.

2. L'importance du diagramme fondamental

Le diagramme fondamental joue un rôle précieux dans la conception et l'exploitation des autoroutes, en temps réel comme en temps différé. Par exemple, les modèles de

simulations du trafic s'appuient le plus souvent sur le diagramme fondamental pour leurs processus de simulation. Par ailleurs, le diagramme fondamental aide à interpréter les caractéristiques de l'écoulement du trafic sur une section d'autoroute et, de ce fait, a été souvent utilisé dans les études de capacité des autoroutes. Il peut aussi être utilisé dans le processus de vérification et de validation des données de trafic comme cela a été exposé au chapitre précédent.

3. Le calibrage du diagramme fondamental

Le diagramme fondamental est sensible à de nombreux facteurs tels la géométrie de la route, la nature et la composition du trafic, les conditions météorologiques, les mesures d'exploitation (régulation de vitesse par exemple), etc. Il est donc indispensable de définir un diagramme pour chaque section de voies rapides et de procéder fréquemment à sa mise à jour.

En pratique, le diagramme est élaboré à partir des données mesurées sur le terrain. La courbe représentant la relation débit/taux d'occupation (ou concentration) est ajustée statistiquement au nuage des points mesurés.

La méthode la plus utilisée dans la détermination des paramètres du diagramme fondamental est la régression non linéaire. Un procédé d'estimation possible consiste à mettre en oeuvre la régression non linéaire par l'algorithme de Gauss-Newton. Par exemple la loi proposée par May [cf. formule (8) en section IV.1.1.], nécessite d'estimer simultanément les paramètres V_f, C_{cr} et "a" qui minimisent l'erreur quadratique d'estimation. Dans le cas du modèle META où un algorithme d'optimisation (BOX) est utilisé pour calibrer les paramètres dont ceux du diagramme fondamental font partie.

Deux problèmes majeurs se posent lors du calibrage des paramètres par ce type d'approche : d'une part les paramètres peuvent correspondre à un optimum local; d'autre part le temps d'optimisation est souvent long. De plus, les paramètres physiques ne sont pas directement évalués, ce qui rend difficile la vérification.

4. Les objectifs du chapitre

L'importance du diagramme fondamental et la limite des moyens de calibrage existants font qu'il est indispensable de mettre à la disposition des exploitants un outil simple et pratique de calibrage. A partir des ces considérations, nous proposons une

méthode simple et rapide de calibrage des paramètres du diagramme fondamental. Concrètement, ce chapitre expose :

- le développement et l'utilisation des algorithmes de calibrage,
- la création d'un outil informatique permettant la mise en pratique de ces algorithmes,
- la validation de cette méthode de calibrage sur des données SIRIUS.

V.2. PRINCIPE ET ALGORITHMES DE CALIBRAGE

V.2.1. Paramètres à calibrer

Parmi les lois proposées dans le passé, on a choisi les lois de May et d'Underwood qui sont souvent utilisées dans le domaine de l'exploitation routière. Leurs formules sont respectivement :

$$Q(t) = V_f \cdot \frac{C(t)}{L+l} \cdot \exp\left[-\frac{1}{a} \cdot \left(\frac{C(t)}{C_{cr}}\right)^a\right] \qquad \text{(May)}$$

$$Q(t) = a_1 \cdot TO(t) \cdot \exp[-b \cdot TO(t)] \qquad \text{(Underwood)}$$

Avec Q(t) : le débit à l'instant t,
C(t) : la concentration à l'instant t,
TO(t) : le taux d'occupation à l'instant t,
L, l : longueur moyenne des véhicules et longueur de boucle.

Pour la loi de May, 3 paramètres sont à calibrer:
V_f : Vitesse libre,
C_{cr} Concentration critique,
a : paramètre exponentiel.

Pour la loi d'Underwood, deux paramètres sont à calibrer. Ils peuvent être obtenus à l'aide des paramètres calibrés pour la loi de May en utilisant les deux formules ci-contre :

$$a_1 = \frac{e}{TO_{cr}} \cdot C_{ap} \qquad \text{et} \qquad b = \frac{1}{TO_{cr}}$$

où TO_{cr} : taux d'occupation critique,
C_{ap} : capacité d'autoroute,
e = 2.71828.

V.2.2. Principe de calibrage

D'une manière générale, la courbe simplifiée représentant la relation débit/concentration ajustée au nuage de points empirique, prend la forme illustrée Fig.5.1. La première partie de la courbe correspond à l'état fluide de la circulation. Cette situation est facile à interpréter : les véhicules ne se gênent pas. Lorsque le débit et la concentration augmentent, les véhicules commencent à se gêner ou interagir pour atteindre un point critique. Le niveau de débit correspondant à cette concentration traduit la capacité de l'infrastructure, c'est-à-dire le débit maximal : Q_{max} susceptible d'être écoulé. Le trafic présente une certaine instabilité aux environs du point critique. Au-delà de ce seuil critique, si la concentration continue d'augmenter, le débit se met à diminuer. Les véhicules se gênent de plus en plus et le régime de circulation est dit saturé. Dans cette zone, le nuage de points tend à être plus dispersé.

Au total, un même débit correspond à deux valeurs bien distinctes de la concentration, selon que la circulation est fluide ou saturée. Ainsi par exemple, un débit nul signifie que le tronçon est vide ou qu'au contraire la concentration est à sa valeur limite C_j (appelée concentration d'embouteillage), par suite d'un blocage à l'aval.

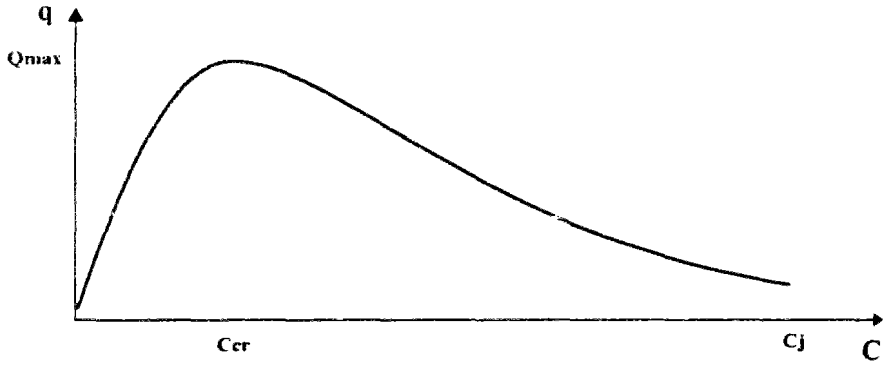


Fig.5.1 Représentation du diagramme fondamental dans le plan (C, Q)

La méthode de calibrage des paramètres que nous proposons consiste à déduire directement, selon les caractéristiques de l'écoulement du trafic et à partir des données mesurées, les paramètres du diagramme correspondant.

V.2.3. Algorithmes

1. Calibrage de la vitesse libre (V_f)

Par définition, la vitesse libre est la vitesse à concentration faible (quasi-nulle). En pratique, la vitesse libre correspond à la moyenne des vitesses pour des taux d'occupation (TO) faibles. L'expérience a montré que pour un TO inférieur à un certain seuil, la relation entre débit et TO est quasiment une droite, les véhicules adoptent la vitesse libre (V_f), et ne se gêner les uns les autres.

En sélectionnant les données [Q(i), TO(i)] dont le TO(i) est inférieur à un seul prédéfini, on peut donc déduire V_f par :

$$V_f = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{Q(i)}{TO(i)} \cdot (L + l)$$

Avec les contraintes: 1) TO_seuil_bas < TO(i) < TO_seuil_haut
2). $N > N_{min}$

où :

Q(i) : débit correspondant à la $i^{ème}$ période de mesure,

TO(i) : taux d'occupation correspondant à la $i^{ème}$ période,

N : Nombre total de points [Q(i), TO(i)] satisfaisant à la première contrainte,

$L + l$ ("longueur électrique") longueur moyenne des véhicules + longueur de boucle,

N_{min} : nombre minimum de points,

TO_seuil_bas seuil inferieur du taux d'occupation,

TO_seuil_haut seuil supérieur du taux d'occupation.

Remarques:

a). Du point de vue statistique, il est nécessaire d'avoir un nombre minimum de points : N_{min} satisfaisant à la première contrainte.

b). Le TO_seuil_bas est introduit ici pour éviter une division par zéro. En pratique, on prend TO_seuil_bas = 1%.

c). Le TO_seuil_haut définit une valeur maximale de TO pour sélectionner les points (Q, TO) dans le calibrage de V_f. En principe, la valeur de TO_seuil_haut devrait varier selon les stations. Il convient de choisir la valeur de TO_seuil_haut pour chaque station à l'aide d'une courbe traduisant la relation entre V_f et TO_seuil_haut.

2. Calcul de la concentration critique (C_{cr})

L'analyse précédente des caractéristiques du diagramme fondamental montre que, quand TO(i) s'approche du TO critique, le débit correspondant s'approche de la capacité de la section. La concentration critique peut donc être déduite par la moyenne des concentrations dont le débit > Capacité nominale. Concrètement, on obtient la C_{cr} par la formule suivante :

$$C_{cr} = \frac{1}{L+l} \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} TO(i)$$

Avec C_{cr} : concentration critique,

$L+l$ longueur moyenne des véhicules + longueur de boucle,

n nombre total de points [Q(i),TO(i)] dont $Q(i) > Q \cdot N_v$,

TO taux d'occupation,

Q Capacité nominale d'une voie (Q=1800 véh/voie/km),

N_v nombre de voies

3. Calcul de capacité de l'autoroute liée à une section

Notre algorithme de calcul de capacité consiste à découper la plage de TO en tranches. Pour chaque tranche de TO, on calcule le débit moyen. Le débit moyen le plus élevé parmi les différentes tranches est considéré comme la capacité de la section. Le découpage de la plage de TO en tranches doit se faire d'une façon glissante. La longueur d'une tranche de TO doit être faible (3% par exemple).

$$C_{ap} = \max\left[q_{moy}(i)\right] \qquad i = 1, \quad n,$$

$$q_{moy}(i) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^{m} q(j)$$

Sous la contrainte $TO_1(i) < TO(j) < TO_2(i)$

Avec $TO_1(i)$: seuil inférieur de $i^{ème}$ tranche de TO,
$TO_2(i)$: seuil supérieur de $i^{ème}$ tranche de TO.

4. Détermination du paramètre exponentiel "a"

Pour la formule de May, quand $C(i)=C_{cr}$, on a $Q(i)=C_{ap}$. Le paramètre "a" est calculé par la formule ci-contre :

$$a = \frac{-1}{\ln \frac{C_{ap}}{V_f \cdot C_{cr}}}$$

Une fois les paramètres de la loi de May calibrés, les deux paramètres de la loi d'Underwood peuvent être obtenus avec les formules présentées dans la section V.2.1.

V.2.4. Programmes informatiques de calibrage

Deux programmes informatiques ont été réalisés pour la mise en pratique des algorithmes. Le premier programme consiste à tester la sensibilité de la vitesse libre (V_f) en fonction de la variation des seuils de taux d'occupation. Il a été notamment utilisé pour déterminer le seuil supérieur de TO (TO_seuil_haut), paramètre important dans l'algorithme de calcul de V_f. L'autre programme est destiné à calibrer les paramètres du diagramme fondamental de la loi de May : la vitesse libre (V_f), la concentration critique(C_{cr}), la capacité d'infrastructure (C_{ap}) et le paramètre exponentiel : "a".

Ces deux programmes ont été écrits en langage C et fonctionnent sur micro-ordinateur. La structure des algorithmes est donnée les Fig.5.2 et Fig.5.3.

V.3. APPLICATION SUR LE RESEAU SIRIUS

V.3.1. Site et données

Le site est un tronçon homogène de l'autoroute A13, déjà utilisé (chapitre IV) pour la validation des outils de vérification des données (cf. Fig.4.6). Six journées (voir tableau 5.1) de données ont été retenues pour tester la méthode de calibrage. Les données 1mn et 6mn ont été obtenues à partir des données SIRIUS 20s.

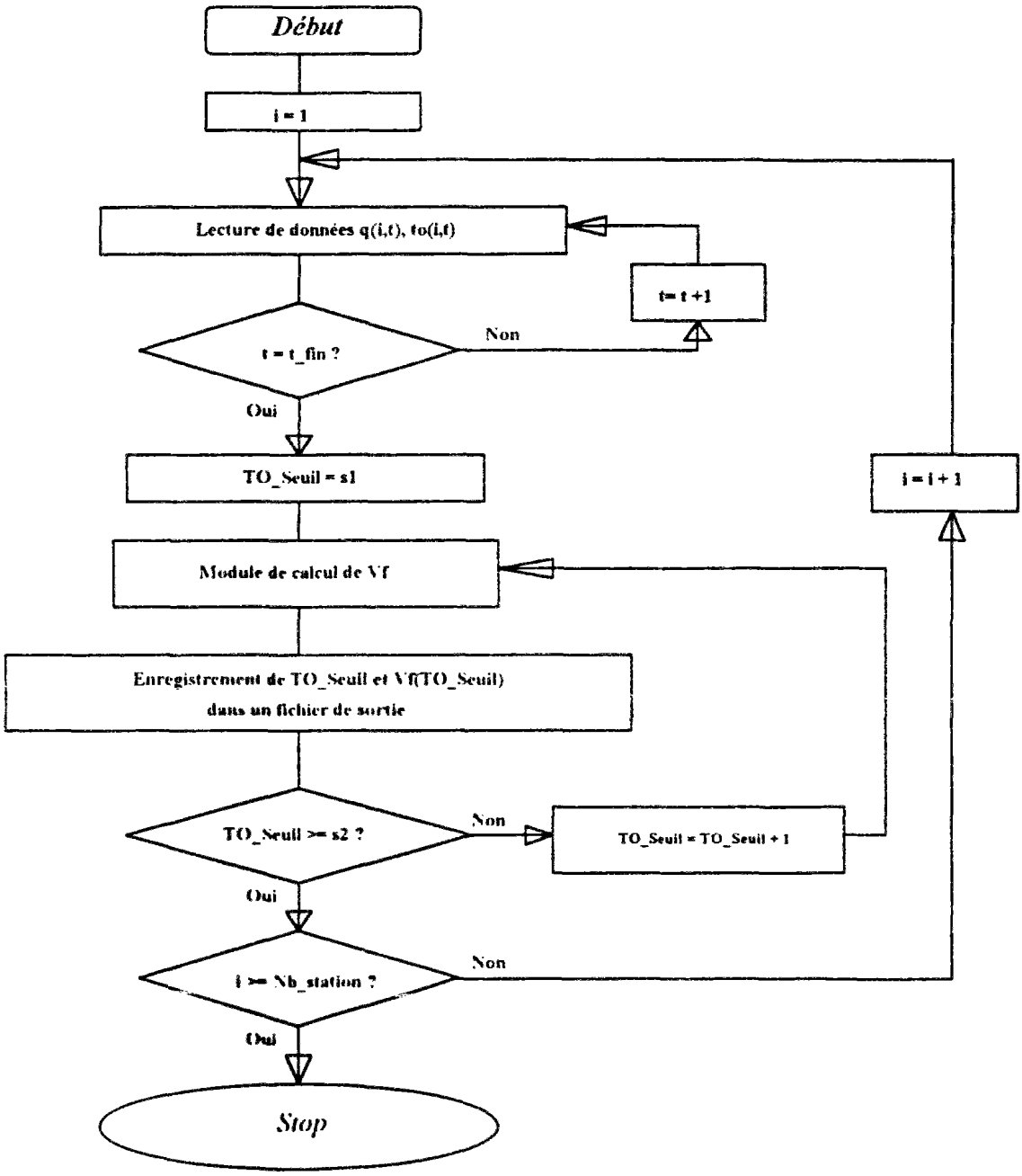


Fig.5.2 Structure de l'algorithme de calcul de la vitesse libre (V_f) en fonction des seuils de Taux d'occupation

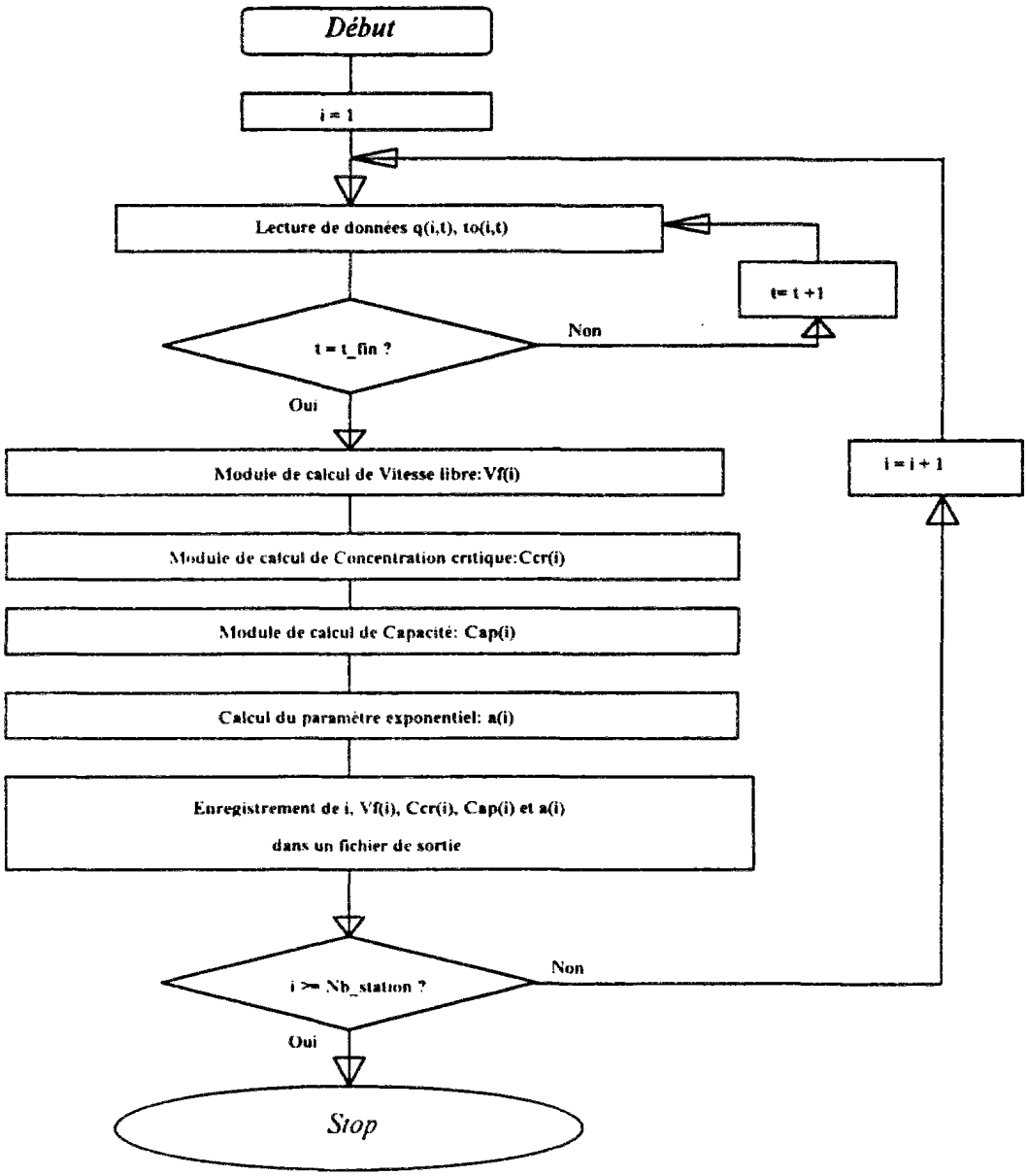


Fig.5.3. Structure de l'algorithme de calcul de V_f, C_{cr}, C_{ap} et paramètre exponentiel "a"

V.3.2. Résultats et analyses

1). Variation de V_f en fonction de TO_seuil_haut

En utilisant le programme de calcul de la vitesse libre en fonction de TO_seuil_haut, on obtient des points [V_f(i), TO_seuil_haut(i)]. La Fig.5.4 est un exemple des courbes V_f - TO_seuil_haut.

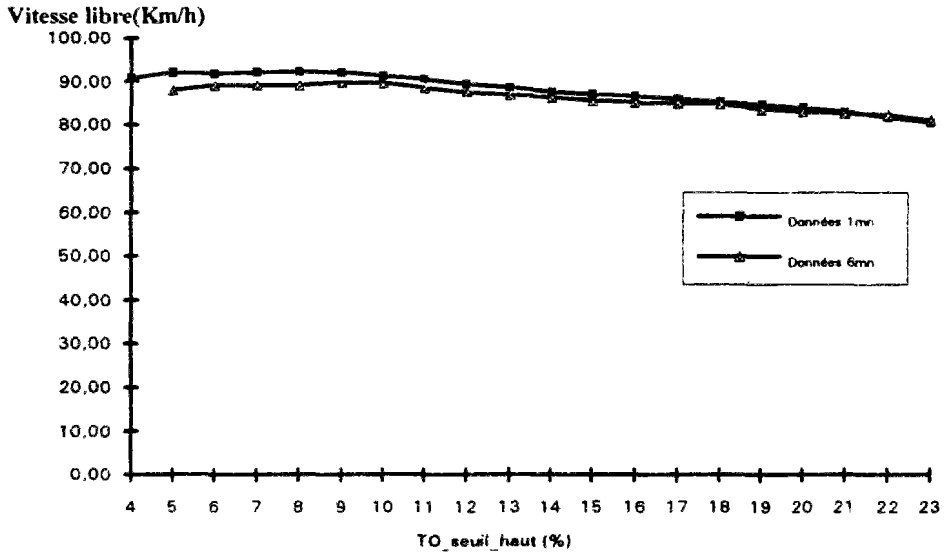


Fig.5.4. Courbes V_f - TO_seuil_haut de la station A13 W 28

L'analyse des courbes pour les trois stations (A13 W 28, 26 et 24) sur plusieurs journées avec des données agrégées en 1mn et 6mn, fait que :

- Pour 5% < TO_seuil_haut ≤ 9%, V_f est relativement stable.
- Quand TO_seuil_haut > 9%, la vitesse libre diminue progressivement avec l'accroissement de TO_seuil_haut.
- Il existe une légère différence entre la valeur de V_f calculée avec des données 6mn et celle calculée avec des données 1mn pour un même TO_seuil_haut. La courbe de V_f obtenue avec des données 1mn est de façon tout à fait normale au-dessus de celle obtenue avec des données 6mn.

Cette différence est liée principalement à l'agrégation des données Il est possible qu'une donnée 6mn soit inférieure à TO_seuil_haut alors qu'une ou plusieurs données 1mn soient supérieures à ce seuil. Cela conduit à une vitesse libre calculée plus faible à partir des données 6mn.

2). Calibrage des paramètres du diagramme fondamental (loi de May)

Sur le tronçon d'autoroute pris en compte, en utilisant le programme de calcul des paramètres et avec les données 1mn de 6 jours du mois janvier 1993, les paramètres du diagramme fondamental de chaque station et pour chaque jour ont été calibrés. Les résultats du calibrage sont présentés dans le tableau ci-contre (tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Détermination des paramètres

(Avec données 1mn et longueur électrique : L+l= 6 m)

Station A13 W 28	Vitesse libre(V_f) (km/h)	Concentration critique(C_{cr})(véh/km/voie)	Capacité (Véh/h/voie)	a
06/01/1993	96,63	33,80	1820	1.71
07/01/1993	107,34	31,31	1998	1.92
08/01/1993	110,94	31,00	2002	1.85
12/01/1993	109,34	31,09	1985	1.86
13/01/1993	101,84	33,18	2013	1.93
24/06/1992	97,69	34,97	2272	2.45
Moyenne	**103.96**	**32,56**	**2015**	**1.93**[1]

Station A13 W 26	Vitesse libre(V_f) (Km/h)	Concentration critique(C_{cr})(véh/km/voie)	Capacité (Véh/h/voie)	a
06/01/1993	102.24	31,79	1815	1.72
07/01/1993	107.02	28,86	1950	2.17
08/01/1993	113.4	28,62	1951	1.97
12/01/1993	109.57	29,39	1972	2.04
13/01/1993	100.07	31,94	1928	1.98
24/06/1992	98.6	33,14	2217	2.58
Moyenne	**105.15**	**30,62**	**1972**	**2.04**[1]

Station A13 W 24	Vitesse libre(V_f) (km/h)	Concentration critique(C_{cr})(véh/km/voie)	Capacité (Véh/h/voie)	a
06/01/1993	100	34,97	1776	1.48
07/01/1993	105.52	31,84	1926	1.8
08/01/1993	111.05	31,07	1925	1.71
12/01/1993	104.54	28,23	1963	2.45
13/01/1993	111.01	33,06	1873	1.49
24/06/1992	99.31	32,96	2150	2.38
Moyenne	**105.24**	**32,02**	**1935**	**1.8**[1]

[1]Valeur calculée selon la formule: $a = \dfrac{-1}{\ln \dfrac{C_{ap}}{V_f \cdot C_{cr}}}$ avec la vitesse libre moyenne, la concentration critique moyenne et la capacité moyenne.

L'analyse des résultats révèle les points suivants:

- La vitesse libre moyenne pour ces 6 jours est presque identique d'une station à l'autre (103.96 pour station A13 W 28, 105.15 pour la station A13 W26 et 105.24 pour la station A13 W24).
- La concentration critique moyenne est assez proche d'une station à l'autre (32.56 pour la station A13 W28, 30.62 pour la station A13 W26 et 32.02 pour station A13 W24).
- La capacité moyenne s'approche de 2000 véh/voie/h pour les trois stations étudiées.

Nous disposons de paramètres utilisables. Nous allons les vérifier par la reconstitution du diagramme fondamental.

3). Reconstitution du diagramme fondamental

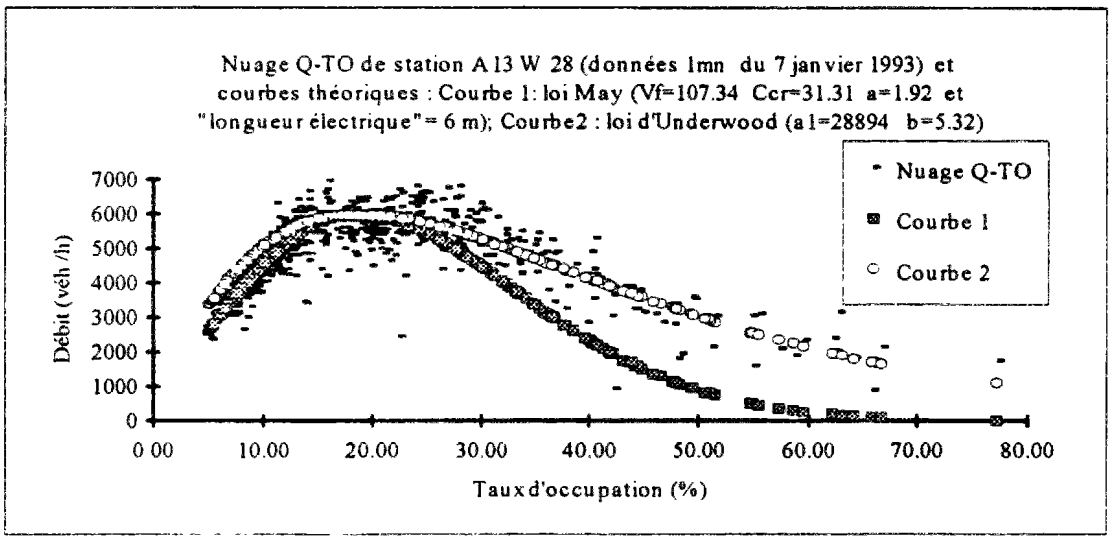
- **Avec les données 1mn**

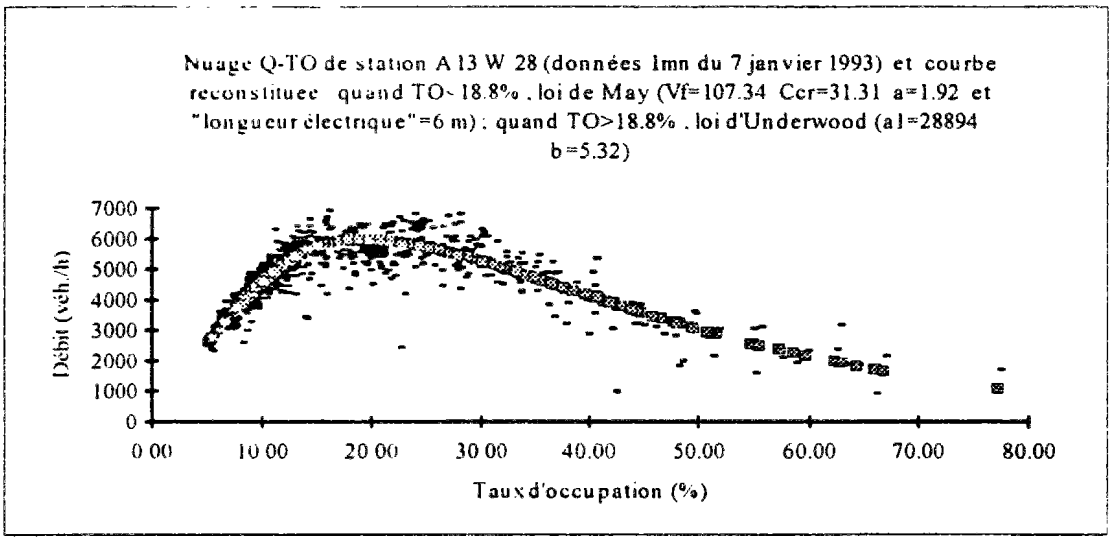
Il s'agit de tracer les courbes théoriques du diagramme fondamental sur le nuage de points Q-TO afin de vérifier les parametres calibrés. En plus, cette façon de procéder permet de trouver la(es) loi(s) du diagramme fondamental adaptée(s).

Dans un premier temps, sur le tronçon d'autoroute étudié, des courbes et des nuages de points Q-TO ont ete tracés pour chaque station et pour chaque jour avec des données 1mn en utilisant les lois de May d'Underwood Un exemple de ces courbes est montré Fig.5.5 Force est de constater qu'aucune de ces deux lois ne couvre d'une façon satisfaisante l'ensemble des TO Mais chacune s'adapte à une partie de la plage de TO.

Ce qui est plus interessant c'est de découvrir que le champ d'application de ces deux lois est séparé, par le TO critique Quand TO(i) < TO critique, c'est la loi de May qui s'adapte bien aux nuages des points Q-TO Lorsque TO(i) ≥ TO critique, c'est la loi d'Underwood qui est bien positionnee aux milieux du nuage de points Q-TO.

C'est pourquoi nous avons combiné ces deux lois pour obtenir une courbe théorique unique sur le plan Q-TO convenant mieux aux données expérimentales. Le TO critique sert de point séparateur de l'application de ces deux lois.





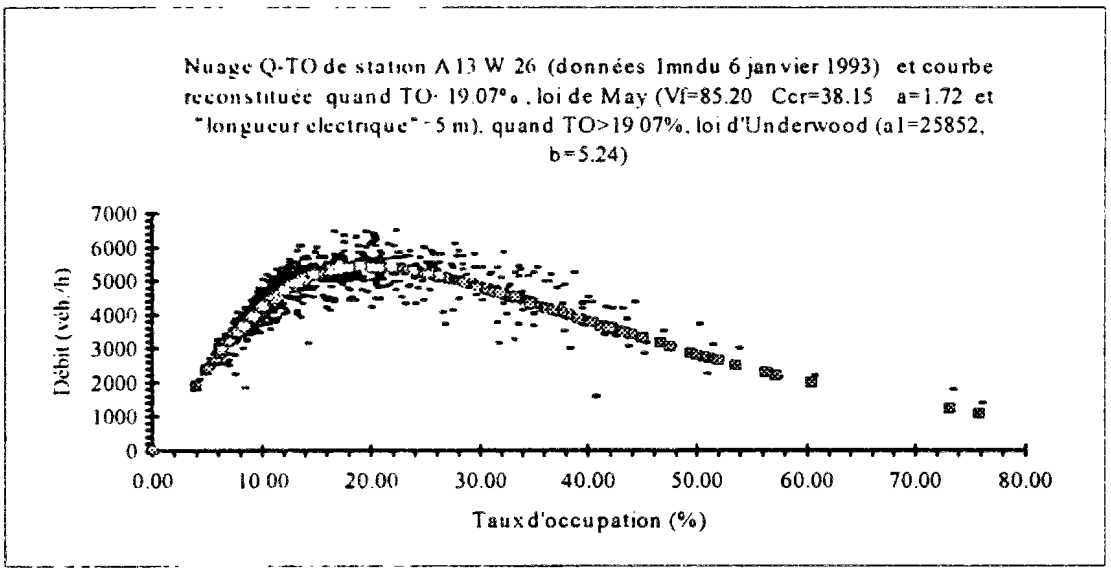


Fig.5.5 : Exemples de reconstitution du diagramme fondamental avec les données 1mn

En appliquant ce principe, on a tracé des courbes du diagramme fondamental pour chaque station et pour chaque jour. D'une façon générale, ces courbes correspondent bien aux nuages de points Q-TO. Deux exemples sont donnés Fig.5.5 (au centre et en bas).

- **Avec des données 6mn**

Pour chaque station, on a utilisé les données 6mn (de plusieurs journées afin d'avoir plus de points). En utilisant les paramètres moyens calibrés avec les données 1mn et en appliquant deux lois en même temps, les courbes Q-TO ont été tracées pour les trois stations. Elles sont illustrées Fig.5.6.

On constate que pour les trois stations étudiées, la courbe Q-TO reconstituée correspond bien à la distribution des points Q-TO. Le diagramme calibré avec des données 1mn représente donc convenablement les caractéristiques de l'écoulement du trafic sur chaque section On peut donc considérer que les données 1mn conviennent bien pour le calibrage des paramètres du diagramme fondamental.

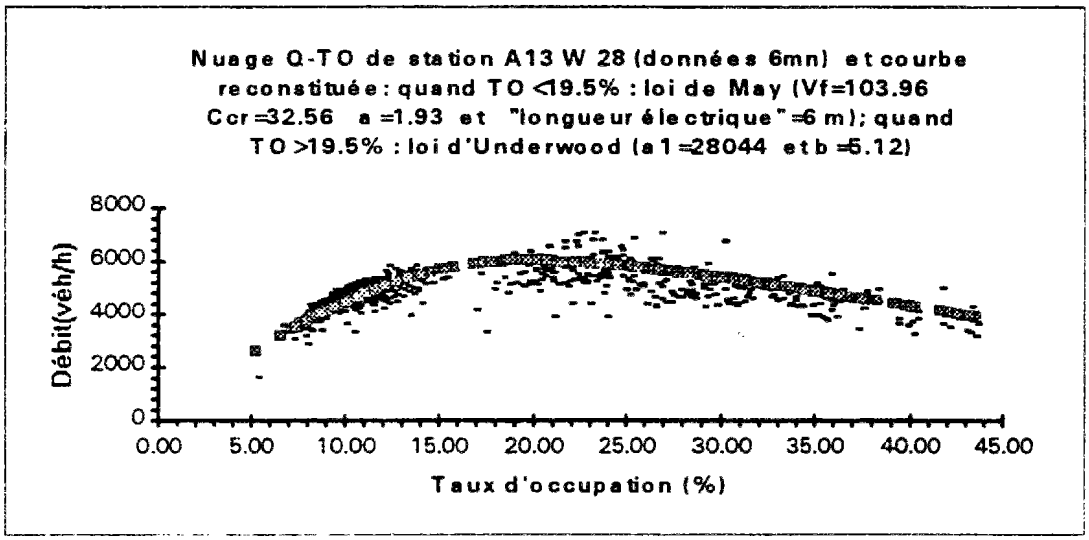
V.4. EVALUATION ET CONCLUSION

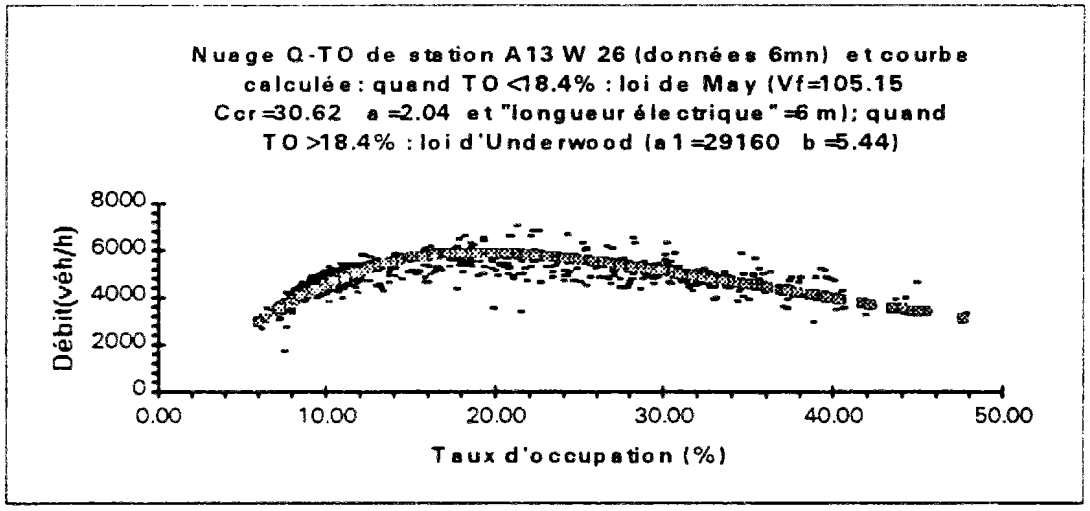
V.4.1. Evaluation

A: A propos de la méthode de calibrage

La méthode de détermination des paramètres du diagramme fondamental à partir des données mesurées, que nous avons proposée et présentée dans ce chapitre, constitue une approche simple, pratique et intéressante. Elle présente des avantages pratiques:

- elle donne directement les paramètres. De plus, le temps de calibrage sur ordinateur est sommaire par rapport à d'autres méthodes d'optimisation ou de régression non linéaire,
- elle donne généralement peu sensible aux durées d'agrégation des données. Toutefois, lorsque cette durée croît, la vitesse libre baisse légèrement,
- elle ne nécessite que quelques heures de données.





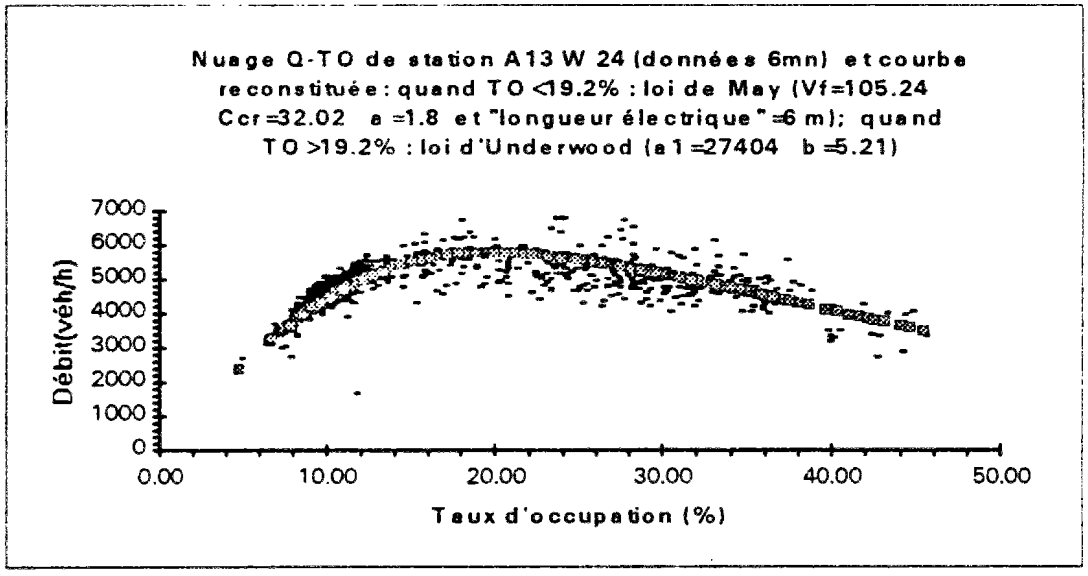


Fig.5.6 : Exemples de reconstitution du diagramme fondamental avec les données 6mn

La facilité de mise en oeuvre et la rapidité du calibrage ont une conséquence directe sur l'exploitation. En réalité, le diagramme fondamental est sensible à de nombreux facteurs comme la géométrie de la route, la nature et la composition du trafic, les conditions climatiques, les mesures d'exploitation. La remise à jour du diagramme est en fonction du changement de ces facteurs est indispensable. Or cette méthode offre la possibilité d'une remise à jour rapide des diagrammes fondamentaux.

Toutefois, cette méthode a des limites:

- elle est soumise aux contraintes de la demande. Lorsque celle-ci est insuffisante, les TO sont inférieurs au TO critique et il est impossible alors d'obtenir concentration critique et capacité,
- elle nécessite une large gamme de valeurs de TO. Autrement dit, elle a besoin de données couvrant des conditions de trafic fluide et saturé.

B: A propos des résultats

- **Les paramètres calibrés**

Les résultats du calibrage obtenus avec des données 1mn (cf. tableau 5.1.) montrent que les paramètres calculés sont raisonnables et corrects. Il ressort que les données 1mn se combinent bien avec l'approche que nous avons développée dans ce chapitre et sont bien adaptées au problème du calibrage des paramètres du diagramme fondamental. Sur le plan opérationnel, cette combinaison (données 1mn plus méthode de calibrage) ouvre des perspectives d'utilisation qui seront développées ultérieurement dans le cadre des apports et des enseignements en fin de cette deuxième partie. Parmi les applications envisageables, citons ici

- la connaissance systématique des caractéristiques de l'écoulement de trafic sur l'ensemble des voies rapides,
- l'utilisation en temps réel pour l'identification et le remplacement des données non fiables,
- la facilité d'utilisation des modèles de trafic comme META.

- **Les courbes reconstituées du diagramme fondamental**

La confrontation des courbes reconstituées avec les nuages de points Q-TO constitue un bon moyen de vérification des paramètres calibrés. Les données dynamiques mesurées présentent toujours une assez forte dispersion, comme l'illustre Fig.5.5 et Fig.5.6. Le calibrage donne alors une image simplifiée de la réalité tout en correspondant

"bien" aux données expérimentales. L'originalité de la méthode est l'utilisation des deux lois en fonction de la valeur du TO (inférieur ou supérieur au TO_{cr}). Les courbes illustrées par les Fig.5.5 et Fig.5.6 montrent clairement la cohérence des courbes reconstituées avec les nuages de points Q-TO. La crédibilité de la méthode est ainsi éprouvée.

V.4.2. Conclusion

L'enjeu de cette méthode de calibrage consiste à offrir un outil efficace et pratique pour l'exploitation et la gestion du trafic sur RVR. L'ensemble des applications décrites ci-dessus permet de conclure que :

- Cette méthode calibre convenablement les paramètres du diagramme fondamental.
- La combinaison des deux lois fondamentales est bien adaptée à la reconstitution du diagramme fondamental sur le RVR d'Ile-de-France.
- L'outil est opérationnel, et permet le temps réel (et différé).

Les enseignements suivants ressortent de ce chapitre.

- L'exploitant dispose désormais d'un outil pratique qui permet d'obtenir facilement sur micro-ordinateur les paramètres du diagramme fondamental pour chaque section des voies rapides à partir des données mesurées. Cet outil est utile en toutes circonstances où le diagramme fondamental s'avère nécessaire.

- Cet outil permet la vérification des données en temps réel par un test de cohérence des relations du diagramme fondamental discuté au chapitre précédent.

- Cet outil facilite l'application des modèles de simulation tel META (pour lesquels le diagramme fondamental est nécessaire), les études de contrôle d'accès et sur les conséquences des incidents, etc

- Sur le plan opérationnel, le calibrage des paramètres du diagramme fondamental doit s'appuyer sur des données fiables. Compte tenu de la difficulté de disposer des données, les donnees ne peuvent pas être utilisées telles qu'elles sont à l'issu du RAD. D'où la nécessité de mener des actions pour la maîtrise du RAD afin de rendre des données utilisables par les systèmes d'information. Il s'agit de vérifier systématiquement et régulièrement (chaque semaine par exemple) des données et de renforcer la maintenance des dispositifs de RAD.

- L'exploitation des RVR a besoin de disposer de différentes catégories de données agrégées pour les applications différentes. Les données 20s sont utilisées principalement pour la DAI et la DAB; les données 1mn sont nécessaires pour le calibrage des paramètres du diagramme fondamental; les données 6mn sont utilisées pour les traitements statistiques

Chapitre VI :

BOUCHONS ET DETECTION AUTOMATIQUE DES BOUCHONS (DAB)

VI.1. CONSIDERATIONS GENERALES

VI.1.1. Bouchon

A : Notions de bouchon

Le phénomène de bouchon est un phénomène complexe et courant sur les RVR. Pourtant, les automobilistes, les ingénieurs du trafic et les exploitants ne possèdent pas la même interprétation du bouchon. Le vocabulaire est d'ailleurs assez développé (bouchon, saturation, ralentissement, congestion, etc.).

Pour les usagers, la notion de bouchon est plutôt qualitative et complexe. Interviennent la vitesse, la distance entre les véhicules, l'arrêt momentané du véhicule, la durée du trajet total sur un parcours donné, etc. Elle est diversement interprétée d'un individu à l'autre (pour certains le bouchon est plus fort que la saturation; pour d'autres, c'est le contraire)

Les ingénieurs du trafic et les exploitants du réseau expriment la congestion à travers trois variables macroscopiques (débit, concentration et vitesse) et leurs relations. La vitesse moyenne du flot des véhicules est souvent utilisée comme un indicateur de l'écoulement du trafic. Quand un flot de véhicules avance avec une vitesse moyenne inférieur à un seuil[1] (30 km/h par exemple), on considère qu'il y a un bouchon.

Pour les ingénieurs du trafic, l'écoulement du trafic est classé en trois régimes (T1: fluide, T2: dense et T3: saturé) selon les valeurs de la vitesse. Le bouchon correspond au régime T3 (voir courbe débit - concentration ci-contre). L'exploitant distingue seulement

[1]Actuellement, il n'existe pas de normes de définition de ce seuil. Chaque exploitant utilise un seuil sur son réseau en fonction des objectifs assignés à son système d'exploitation. Nous pensons qu'un jour le seuil de bouchon devra faire l'objet d'une normalisation pour les voies rapides.

deux situations de trafic (fluide ou saturée) pour la détection des bouchons. Une situation de trafic est considérée saturée dès que la concentration est supérieure à la concentration critique (C_{cr}).

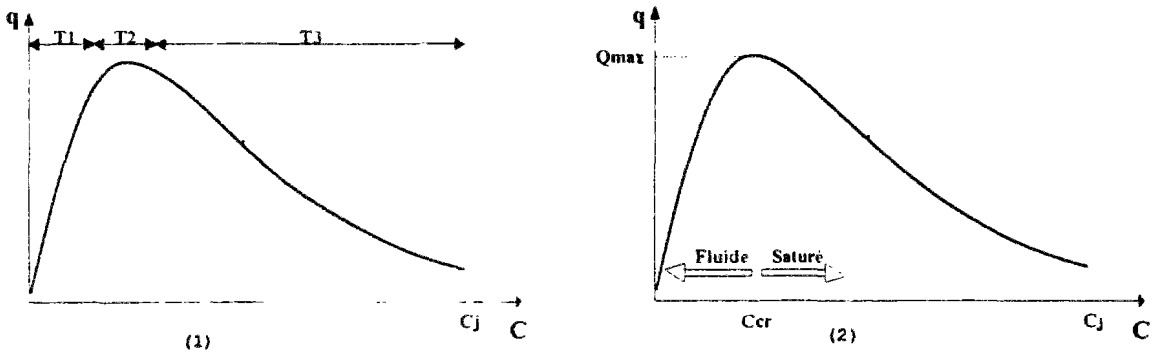


Fig. 6.1 : Classification du trafic pour l'ingénieur du trafic (1) et pour l'exploitant (2)

Théoriquement, la congestion est considérée [MERLIN et al., 1988] comme l'accumulation de véhicules sur un tronçon d'autoroute, dépassant la capacité de celui-ci, qui entraîne une très faible vitesse et une diminution du débit. Pour l'exploitant, la baisse du débit correspond à une diminution de l'efficacité du réseau. Pour l'automobiliste, la baisse de la vitesse apparaît comme une détérioration du service.

B : Causes des bouchons

En général, le bouchon se crée quand il y a déséquilibre entre l'offre et la demande. Ce qui correspond soit à un excès de demande, soit à une diminution de capacité. Le bouchon se développe en amont de la cause de l'encombrement, à l'endroit où il y a déséquilibre (offre < demande) En aval de cette cause, le trafic est dense, mais fluide. Trois causes principales sont responsables des congestions sur les RVR:

1). Bretelles et sections d'entrecroisement perturbant la circulation;
2). Incidents qui diminuent l'offre,
3). Goulots et mauvaises conditions météorologiques qui influencent l'offre.

C : Caractéristiques des bouchons

Le bouchon est un phénomène dynamique qui évolue constamment dans l'espace et dans le temps. Un bouchon est caractérisé par sa longueur spatiale et temporelle. En général, on distingue deux types de bouchons: récurrents et non récurrents. Les bouchons récurrents se caractérisent par leur apparition régulière dans l'espace et dans le

temps. En général, ils sont étroitement liés au manque de capacité du réseau par rapport à la demande aux heures de pointes. Les bouchons non récurrents ont pour origine des événements particuliers: accidents, travaux, véhicules en panne, etc. Ils ont un caractère aléatoire.

VI.1.2. La Détection Automatique des Bouchons (DAB)

Etant donnée l'ampleur des bouchons et leurs caractères aléatoires et évolutifs, la lutte contre la congestion est devenue, depuis longtemps, une des tâches principales de l'exploitation des RVR. Dans la lutte contre la congestion, avant tout, il faut pouvoir localiser spatialement et temporairement les bouchons. La DAB a pour but de permettre la détection des bouchons, le suivi de leur évolution jusqu'à leur disparition, et ceci d'une manière automatique, à l'aide des mesures de trafic en temps réel.

La DAB aide l'exploitant à faire le point sur l'état de la circulation afin de prendre les mesures nécessaires de régulation et d'information. La DAB est à la base de la plupart des systèmes d'information et de régulation du trafic.

Chaque opérateur au SIER, gère actuellement plus de soixante PMV. A l'heure de pointe, il ne peut commander tous ces panneaux manuellement. Aussi un système expert l'aide à les gérer. L'état de la congestion sur une voie rapide évolue rapidement, une réactualisation fréquente de l'information est nécessaire. Mais si la DAB est fiable, ses résultats peuvent activer automatiquement les PMV. De même, elle peut améliorer les informations par radios. Les systèmes embarqués en cours de développement auront fort besoin d'informations fines et fiables sur les bouchons en temps réel. Mais seule l'automatisation de la détection peut permettre de fournir ces informations.

VI.2. CRITERES DE FONCTIONNEMENT D'UN ALGORITHME DE DAB

VI.2.1. Taux de détection et nombre d'alarmes

Le taux de détection est le ratio du nombre de bouchons détectés par la DAB par rapport au nombre total de bouchons ayant existé sur le réseau sur la période considérée. En principe, un bon fonctionnement de DAB doit avoir un maximum de taux de détection. Mais souvent un taux de détection élevé s'accompagne d'un nombre important de fausses alarmes.

Une alarme est une détection de bouchon. Les alarmes incluent les détections erronées. Lorsqu'une alarme est déclenchée, l'opérateur doit intervenir pour valider ou invalider cette alarme après vérification par les moyens dont il dispose (caméra-vidéos, etc.). D'un point de vue opérationnel, le nombre d'alarmes doit rester à un niveau raisonnable.

VI.2.2. Fausse alarme et taux de fausses alarmes

Théoriquement, une fausse alarme de la DAB est une alarme déclenchée par le système à partir d'un état de trafic fluide. En exploitation, une fausse alarme est une alarme non justifiée par l'opérateur.

Le taux de fausses alarmes est le pourcentage de fausses alarmes par rapport au nombre total d'alarmes sur une période donnée. C'est un critère essentiel de performance de la DAB. Une bonne DAB doit présenter un taux de fausses alarmes raisonnable tout en ayant un taux de détection élevé.

VI.2.3. Retard de détection

La DAB doit pouvoir détecter rapidement l'apparition et la disparition des bouchons. Par souci de sécurité, la détection des bouchons est nécessaire avec le moins de retard possible. Par contre, un retard à la détection du retour à la fluidité est parfois admissible.

VI.2.4. "Trous" dans les bouchons

Pour trois stations successives de mesure du trafic, si la station du milieu est "fluide" et celles en amont et aval sont "en bouchon", on considère qu'il y a trou dans le bouchon. Le schéma simplifié ci-dessous nous permet de mieux comprendre la notion de "trous" dans les bouchons.

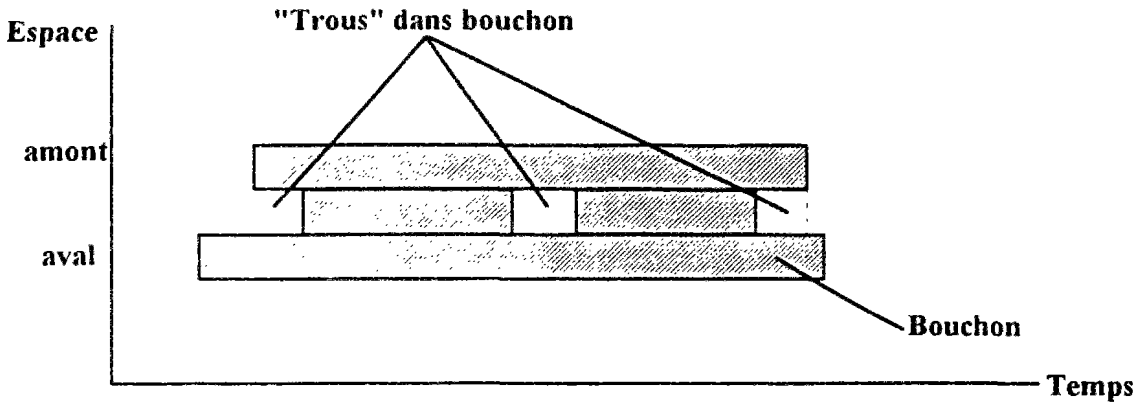


Fig. 6.2 : Schéma de définition de "trou" dans bouchon

Les trous de bouchon sont gênants pour l'affichage des messages concernant les bouchons par PMV. Comme indiqués sur le schéma ci-dessus, les trous coupent le bouchon dans l'espace et il devient délicat d'afficher clairement cette situation. Supposons qu'un PMV soit placé en amont de ce tronçon, il peut ne donner que la longueur du premier bouchon. L'automobiliste passant devant ce PMV et apercevant le message peut accélérer apres le premier bouchon et arriver sur le deuxième bouchon avec une vitesse trop élevée. Ce comportement augmente le risque d'accident de queue de bouchon. Il faut donc "boucher" les trous dans les bouchons, seule la longueur totale du bouchon ayant un sens en terme de sécurité.

En conclusion, le fonctionnement optimal de la DAB se caractérise par :

- ***un taux de détection maximum,***
- ***un taux de fausses alarmes minimum,***
- ***un retard minimum à la détection des débuts de bouchons,***
- ***un retard limité à la détection des fins de bouchons,***
- ***un nombre minimum de trous dans les bouchons.***

VI.3. PRINCIPE DE LA DAB

VI.3.1. La composition de la DAB

Elle se compose de deux couches principales:

- une couche de détermination de l'état du trafic (fluide ou bouchon) au niveau de chaque point de mesure;
- et une couche de lissage spatial.

La première couche se fonde sur un algorithme automatique (algorithme de la DAB à proprement parler) qui s'appuie sur le recueil automatique de données de trafic en temps réel.

A chaque pas de temps, l'algorithme est chargé de déterminer l'état du trafic (fluide ou saturé) correspondant à chaque point de mesure soit voie par voie soit station par station. A la fin de chaque pas de temps, une étape de lissage spatial succède à cette première étape.

VI.3.2. Principe de l'algorithme de la DAB

Le principe de l'algorithme de la DAB est une loi simplifiée d'écoulement du trafic : le diagramme fondamental tel qu'illustré Fig 6.1(2). Théoriquement, les points se situant à gauche de la concentration critique (C_{cr}) représentent un état fluide du trafic; ceux se trouvant à droite representent un etat saturé. Dans sa forme la plus simple, l'algorithme consiste à comparer la valeur d'une fonction des mesures à un seuil préalablement fixé.

En pratique, un algorithme de DAB doit fonctionner avec deux seuils. En effet, le caractère aléatoire du trafic fait que la circulation est instable autour de la concentration critique. L'utilisation d'un seul seuil s'accompagne de changements fréquents d'état du trafic. L'utilisation de deux seuils permet d'éviter de trop nombreux changements.

La détermination de ces deux seuils fait souvent référence aux seuils de vitesse séparant les régimes T1, T2, T3 utilisés par les ingénieurs du trafic pour la représentation visuelle de la congestion. Nous avons retenu les valeurs correspondant à l'expérience habituelle des observateurs, soient

Seuil T1/T2 = 60 km/h (seuil de disparition de bouchon);
Seuil T2/T3 = 30 km/h (seuil de formation de bouchon).

Ainsi, l'algorithme de detection repere trois zones par l'intermédiaire de deux droites dans le plan (V, TO). Cette repartition s'interprète naturellement à partir du diagramme fondamental (V, TO) conformement à la figure ci-dessous.

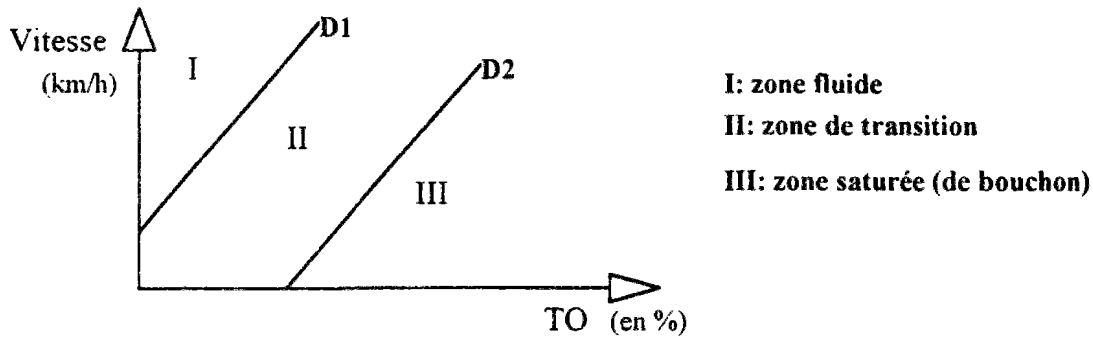


Fig.6.3 : Découpage des états du trafic en 3 zones sur le plan Vitesse - Taux d'occupation pour le déroulement d'un algorithme de DAB

- Si le point de coordonnée (V, TO) se trouve en zone I, le trafic est fluide.
- Si le point est en zone III, le trafic est déclaré en bouchon.
- Si le point est en zone II (zone de transition), le trafic est déclaré identique à l'état dans lequel il se trouvait au pas précédent. Initialement, toutes les stations sont à l'état fluide

Remarque:

L'intérêt d'introduire une zone de transition se traduit par l'obtention de régimes relativement stables du trafic. La zone de transition permet d'éviter des fausses alarmes.

En pratique, un lissage sur l'ensemble d'un axe équipé de stations de mesure, une temporisation des variations d'état et un ajustement des paramètres des droites D1 et D2 sont nécessaires pour parvenir à une bonne concordance avec la perception visuelle des observateurs des changements d'état du trafic sur les voies rapides.

VI.3.3. Principe de déclenchement d'une alarme de bouchon

Pour une station de mesure donnée, à l'instant t, lorsque l'algorithme de DAB détecte le passage du trafic d'un état fluide à un état saturé, une alarme de bouchon est déclenchée si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

1). A l'instant t-1, les stations situées (en amont ou en aval) à une distance inférieure à "D" de la station considérée étaient en état fluide.

2). A l'instant t, les stations en aval de cette station, et situées à une distance inférieure à "D" de cette station sont en état fluide.

La distance D doit être fixée en fonction de la densité des stations de mesure et selon la position physique de chaque station sur le réseau. Le paramètre D est déterminé empiriquement. Pour notre étude, la valeur de D a été fixée à 2 km.

Le schéma de la Fig.6.4 montre le principe de déclenchement des alarmes de bouchon.

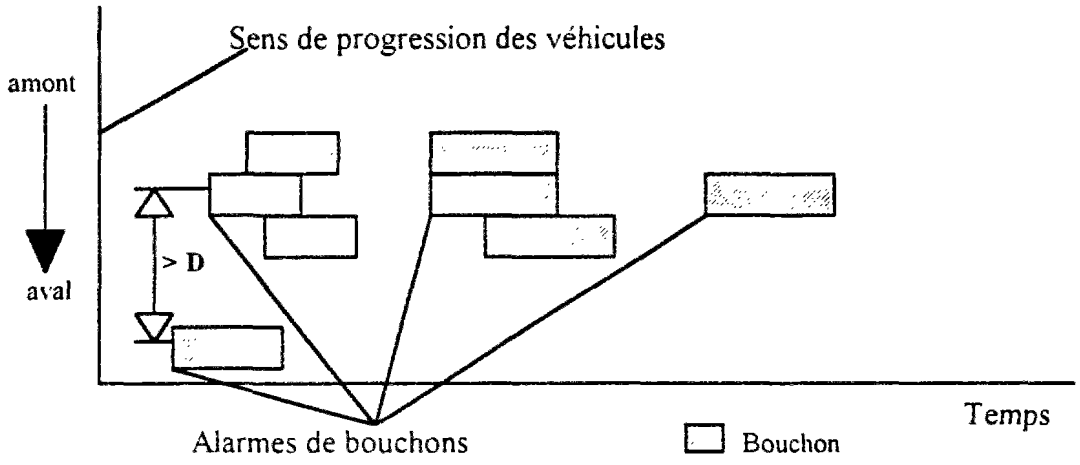


Fig. 6.4. Illustration schématique du déclenchement des alarmes de bouchons

VI.4. CONSTRUCTION D'UNE DAB

VI.4.1. DAB voie par voie

La DAB station par station détecte des *comportements moyens* de l'écoulement du trafic sur plusieurs voies. L'observation de la circulation montre que les différentes voies n'arrivent pas toujours en même temps en congestion. Par effet de moyennement, la DAB station par station détecte les débuts de bouchons avec des retards. De même, elle risque de signaler la fin du bouchon avant sa disparition totale sur chaque voie.

Pour détecter des bouchons avec le moins de retard et surtout pour détecter tous les bouchons, en particulier les bouchons sur une seule voie, il est indispensable de faire fonctionner les algorithmes voie par voie. C'est la raison pour laquelle on s'oriente vers une approche de DAB voie par voie.

A chaque pas de temps (par exemple: 20 secondes), on détermine l'état du trafic de chaque station à partir des états du trafic des voies composantes. L'état du trafic de chaque voie à un moment donné est déterminé à l'aide d'un algorithme de détection.

Choix du type de données à utiliser :

L'algorithme de DAB est activé à chaque pas de temps (20s pour le système SIRIUS). Mais les données utilisées peuvent être agrégées sur des périodes plus ou moins longues. Par exemple les données 20s peuvent être agrégées en données 1 minute, 2 minutes... ou en donnees 1 minute glissant 20s, 2 minutes glissant 20s (cf. IV.1.4.)...

L'agrégation a pour effet de moyenner les données dans le temps. Par conséquent, elle diminue le nombre de fausses alarmes[2]. Mais tout est affaire de compromis et cette performance s'obtient au détriment de la rapidité de détection.

Nous avons choisi d'utiliser des données 20s pour privilégier la rapidité de détection. La performance de la DAB avec ce type de données en matière de taux de fausses alarmes s'obtient par l'introduction d'autres règles[3] présentées dans les paragraphes suivants.

VI.4.2. Règle de détermination de l'état du trafic d'une voie

L'algorithme de détection est fondé sur la détection automatique des débuts et des fins de bouchons. Nous avons introduit une confirmation de début et de fin de bouchon pour éviter les fausses alarmes dues aux bruits des données.

Le nombre de périodes (de mesure) de confirmation de début de bouchons (S3) retarde la détection du bouchon. De ce fait, il doit être suffisamment petit. Le nombre de confirmations de fin de bouchons (S4) prolonge artificiellement la durée du bouchon. La détermination de S3 et S4 doit se faire empiriquement.

VI.4.3. Règle de détermination de l'état du trafic en une station

Une fois l'état du trafic déterminé sur chaque voie, l'état du trafic d'une station s'en déduit directement de la manière suivante : ***s'il y a au moins une voie qui est en état de bouchon, cette station est déclarée en bouchon; si toutes les voies sont en état fluide, cette station est en état fluide.***

---

[2]dues aux "bruits" dans les données.
[3]notamment une règle de confirmation d'apparition et de disparition des bouchons.

VI.4.4. Lissage spatial

Le lissage spatial a pour objectif essentiel de boucher les trous dans les bouchons. A l'issue des deux étapes ci-dessus, il reste à confronter l'état de trafic d'une station en fonction des états de trafic des stations voisines.

A un moment donné, suite aux deux étapes précédentes, si une station ou plusieurs stations successives sont en état fluide et se situent entre deux bouchons, et si la longueur de cette section fluide est inférieure à la distance D définie précédemment (cf. Fig.6.4), ces stations seront déclarées en bouchon. Le schéma ci-dessous (Fig.6.5) montre le principe du lissage spatial.

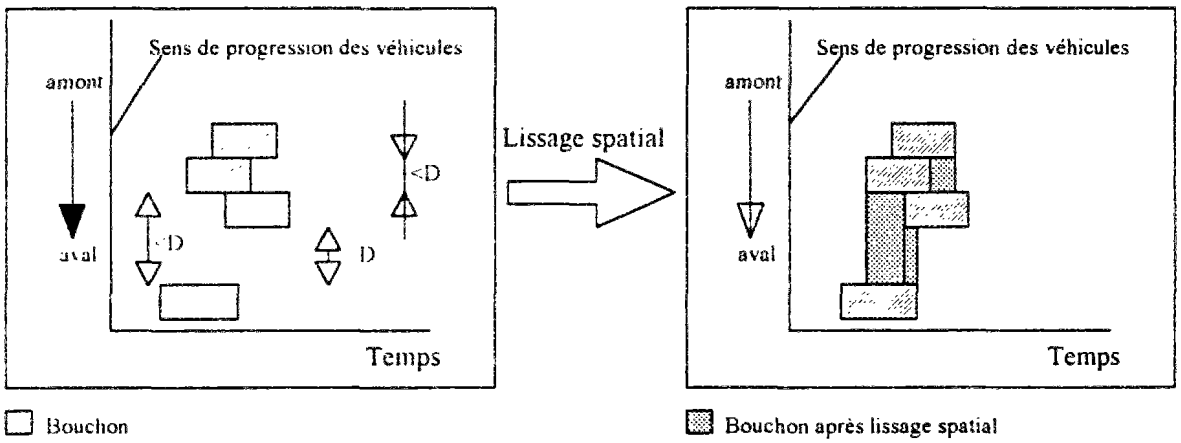


Fig.6.5 : Principe du lissage spatial

Remarque:

- Le lissage spatial est étroitement lié aux PMV. La distance D est comprise entre 1 et 2 km selon la géométrie du réseau et la densité du recueil de données.

- L'approche de la DAB décrite ci-dessus intègre plusieurs facteurs. Sa performance dépend de leur bonne combinaison. Dans les paragraphes suivants, nous étudierons l'influence des différents éléments et nous testerons différentes combinaisons afin d'identifier les meilleures, de déterminer le nombre de périodes de confirmations de début et de fin de bouchon et de mettre en évidence l'utilité du lissage spatial.

VI.5. APPLICATION AU RESEAU SIRIUS

Dans l'état actuel des choses, la DAB ne fonctionne pas encore d'une manière satisfaisante sur l'ensemble du RVR d'Ile-de-France. Les causes en sont principalement la fiabilité insuffisante des données et le nombre important de fausses alarmes. Mais le développement du système SIRIUS et notamment l'amélioration des données permettront une meilleure application de la DAB.

VI.5.1. Site et données

A : Choix du site

Avec l'aide de l'exploitant, on a pu déterminer un site à l'Est de Paris. Ce site de test de la DAB est un tronçon de l'autoroute A4 sens W (Province → Paris) d'une longueur de 7 km. La Fig 6.6 montre la configuration de ce tronçon d'autoroute avec les positionnements des stations de mesure.

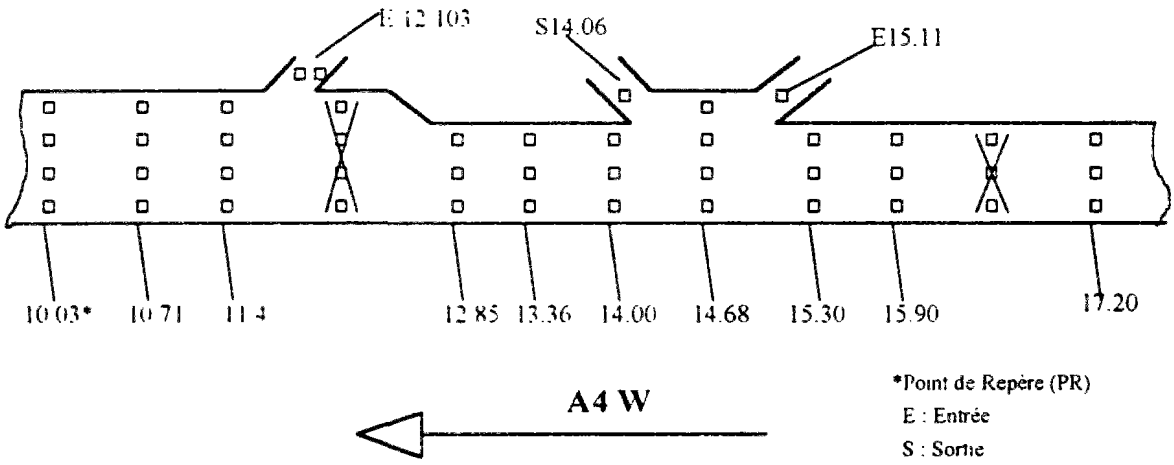


Fig.6.6 : Configuration du tronçon d'autoroute pour l'étude de la DAB

Sur ce tronçon d'autoroute il y a chaque matin de jour ouvrable des bouchons importants Ceci nous permet de tester le système de DAB exposé ci-dessus avec des données réelles

La vérification par POCHES de données 20s station enregistrées sur ce tronçon d'autoroute a permis de sélectionner 10 stations entre le point de repère (P.R.) 10.00 et le P.R. 17.50 qui possèdent un recueil de données relativement fiable.

B : Extraction des données

Les informations nécessaires à la DAB (fichiers de données 20s, de format spécifique au système SIRIUS) sont enregistrées pendant une trentaine de jours. Nous avons appliqué le programme de vérification de données par POCHES pour vérifier les stations. Nous avons retenu dix jours de données pour lesquels on dispose des données 20s, voie par voie, pendant les heures de pointe du matin (de 6h à 12h) :

le 4 mai 1993,	le 8 juin 1993,
le 5 mai 1993,	le 9 juin 1993,
le 7 mai 1993,	le 23 juin 1993,
le 10 mai 1993,	le 24 juin 1993,
le 7 juin 1993.	le 25 juin 1993.

VI.5.2. Algorithmes à tester et outil de simulation de fonctionnement de la DAB

A : Algorithmes de détection à tester

- **Algorithme fondé sur la vitesse**

La variable du trafic utilisée est la vitesse moyenne des véhicules. L'étude de DAB réalisée au SIER [ERN, 1989] a montré que les seuils de vitesse (30 km/h et 60 km/h) pris habituellement sont adaptés aux variations locales du trafic. La vitesse est mesurée au niveau d'une station équipée d'une double boucle, ou évaluée par la relation : [$V=(L+l)\cdot Q/TO$] L'algorithme se fondant sur la vitesse est le suivant :

$f(V)=V$; $S1=60$ km/h et $S2=30$ km/h.

Si $f(V) \geq S1$, le trafic est fluide.

Si $f(V) < S2$, le trafic est en bouchon.

Si $f(V) \geq S2$ et $f(V) < S1$, on est dans une période transitoire. L'état de trafic dépend de celui au pas précédent

(S1 est le seuil de disparition de bouchon. S2 est le seuil de formation de bouchon.)

- **Algorithme fondé sur une combinaison de la vitesse et du taux d'occupation (TO)**

Mis en oeuvre sur le RVR d'Ile-de-France [ERN, 1989], l'algorithme se présente comme suit :

$f(TO,V)=V-\alpha TO$, et il fonctionne avec deux seuils S1 et S2.

Si $f(TO,V) \geq S1$, le trafic est fluide (dans la zone I Fig.6.3);

Si $f(TO,V) < S2$, le trafic est "en bouchon" (dans la zone III);

Si $f(TO,V) \geq S2$ et $f(TO,V) < S1$, on est dans une période transitoire (dans la zone II);

(Avec α, un paramètre. Les valeurs utilisées par défaut sont : $\alpha = 1/3$, S1=54 et S2 = 21.)

- **Algorithme fondé sur le TO**

L'avantage de l'algorithme de vitesse est que la détermination de l'état du trafic se fait sur la variable "physique" de la circulation. Mais, dans le cas où il y a peu de stations équipées de boucle double, la vitesse n'est qu'estimée, à partir du débit, du TO et de la longueur moyenne "électrique". Avec des périodes de 20s, il peut y avoir une grande différence la vitesse estimée et vitesse réelle. Le TO est plus robuste que le débit et la vitesse. L'idée consiste donc à utiliser uniquement le TO pour déterminer l'état du trafic afin d'éviter des changements brutaux des états du trafic dus à la vitesse estimée.

On a tracé le nuage de points de V-TO afin de pouvoir trouver les deux points de TO correspondant au seuil de vitesse 30 km/h et 60 km/h (voir Fig.6.7).

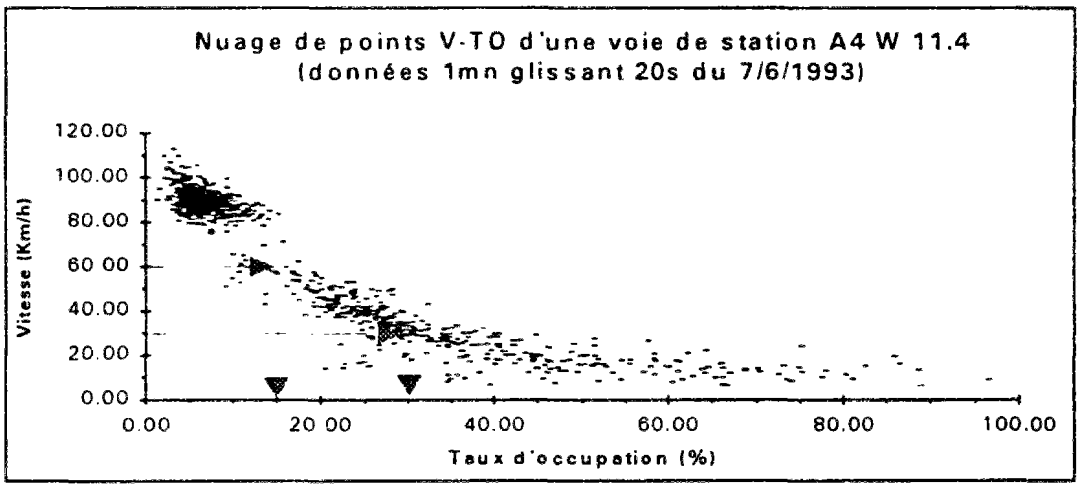


Fig.6.7 : Nuage V-TO d'une voie avec mise en évidence des points (15,60) et (30,30)

Les résultats montrent que le seuil de TO correspondant à la formation des bouchons est proche de 30% et le seuil de TO correspondant à la disparition des bouchons se situe à environ 15%. Pour être simple, on propose de tester cet algorithme de TO avec les seuils fixes et communs pour toutes les voies. Le troisième algorithme prend donc la forme suivante :

f(TO)=TO, S1=15% et S2=30%;
Si f(TO) ≤ S1, le trafic est fluide;
Si f(TO) > S2, le trafic est en bouchon;
Si f(TO) > S1 et f(TO) ≤ S2, on est en période transitoire.

B : Outil de simulation de fonctionnement de la DAB

Un programme informatique a été réalisé pour simuler le fonctionnement de la DAB en fonction de variation de certains paramètres. Le programme a pour objet de tester différentes combinaisons de l'algorithme de détection, S3 et S4 pour un même fichier de données. Le programme assure deux fonctions principales : il détermine les états de trafic (bouchon ou fluide) pour tracer les cartes de bouchon, et il calcule des indicateurs, tels le nombre d'alarmes et le nombre de fausses alarmes.

Le programme se compose de deux modules principaux: module de simulation et module de statistique et de calcul d'indicateurs de DAB. Le schéma simplifié du fonctionnement de ce programme est donné en annexe n° 10.

VI.5.3. Résultats des tests

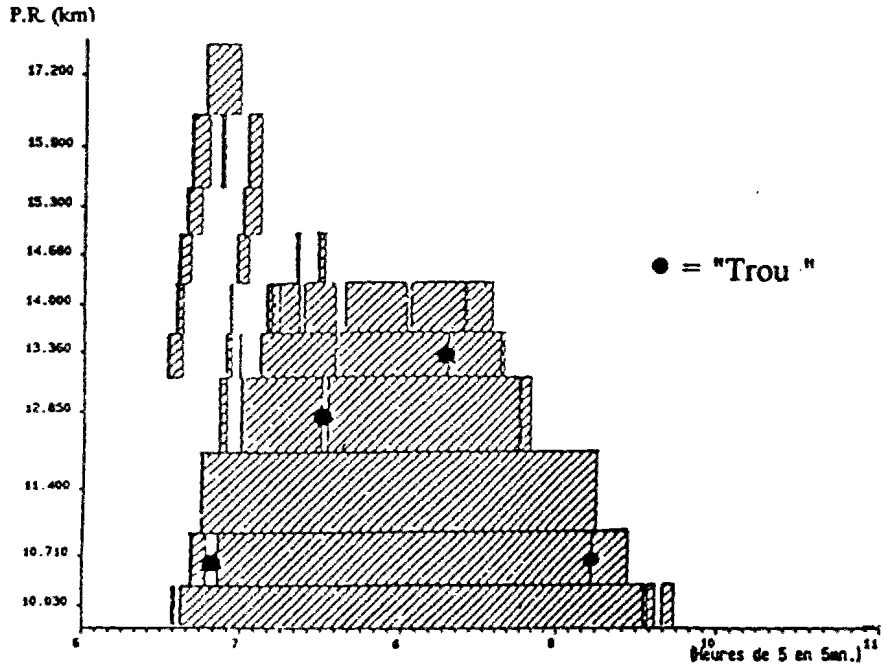
De nombreux tests ont été réalisés. Les résultats qualitatifs montrent les rôles de différents éléments tels le lissage spatial, la confirmation de l'apparition de bouchon (S3) et de la fin de bouchon (S4). Les résultats sont obtenus pour dix jours et permettent de trouver de(s) bonne(s) combinaison(s) entre les facteurs de la DAB.

A : Résultats qualitatifs

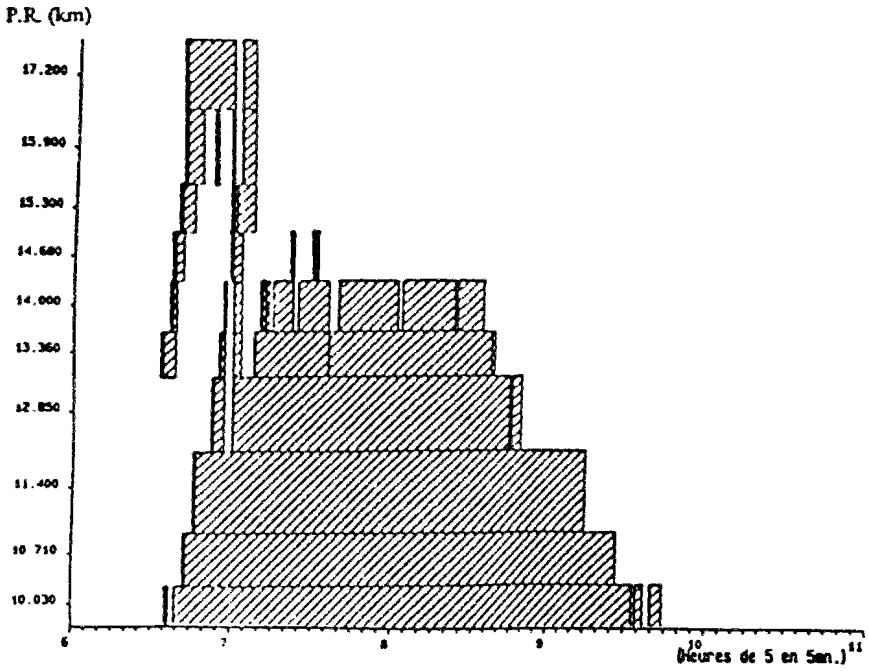
1. Rôle du lissage spatial

Pour un même fichier de données, un même algorithme, des seuils S3 et S4 identiques, la Fig.6.8 montre deux cartes de bouchons: sans lissage spatial et avec lissage spatial. On constate qu'il y a quatre trous dans le bouchon pour le résultat de la DAB

Algorithme de DAB f(TO) = TO (S1=15%, S2=30%, S3=0, S4=0)
Axe : A4 Sens : W
Données du 7 juin 1993 (6h-11h)



Sans lissage spatial



Avec lissage spatial

P.R. : Point de Repere

Fig.6.8 : Rôle de lissage spatial

sans lissage spatial. Après le lissage spatial, ces trous disparaissent sans altérer le reste. Les tests avec d'autres fichiers de données et les deux autres algorithmes présentent des résultats identiques.

On voit que le lissage spatial est efficace pour boucher les trous. Cette étape est indispensable pour un meilleur fonctionnement de la DAB voie par voie. Dans la suite des tests, l'étape du lissage spatial sera considérée comme partie intégrante du fonctionnement de la DAB.

Rappelons que le lissage relie des bouchons séparés dans l'espace et permet de mieux informer les usagers sur les conditions de trafic en annonçant au mieux la longueur total des bouchons. Ce principe de lissage spatial étant acquis pour la suite, les critères principaux de la DAB à prendre en compte restant sont donc le nombre d'alarmes, le nombre de fausses alarmes et le retard de détection.

2. Rôle de confirmation de l'apparition de bouchon (S3)

Il est intéressant d'évaluer le rôle de S3 dans la diminution du nombre de fausses alarmes liées au changement temporaire d'état de trafic dans les données. La Fig.6.9 montre le résultat de la DAB avec les données du 10 mai 1993 sous forme de cartes de bouchons pour chaque algorithme avec S3=0, S4=0 et S3=1, S4=0.

L'analyse de ces cartes d'affirmer que la valeur de S3 influence considérablement le résultat de la DAB pour les algorithmes f(V) et f(TO,V). Le nombre d'alarmes et le nombre de fausses alarmes diminuent avec l'accroissement de S3. Par contre, S3 influence les résultats de l'algorithme f(TO) d'une façon marginale par rapport aux deux autres algorithmes En regardant le résultat sur d'autres journées, on constate des phénomènes identiques.

Qualitativement, on voit bien que S3 aide à diminuer le nombre d'alarmes total et notamment le nombre de fausses alarmes. Pour étudier avec précision l'influence de S3 sur les résultats de la DAB, il faut étudier résultats quantitatifs.

3. Rôle de la combinaison de S3 et S4

La combinaison de S3 et S4 permet de limiter le nombre d'alarmes et le nombre de fausses alarmes. Il est difficile de distinguer avec précision la contribution de S3 et S4.

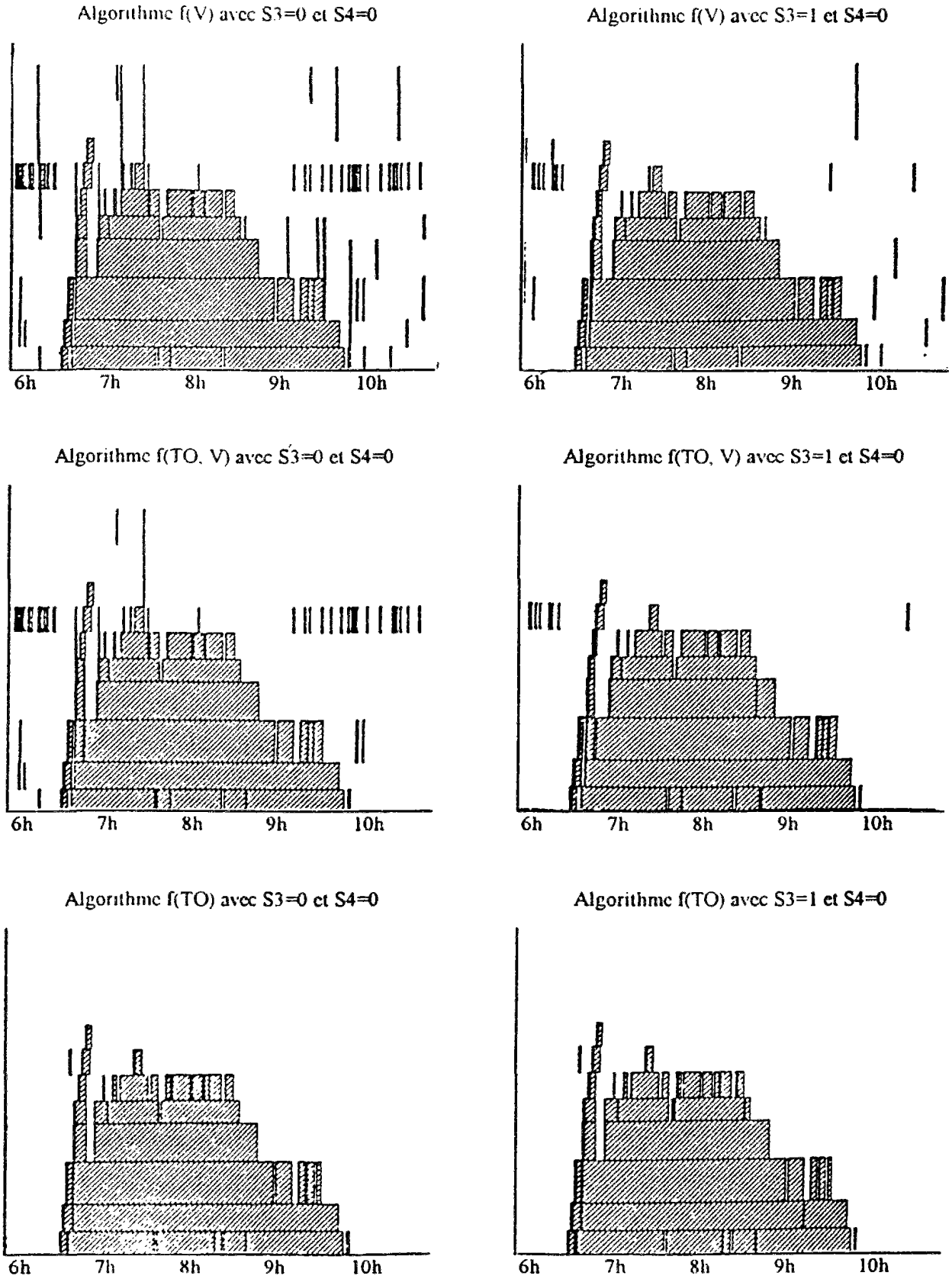


Fig.6.9 : Comparaison des résultats de la DAB pour S3=0 S4=0 et pour S3=1 S4=0 (sur le site A4 Sens W et avec données du 10 mai 1993)

La Fig.6.10 montre le résultat de la DAB pour S3=3 et S4=6, pour les trois algorithmes de base et avec le fichier de données du 10/5/93.

Constatations:

- Par rapport à S3=0, S4=0 et S3=1, S4=0 (Fig.6.9), le résultat de la DAB (avec S3=3 et S4=6) est nettement amélioré pour les trois algorithmes. Le nombre d'alarmes et le nombre de fausses alarmes diminuent avec l'accroissement de S3 et S4. Ce phénomène est plus évident pour les algorithmes f(V) et f(TO,V).

- De la comparaison de ces trois cartes de bouchon sur un même ficher de données, il ressort que, avec S3=3 et S4=6, la DAB avec f(TO) et f(TO,V) ne déclenche pas de fausses alarmes. Dans les mêmes conditions, l'algorithme f(V) donne encore deux fausses alarmes.

B : Résultats quantitatifs

1. Nombre de vraies alarmes sur l'ensemble des dix jours

Pour pouvoir evaluer quantitativement le fonctionnement de la DAB en matière de nombre d'alarmes et de nombre de fausses alarmes, il faut déterminer d'abord les vraies alarmes sur les périodes etudiees. Nous avons obtenu les vraies alarmes par référence aux bouchons enregistres par le systeme d'exploitation[4].

Ainsi, 14 vraies alarmes ont ete identifiées sur ce tronçon d'autoroute et sur les périodes étudiées. Tous les vraies bouchons ont été détectés. Pour plus de détail, consulter l'annexe n° 11 qui montre les cartes de bouchon pour les dix jours.

2. Nombre d'alarmes et nombre de fausses alarmes

Pour chaque jour et pour chaque algorithme, on fait varier S3 de 0 à 6 et S4 de 0 à 9. Le tableau 6.1 donne les resultats sur l'ensemble des dix jours pour le nombre d'alarmes, le nombre de fausses alarmes et le taux de fausses alarmes.

[4]A l'époque ou cette etude a ete realisée, le système informatique de SIRIUS n'était pas totalement au point en matière de DAB. C'est la raison pour laquelle, le calcul du nombre de vraies alarmes a été fait par référence aux bouchons signales par le système, mais il n'a pas été effectué uniquement sur ces informations.

DAB (Voie par voie avec S3=3, S4=6 et lissage spatial)
Axe : A4 Sens : W, Données du 10 mai 1993.

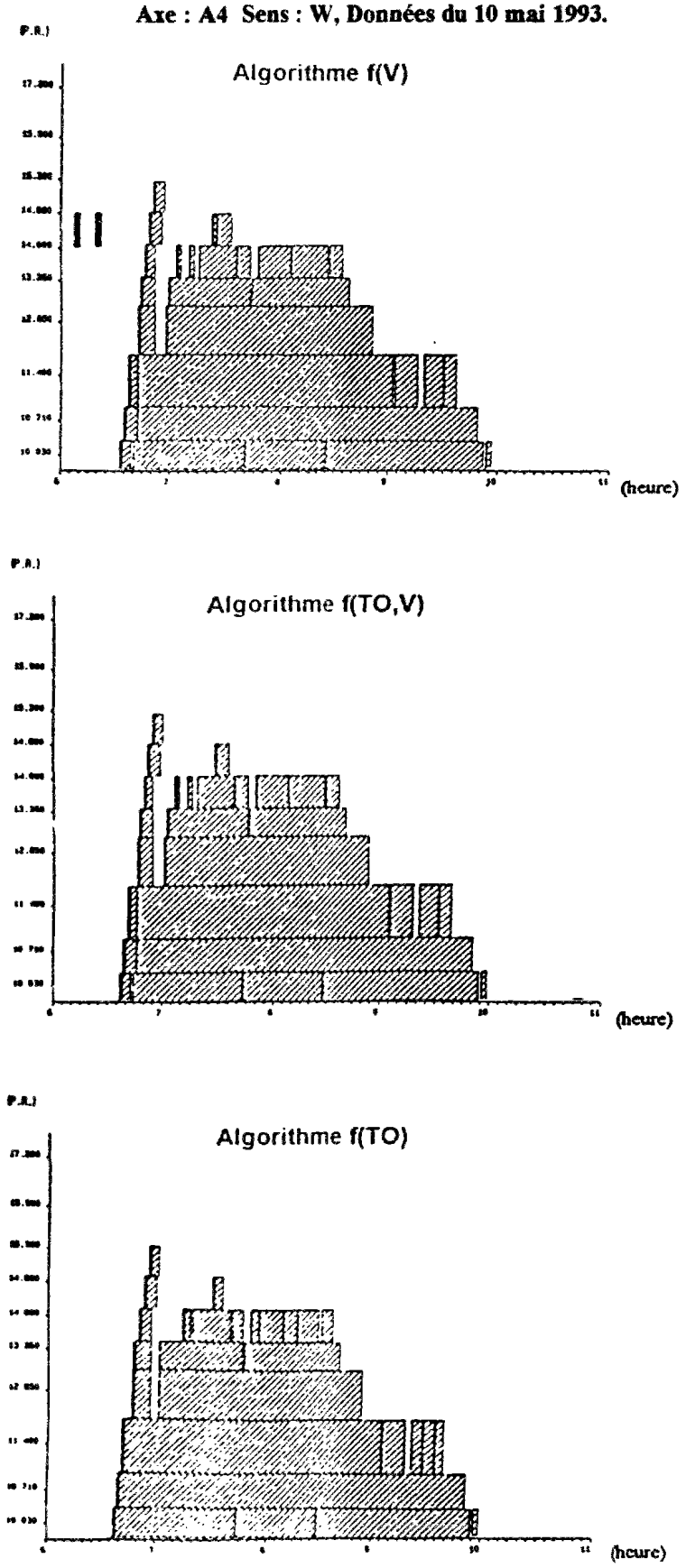


Fig.6.10 : Résultats de la DAB avec S3=3 et S4=6

Tableau 6.1 : Comparaison du nombre d'alarmes et du nombre de fausses alarmes

(DAB voie par voie pour l'ensemble de dix jours)

		Nb d'alarmes détectées			Nb de	Nb de fausses alarmes			Taux de fausses alarmes		
S3	S4	f(TO,V)	f(TO)	f(V)	vraies alarmes	f(TO,V)	f(TO)	f(V)	f(TO,V)	f(TO)	f(V)
0	0	463	29	608	14	449	15	594	97%	52%	98%
0	1	396	28	504	14	382	14	490	96%	50%	97%
0	2	343	27	441	14	329	13	427	96%	48%	97%
0	3	300	27	384	14	286	13	370	95%	48%	96%
0	4	275	27	357	14	261	13	343	95%	48%	96%
0	5	261	25	331	14	247	11	317	95%	44%	96%
0	6	244	24	306	14	230	10	292	94%	42%	95%
0	7	224	24	286	14	210	10	272	94%	42%	95%
0	8	212	24	255	14	198	10	241	93%	42%	95%
0	9	202	24	242	14	188	10	228	93%	42%	94%
1	0	192	34	277	14	178	20	263	93%	59%	95%
1	1	140	26	216	14	126	12	202	90%	46%	94%
1	2	135	26	206	14	121	12	192	90%	46%	93%
1	3	126	26	189	14	112	12	175	89%	46%	93%
1	4	115	25	175	14	101	11	161	88%	44%	92%
1	5	113	25	170	14	99	11	156	88%	44%	92%
1	6	111	24	165	14	97	10	151	87%	42%	92%
1	7	103	24	153	14	89	10	139	86%	42%	91%
1	8	95	23	145	14	81	9	131	85%	39%	90%
1	9	90	23	139	14	76	9	125	84%	39%	90%
2	0	111	36	146	14	97	22	132	87%	61%	90%
2	1	69	32	104	14	55	18	90	80%	56%	87%
2	2	57	22	94	14	43	8	80	75%	36%	85%
2	3	55	22	91	14	41	8	77	75%	36%	85%
2	4	51	22	86	14	37	8	72	73%	36%	84%
2	5	49	22	84	14	35	8	70	71%	36%	83%
2	6	48	22	83	14	34	8	69	71%	36%	83%
2	7	48	22	83	14	34	8	69	71%	36%	83%
2	8	46	21	80	14	32	7	66	70%	33%	83%
2	9	45	20	79	14	31	6	65	69%	30%	82%
3	0	83	32	98	14	69	18	84	83%	56%	86%
3	1	59	27	76	14	45	13	62	76%	48%	82%
3	2	42	24	59	14	28	10	45	67%	42%	76%
3	3	32	20	51	14	18	6	37	56%	30%	73%
3	4	30	20	48	14	16	6	34	53%	30%	71%
3	5	29	20	47	14	15	6	33	52%	30%	70%
3	6	27	20	45	14	13	6	31	48%	30%	69%
3	7	27	20	45	14	13	6	31	48%	30%	69%
3	8	27	20	45	14	13	6	31	48%	30%	69%
3	9	25	20	43	14	11	6	29	44%	30%	67%

Tableau 6.1 (suite)

		Nb d'alarmes			Nb de	Nb de fausses alarmes			Taux de fausses alarmes		
S3	S4	f(TO,V)	f(TO)	f(V)	vraies alarmes	f(TO,V)	f(TO)	f(V)	f(TO,V)	f(TO)	f(V)
4	0	63	30	66	14	49	16	52	78%	53%	79%
4	1	47	25	53	14	33	11	39	70%	44%	74%
4	2	42	23	49	14	28	9	35	67%	39%	71%
4	3	38	22	44	14	24	8	30	63%	36%	68%
4	4	26	21	33	14	12	7	19	46%	33%	58%
4	5	26	21	32	14	12	7	18	46%	33%	56%
4	6	24	20	30	14	10	6	16	42%	30%	53%
4	7	24	20	30	14	10	6	16	42%	30%	53%
4	8	24	20	30	14	10	6	16	42%	30%	53%
4	9	24	20	30	14	10	6	16	42%	30%	53%
5	0	61	39	66	14	47	25	52	77%	64%	79%
5	1	46	30	49	14	32	16	35	70%	53%	71%
5	2	39	23	44	14	25	9	30	64%	39%	68%
5	3	35	22	40	14	21	8	26	60%	36%	65%
5	4	23	21	27	14	9	7	13	39%	33%	48%
5	5	19	19	25	14	5	5	11	26%	26%	44%
5	6	18	19	23	14	4	5	9	22%	26%	39%
5	7	17	19	22	14	3	5	8	18%	26%	36%
5	8	17	19	22	14	3	5	8	18%	26%	36%
5	9	17	19	22	14	3	5	8	18%	26%	36%
6	0	49	33	50	14	35	19	36	71%	58%	72%
6	1	44	30	45	14	30	16	31	68%	53%	69%
6	2	43	22	44	14	29	8	30	67%	36%	68%
6	3	26	22	27	14	12	8	13	46%	36%	48%
6	4	22	20	24	14	8	6	10	36%	30%	42%
6	5	20	19	22	14	6	5	8	30%	26%	36%
6	6	19	19	21	14	5	5	7	26%	26%	33%
6	7	18	18	20	14	4	4	6	22%	22%	30%
6	8	17	18	19	14	3	4	5	18%	22%	26%
6	9	17	18	19	14	3	4	5	18%	22%	26%

Note: S3 est le nombre de confirmations au début des bouchons.
S4 est le nombre de confirmations à la fin des bouchons.

Analyse

- Pour les trois algorithmes de détection et pour un S4 donné, le nombre de fausses alarmes diminue avec l'accroissement de S3; pour les trois algorithmes et pour un S3 donné, le nombre de fausses alarmes diminue avec l'accroissement de S4.

- Quand S3 est inférieur ou égal à 4, l'algorithme f(TO) est nettement plus performant en présentant pour chaque scénario moins de fausses alarmes que les deux autres algorithmes. Quand S3 est égal à 5 ou 6, il y a moins de différences entre les trois algorithmes.

- Pour les algorithmes f(TO,V) et f(V), la variation du nombre de fausses alarmes est très importante selon les valeurs de S3 et S4.

3. Retard à la détection

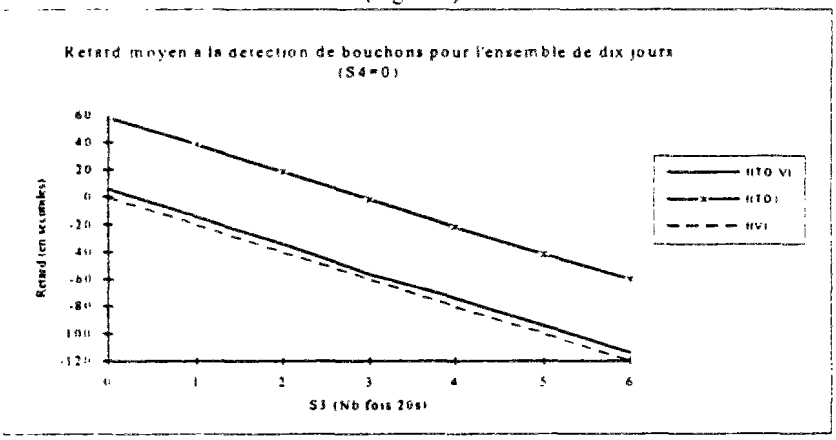
En prenant pour référence l'algorithme f(V) et S3=0 et S4=0, on détermine le retard à la détection des bouchons. Sur l'ensemble des dix jours, pour chaque algorithme et pour S3 variant de 0 à 6 fois 20s[5], les résultats sont montrés ci-dessous, tableau 6.2 et Fig.6.11.

Tableau 6.2 et Fig.6.11 : Retard moyen à la détection des bouchons sur l'ensemble des dix jours

(Tableau 6.2)

	Retard (en secondes)		
S3	f(TO,V)	f(TO)	f(V)
0	6	58	0
1	-14	38	-20
2	-34	18	-40
3	-56	-2	-60
4	-74	-22	-80
5	-94	-42	-100
6	-114	-60	-120

(Fig.6.11)



[5]Par définition, le facteur du nombre de périodes de confirmation de fin de bouchon (S4) n'intervient pas dans le calcul du retard à la détection des bouchons.

Analyse:

- Pour S3 variant de 0 à 6, les deux courbes correspondantes aux algorithmes f(TO,V) et f(V) sont plus proches. Pour ces deux algorithmes, de façon plus évidente on augmente le nombre de confirmations à l'apparition des bouchons, plus on retarde la détection des bouchons.

- Quand S3 est inférieur ou égal à 2, l'algorithme f(TO) détecte les bouchons avec de l'avance. Pour S3=3, le retard moyen avec cet algorithme sur l'ensemble des dix jours est de 2 secondes. En ce qui concerne l'algorithme f(TO), les valeurs S3=3 et S4=3 paraissent être un choix optimal au niveau du nombre d'alarmes et du retard à la détection.

4. Interrogation sur des seuils fixes utilisés dans l'algorithme f(TO)

Dans les tests de DAB effectués, les seuils d'apparition et de disparition de bouchon sont considérés comme constants pour le test des autres facteurs. On s'interroge ici sur la pertinence des seuils fixes utilisés dans l'algorithme f(TO). Il s'agit de comparer les résultats de la DAB pour des seuils fixes communs à toutes les voies et ceux obtenus pour des seuils calibrés voie par voie.

1). Calibrage des seuils de TO voie par voie

Le calibrage des seuils voie par voie se fait via le diagramme fondamental exprimé sur le plan : vitesse - taux d'occupation. Le principe de calibrage adopté est constitué de deux étapes

- obtenir une droite théorique traduisant la relation simplifiée entre vitesse et TO en utilisant la technique de la régression linéaire à partir des données mesurées,
- déterminer a partir de cette droite les deux seuils de TO correspondant aux deux seuils de vitesses habituels (30 km/h et 60 km/h).

Seules les stations équipées de boucle double permettent d'obtenir des vitesses et des taux d'occupation mesurés en temps réel. Sur le tronçon d'autoroute étudié, il y a deux stations équipées de boucle double A4 W 11.4 et A4 W 13.6.

Le calibrage des seuils de TO pour l'apparition et la disparition de bouchon a été effectué sur deux jours de données. Les résultats du calibrage sont montrés tableau 6.3.

Tableau 6.3: Résultat du calibrage des seuils de taux d'occupation pour l'algorithme f(TO) :

Avec les données du 10/5/1993													
Station A4 W 11.4 (4 voies)								Station A4 W 13.6 (3 voies)					
Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4		Voie 1		Voie 2		Voie 3	
S1*	S2*	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
16.90	28.10	17.30	30.50	16.50	28.00	17.20	27.50	15.50	28.20	16.70	30.00	16.20	28.50
Avec les données du 7/6/1993													
Station A4 W 11.4 (4 voies)								Station A4 W 13.6 (3 voies)					
Voie 1		Voie 2		Voie 3		Voie 4		Voie 1		Voie 2		Voie 3	
S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
15.80	32.50	16.80	30.90	18.50	27.40	16.30	26.20	19.00	29.50	16.20	28.30	17.60	28.70

S1 : seuil de TO de disparition de bouchon, S2 : seuil de TO de formation de bouchon; S1 et S2 sont en %.

2). Comparaison des résultats de la DAB avec des seuils communs et des seuils calibrés voie par voie

En utilisant le programme de simulation de fonctionnement de la DAB, on a testé la DAB avec l'algorithme f(TO) avec des seuils calibrés voie par voie et des seuils communs à toutes les voies Pour avoir une vision plus claire et faciliter la comparaison, les résultats sont presentes sous forme graphique Fig.6.12.

Analyse:

- **Retard de détection**

Pour les deux stations et pendant les deux périodes, il n'y aucun retard de détection pour les deux modes de prise en compte des seuils

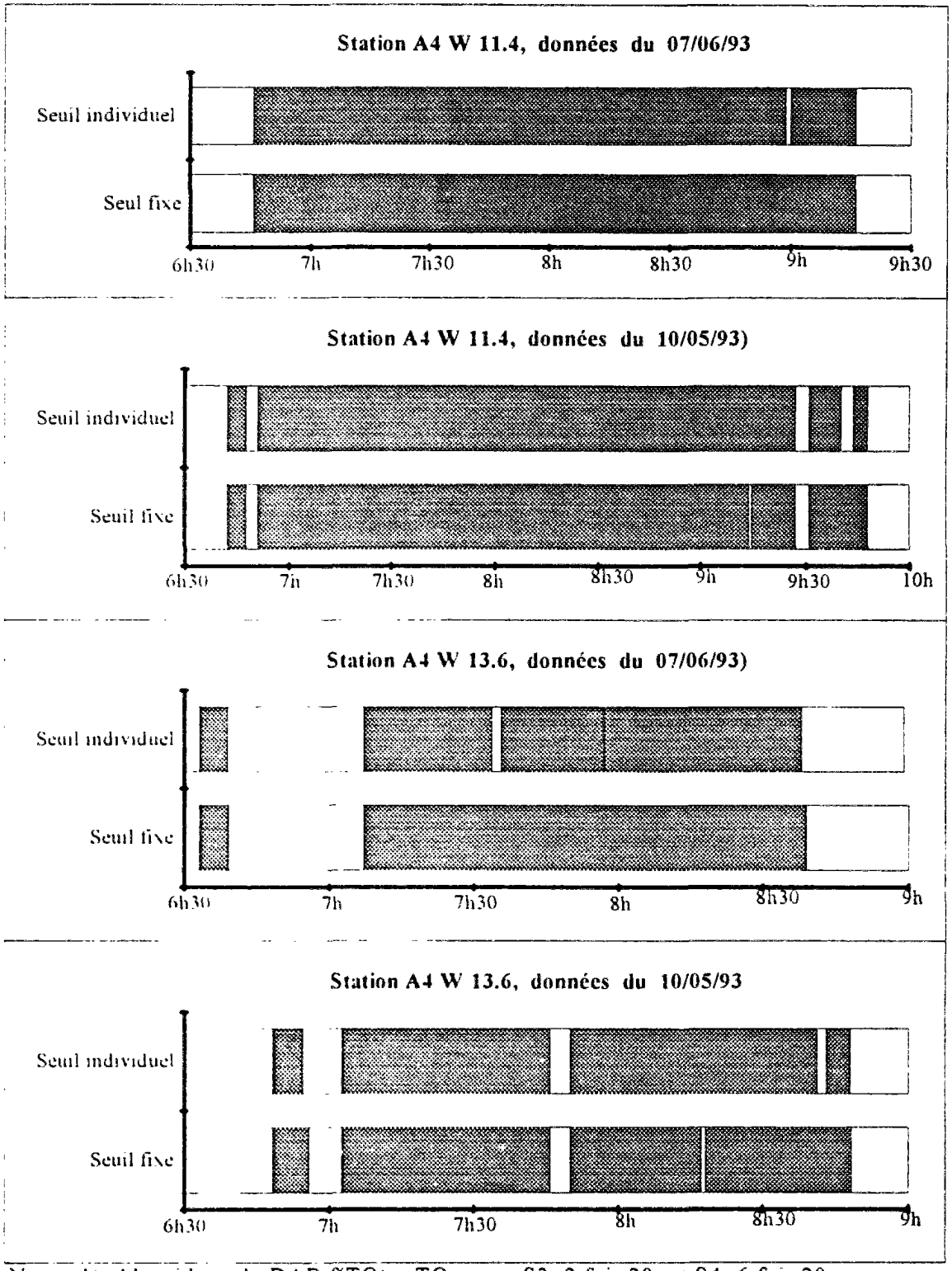
- **"Coupures" de bouchons**

Les états fluides de trafic de tres courte durée (< 5 mn par exemple) qui coupent des bouchons dans le temps sont consideres ici comme "coupures" de bouchons. Pour les deux stations et avec les donnees du 7/6/1993, la DAB avec des seuils fixes ne contient pas de coupures de bouchons, tandis que la DAB avec des seuils individuels voie par voie en possède trois Pour les donnees du 10/5/1993, la DAB avec des seuils fixes et celle avec des seuils individuels donnent chacune deux coupures

Cette comparaison montre que des seuils fixes utilisés avec l'algorithme f(TO) ne retardent pas la détection Les seuils fixes se montrent plus performants que les seuils

individuels voie par voie en matière de coupures de bouchons. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place des seuils individuels voie par voie avec l'algorithme f(TO).

Fig.6.12 : Comparaison des résultats de la DAB en fonction des seuils (communs et individuels)



Note: 1). Algorithme de DAB f(TO) = TO, avec S3=3 fois 20s et S4=6 fois 20s;

2). Seuil fixe: S1=15%, S2=30%.

3). Bouchon Fluide

VI.5.4. Conclusion

Les tests de notre DAB sur le réseau SIRIUS dans les paragraphes précédents nous permettent de tirer les enseignements suivants :

• Le lissage spatial permet d'éliminer systématiquement les trous dans les bouchons. De ce fait, il est partie intégrante de la DAB voie par voie.

• Le résultat des tests de la DAB montre que le facteur S3 (nombre de périodes de confirmation de bouchons) joue un rôle déterminant. En même temps, il retarde systématiquement la détection des bouchons. Il s'agit donc de trouver un compromis entre le nombre d'alarmes acceptable et le retard à la détection des bouchons.

• Des trois algorithmes testés, l'algorithme f(TO) s'est montré le plus efficace et le plus performant. Par rapport aux deux autres, l'algorithme f(TO) détecte plus vite l'apparition des bouchons. Les deux autres algorithmes, pour atteindre le même niveau de performance, doivent avoir un nombre de confirmations supérieur.

• Selon les résultats, la meilleure combinaison est : algorithme f(TO), S3=3, S4=3 et lissage spatial. Sur le site de teste composé de dix stations de mesure et pendant dix jours, cette combinaison donne le meilleur compromis entre les divers indicateurs de performance, avec :

- un taux de détection de 100%,
- 6 fausses alarmes seulement en dix jours et pour dix stations,
- un retard moyen de deux secondes à la détection des bouchons.

• Ces tests, avec des données réelles, mènent à penser qu'il est possible d'appliquer cette méthode de DAB sur le réseau de voies rapides d'Ile-de-France. La précision obtenue avec la combinaison ci-dessus peut permettre d'améliorer la performance de la DAB du système SIRIUS sur un réseau étendu. La DAB peut permettre d'améliorer la performance des systèmes d'information en délivrant des messages crédibles grâce à une détection complète et rapide des bouchons pour un nombre de fausses alarmes admissible.

VI.6. DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE BOUCHON ENTRE DEUX STATIONS TROP DISTANTES

VI.6.1. Problème à résoudre

Le bon fonctionnement de la DAB dépend de la densité des stations de mesures et de leur bon fonctionnement. La distance habituelle entre deux stations est d'environ 500 mètres. Or, sur les RVR, l'équipement n'est pas toujours homogène. Pour certains tronçons, le recueil de données est parfois moins dense avec une distance relativement grande (≥ 1 km) entre deux stations successives.

D'autre part, avec le recueil des données par boucles magnétiques soumises à de multiples contraintes, il arrive souvent qu'une station tombe en panne. La réparation est souvent longue. La conséquence en est que l'exploitant ne dispose pas de données pour le point de mesure correspondant pendant une période allant de quelques jours à plusieurs semaines

Dans ces deux cas, se pose le problème de la détermination de la longueur de bouchon entre deux stations trop distantes. Ce problème n'est pas nouveau, mais il n'existe pas encore de moyens permettant de le résoudre. Dans cette section, on essaie d'y apporter une réponse.

Il s'agit de déterminer, à chaque intervalle de temps (20s, 1mn ...), la longueur de bouchon entre deux stations assez distantes ou lorsqu'une station intermédiaire tombée en panne. C'est à partir des données mesurées des deux stations distantes qu'on doit présumer l'évolution du trafic entre elles.

VI.6.2. Proposition de deux méthodes de détermination

Nous allons proposer ici deux méthodes pour la détermination de la longueur de bouchon entre deux stations distantes.

A : Méthode basée sur la loi de représentation en deux états

1. Principe

Dans la figure 6.13, supposons que la station N°1 et la station N°3 fonctionnent normalement. La station N°2 est soit inexistante soit tombée en panne (il n'y a pas de données mesurées correspondantes). Pour chaque intervalle de temps donné, cette

méthode suppose qu'il existe seulement deux densités distinctes entre les stations N°1 et N°3. Les deux densités sont respectivement celle mesurée à la station N°1 et celle mesurée à la station N°3.

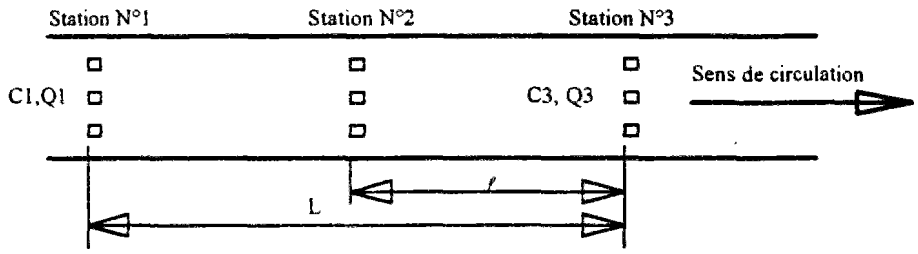


Fig.6.13 : Schéma d'une portion de voie rapide

Le principe de cette première méthode que nous proposons se fonde sur la détermination de l'état du trafic à la station N°1 et à la station N°3 à chaque pas de temps Selon l'état du trafic aux stations N°1 et N°3, la longueur de bouchon (L_b) sera annoncée soit directement soit après calcul selon trois cas de figure:

1). FF : Fluide (F) en station N°1 et Fluide (F) en station N°3: L_b=0;

2). BB : Bouchon (B) en station N°1 et Bouchon (B) en station N°3: L_b=L;

3) FB ou BF : Fluide (F) en station N°1 et Bouchon (B) en station N°3 ou Bouchon (B) en station N°1 et Fluide (F) en station N°3 : L_b est calculée selon un algorithme fondé sur la loi de répartition en deux états du trafic entre la station N°1 et la station N°3.

2. L'algorithme

- Si FF (fluide en station N°1 et fluide en station N°3)

$$L_b(t) = 0$$

$$N(t) = \frac{L}{2}\cdot[C_1(t) + C_3(t)]$$

$$C_1(t) = \frac{1}{l_c}\cdot TO_1(t) \quad \text{et} \quad C_3(t) = \frac{1}{l_e}\cdot TO_3(t)$$

Avec: $L_b(t)$: longueur de bouchon à l'instant t,

$N(t)$: nombre de véhicules présents sur le tronçon à l'instant t,

$C_1(t)$: concentration calculée à l'aide de station N°1 et à l'instant t,

$C_3(t)$: concentration calculée à l'aide de station N°3 et à l'instant t,

L : longueur du tronçon d'autoroute entre station N°1 et station N°3,

l_e : "longueur électrique" (longueur moyenne des véhicules + longueur du boucle électromagnétique),

$TO_1(t)$: taux d'occupation de station N°1 à l'instant t,

$TO_3(t)$: taux d'occupation de station N°3 à l'instant t.

- Si FB (fluide en station N°1 et bouchon en station N°3)

Deux équations peuvent être utilisées pour calculer le nombre de véhicules présents sur le tronçon à l'instant $t+\Delta t$:

1). $N(t+\Delta t) = N(t) + Q_1(t+\Delta t)\cdot\Delta t - Q_3(t+\Delta t)\cdot\Delta t$, selon la loi de conservation du nombre de véhicules.

2). $N(t+\Delta t) = [L-\ell(t+\Delta t)]\cdot C_1(t+\Delta t) + \ell(t+\Delta t)\cdot C_3(t+\Delta t)$, selon la loi de répartition en deux états :

D'où :

$$L_b(t+\Delta t)= \ell(t+\Delta t) = \frac{N(t) + Q_1(t+\Delta t)\cdot\Delta t - Q_3(t+\Delta t)\cdot\Delta t - L\cdot C_1(t+\Delta t)}{C_3(t+\Delta t) - C_1(t+\Delta t)}$$

sous contraintes : $0 < |L_b(t+\Delta t)| \leq L$

Avec :

$N(t+\Delta t)$: nombre de véhicules sur le tronçon à l'instant $t+\Delta t$,

$Q_1(t+\Delta t)$ et $Q_3(t+\Delta t)$: débit de station N°1 et de station N°3 à l'instant $t+\Delta t$,

Δt intervalle du temps,

$\ell(t+\Delta t)$ longueur du tronçon dont la densité du trafic à l'instant $t+\Delta t$ est $C_3(t+\Delta t)$

- Si BB(bouchon en station N°1 et bouchon en station N°3)

$L_b(t)=L$

$N(t+\Delta t) = N(t) + Q_1(t+\Delta t)\cdot\Delta t - Q_3(t+\Delta t)\cdot\Delta t$

- Si BF(Bouchon en station N°1 et Fluide en station N°3)

$N(t+\Delta t) = [L-\ell(t+\Delta t)] \cdot C_1(t+\Delta t) + \ell(t+\Delta t) \cdot C_3(t+\Delta t)$: selon la loi de répartition en deux états.

$N(t+\Delta t) = N(t) + Q_1(t+\Delta t) - Q_3(t+\Delta t)$: selon la loi de conservation des véhicules.

D'où :

$$L_b(t+\Delta t) = L - \ell(t+\Delta t) = L - \frac{N(t) + Q_1(t+\Delta t) - Q_3(t+\Delta t) - L \cdot C_1(t+\Delta t)}{C_1(t+\Delta t) - C_3(t+\Delta t)}$$

sous contraintes : $|L_b(t+\Delta t)| \leq L$ et $|L_b(t+\Delta t)| > 0$

B : Méthode fondée sur la théorie des ondes de choc

1. Principe

Le second algorithme que nous proposons s'appuie sur le calcul de la vitesse de déplacement des ondes de choc à chaque pas de temps. Comme illustré dans les paragraphes précédents, on distingue 4 états d'écoulement de trafic sur le tronçon, fonction des valeurs des variables liees aux deux stations de mesure.

1) FF Fluide (F) en station N°1 et Fluide (F) en station N°3: $L_b=0$,
2). BB Bouchon (B) en station N°1 et Bouchon (B) en station N°3: $L_b=L$,
3). FB ou BF Fluide (F) en station N°1 et Bouchon (B) en station N°3 ou Bouchon (B) en station N°1 et Fluide (F) en station N°3 : L_b est calculée selon algorithme fondé sur la theorie des ondes de choc. A chaque pas de temps, on calcule la position du front d'onde qui sépare les trafics en état "fluide et saturé". Le calcul se fait à travers la vitesse de deplacement de l'onde de choc :

$$W(t) = \frac{Q_3(t) - Q_1(t)}{C_3(t) - C_1(t)} = \frac{Q_3(t) - Q_1(t)}{\frac{1}{l_c}\left[TO_3(t) - TO_1(t)\right]}$$

Cette expression est positive pour un déplacement dans le sens de l'écoulement, négative dans le cas contraire et nulle pour une onde stationnaire. A la fin de chaque pas de temps, on établit la "distance parcourue" par l'onde de choc avec la vitesse W(t) pendant un intervalle de temps (un pas)

2: Algorithmes

- FF: $L_b(t)=0$.

- BB: $L_b(t)=L$,
- FB ou BF : $L_b(t+\Delta t) = L_b(t) + W(t+\Delta t)\cdot\Delta t$

Sous contraintes : $|L_b(t+\Delta t)| \leq L$ et $|L_b(t+\Delta t)| > 0$

VI.6.3. Application de ces deux méthodes sur le réseau SIRIUS

A : Site et données

Le site porte sur un tronçon de l'autoroute A4 (dans le sens Province → Paris) composé de trois stations successives (voir Fig.6.14). La station intermédiaire N°2 (A4 W 10.71) est utilisée pour vérifier les résultats.

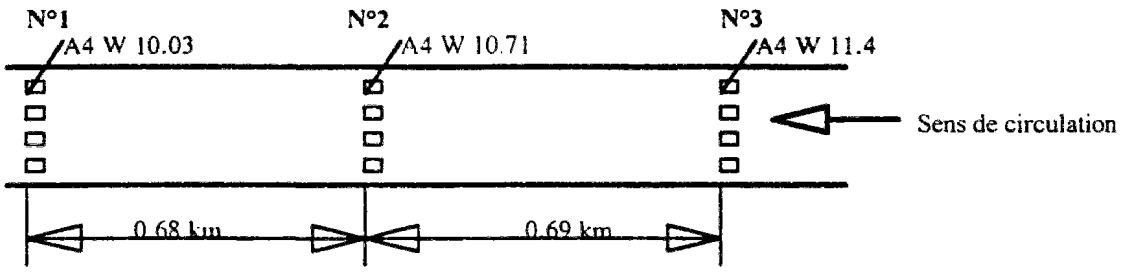


Fig.6.14 : Tronçon d'autoroute permettant de tester les deux moyens de détermination de longueur de bouchon

Les deux méthodes ont été testées, sur deux jours de données : le 4 mai 1993 et le 10 mai 1993 pendant les heures de pointes du matin de 6h à 12h. Les données utilisées ont été moyennées sur 1 minute, toutes les 20s.

B : Tests réalisés

Il s'agit de faire des tests qualitatifs et quantitatifs par rapport à une situation de référence.

1. Référence

A partir des données disponibles pour les trois stations consécutives (N°1, N°2 et N°3) et selon le principe de la DAB du SIRIUS, on obtient la longueur de référence, ou longueur réelle des bouchons. Il y a 8 cas possibles pour cette référence (voir Tableau 6.4). Le tableau 6.4 montre en même temps, pour chacun des 8 états, la valeur de L_b ou

l'intervalle dans lequel doit se situer L_b. Ce dernier est utile pour la constitution d'un critère quantitatif de performance des méthodes.

Tableau 6.4: huit états possibles pour la longueur réelle du bouchon

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Etat de trafic	F F F	F F B	F B B	B B B	B B F	B F F	F B F	B F B
L_{br}	0	$\in]0, 0.5L]$	$\in]0.5L, L]$	L	$\in]0.5L, L]$	$\in]0, 0.5L]$	$\in]0, L[$	L*

Avec: B: Bouchon; F: Fluide; L_{br} : référence de longueur de bouchon;
* selon lissage spatial.

2. Tests qualitatifs :

Parmi les huit états possibles de la référence, le cas "FBF" est rare a priori. Le tableau ci-contre (Tableau 6.5) le confirme. On constate que pour ces deux jours de données, il n'y avait pas d'état "FBF". On n'en tient donc plus compte pour la suite.

Tableau 6.5: Répartition de huit états de référence sur les deux jours de données

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Etats du trafic	F F F	F F B	F B B	B B B	B B F	B F F	F B F	B F B
Nombre de fois	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
4/5/93 (6h-10h)	118*	30	94	453	5	9	0	11
10/5/93(6h-10h5)	123	17	79	484	14	0	0	18

* unité : 20 secondes

A partir du Tableau 6.5, et en excluant l'état FFF, nous obtenons dans le Tableau 6.6 le pourcentage de chacun des 7 états durant la période de test (deux jours).

Tableau 6.6 : Pourcentage de chacun des 7 principaux états durant un bouchon

Etats du trafic	F F B	F B B	B B B	B B F	BFF	FBF	BFB
Fréquence 4/5/93 (en %)	4.9	15.6	75.2	0.8	1.5	0	1.8
Fréquence 10/5/93 (en %)	2.8	12.9	79.1	2.3	0	0	2.9

A priori, la comparaison du comportement des deux méthodes sur les états FFF, BBB et BFB est sans intérêt car pour ces trois états de référence, les deux algorithmes prennent une valeur identique. C'est donc le comportement de chaque méthode dans les cas FFB, FBB, BBF et BFF qui sera déterminant.

Le test qualitatif consiste à faire, pour chacun de ces quatre états (FFB, FBB, BBF et BFF) pris séparément et pour chaque méthode :

- l'histogramme des valeurs L_b calculées,
- la moyenne des valeurs L_b calculées,
- le pourcentage du nombre de fois où la valeur L_b calculée se situe dans l'intervalle de référence défini dans le tableau 6.4 par rapport au nombre de fois total de cet état pendant la durée d'observation.

3. Tests quantitatifs :

Afin d'évaluer la performance globale de chaque méthode, un critère quantitatif est défini en intégrant les quatre états pertinents (FFB, FBB, BBF et BFF) :

$$R = \frac{R_2 + R_3 + R_5 + R_6}{N_2 + N_3 + N_5 + N_6} \ (\%)$$

Avec :

R : critère global de performance,

R_2, R_3, R_5, R_6 : pour chacun des quatre états pris séparément, le nombre de fois où la valeur L_b calculée se situe dans l'intervalle de référence défini dans le Tableau 6.4,

N_2, N_3, N_5 et N_6 : le nombre d'occurrences de chacun des quatre états : FFB, FBB, BBF et BFF pendant la période d'observation.

C : Résultats

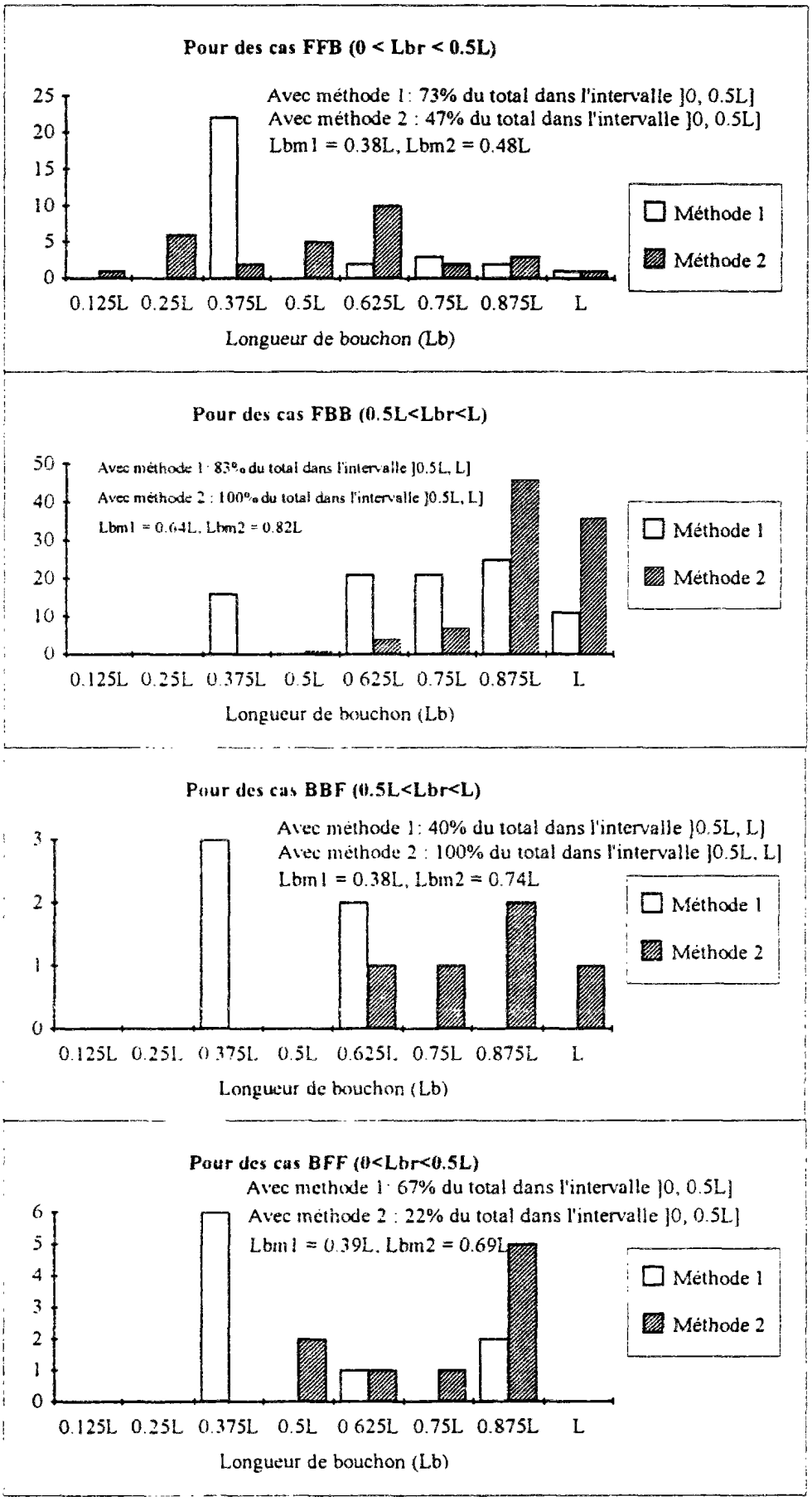
Les histogrammes des valeurs prises par L_b, pour chacun des quatre états (FFB, FBB, BBF et BFF) pour ces deux jours, sont présentés Fig.6.16 et Fig.6.17. Le tableau 6.7 illustre le critère global de performance.

Tableau 6.7 : Calcul du critère global de performance

		R_2	R_3	R_5	R_6	**T1***	N_2	N_3	N_5	N_6	**T2***	**R = T1/T2**
4/5/93	Méthode 1	22	78	2	6	**108**	30	94	5	9	**138**	**78.3%**
	Méthode 2	14	93	5	2	**114**						**82.6%**
10/5/93	Méthode 1	16	59	14	0	**89**	17	79	14	0	**110**	**80.9%**
	Méthode 2	17	62	14	0	**93**						**84.5%**

Note : $T1 = R_2+R_3+R_5+R_6$, $T2 = N_2+N_3+N_5+N_6$.

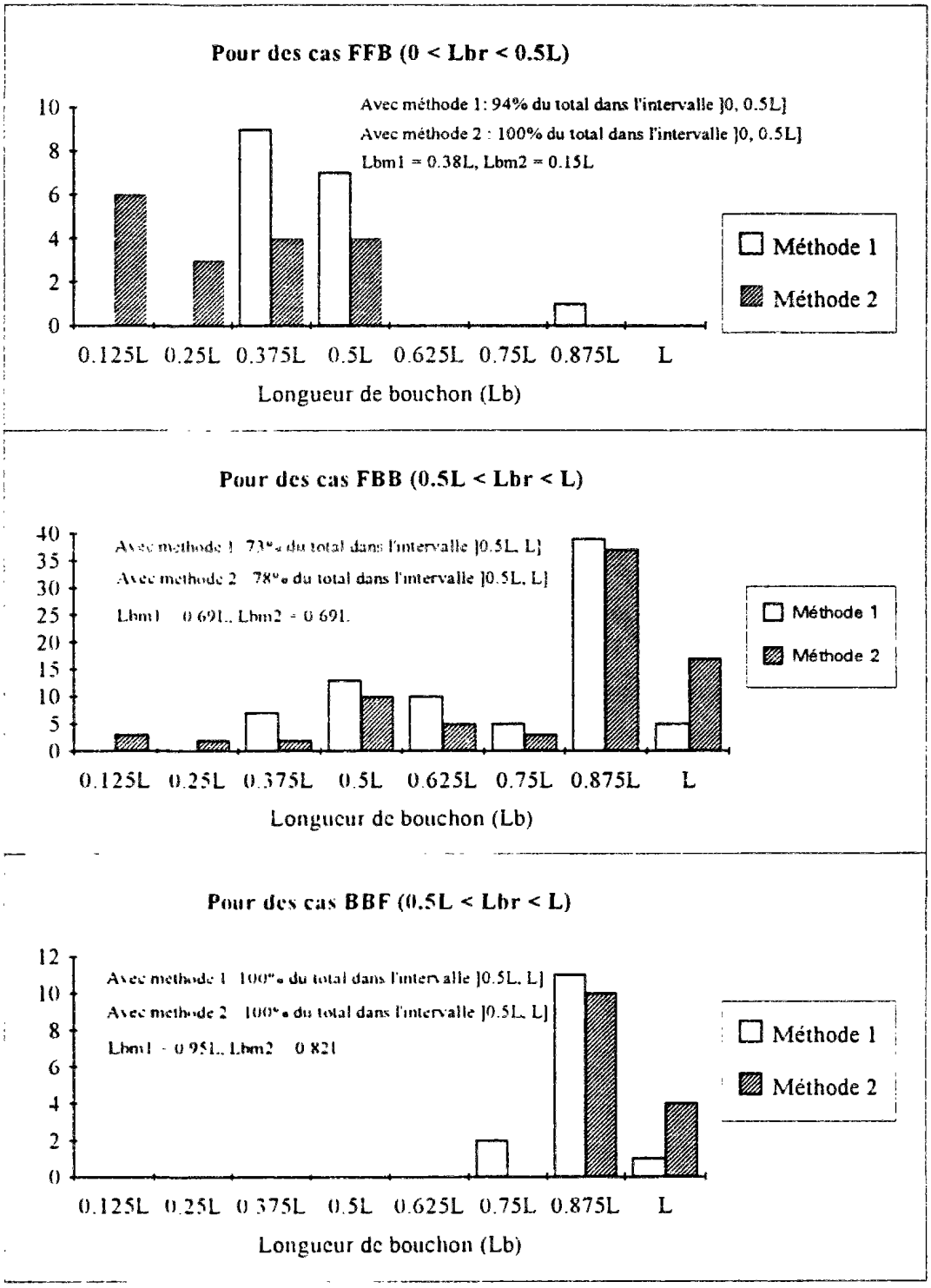
Fig.6.16: Histogramme des valeurs de Lb (données du 4/5/1994)



Note : Lbm1 et Lbm2 : la moyenne des Lb calculées selon méthode 1 méthode 2

Lbr : Référence de la longueur de bouchon

Fig.6.17 : Histogramme des valeurs de Lb (données du 10/5/1994)



Analyse :

A propos des résultats pour la journée du 4/5/1993

L'examen des histogrammes présentés Fig.6.16 fait que :

- Pour les cas FFB, la répartition de L_b calculée par la méthode 1 se situe principalement dans l'intervalle]0.375L, 0.5L]; celle calculée par la méthode 2 se répartit inégalement sur l'ensemble des sous-intervalles entre 0 et L. Les résultats de la méthode 1 sont plus proches de la référence avec la moyenne des L_b de 0.38L et 73% du total dans l'intervalle]0, 0.5L]. Pour la méthode 2, la moyenne des L_b est de 0.48L, qui est toujours dans l'intervalle de référence, mais son taux de réussite est plus faible : 47% du total dans l'intervalle]0, 0 5L]

- Pour les cas FBB, selon la méthode 2, les occurrences de L_b augmentent dans l'intervalle]0.875L, L] avec une moyenne de 0.82L, ce qui correspond bien à la référence avec 100% du total dans l'intervalle de référence]0.5L, L]. Par contre la L_b calculée avec la méthode 1 a une partie de sa distribution dans l'intervalle]0, 0.5L], ce qui ne donne que 83% des L_b dans l'intervalle de référence.

- Pour les cas BBF, la L_b determinée selon la méthode 1 se répartit sur seulement deux intervalles]0 375L, 0 5L] et]0 625L, 0.75L]. Plus de la moitié se situe dans l'intervalle]0 375L, 0 5L] qui est en dehors de son intervalle de référence. Par conséquent, la méthode 1 n'est pas performante en cas BBF avec 40% du total dans l'intervalle de référence et la longueur moyenne de 0.38L qui est largement en-dehors de la référence]0 5L, L] Par contre, la méthode 2 est parfaite avec la totalité des L_b se situant dans l'intervalle de reference, et une moyenne de L_b de 0.74L.

- Pour les cas BFF, la L_b determinee par la méthode 1 se répartit sur trois intervalles dont un se trouve à l'interieur de l'intervalle de référence (la majorité), ce qui fait 67% du total dans l'intervalle de reference]0, 0 5L], et avec une valeur moyenne des L_b de 0.39L. La L_b déterminee par la methode 2 se répartit sur quatre intervalles dont un seul (petit) situé dans la zone de reference, ce qui donne 22% dans l'intervalle de référence, et avec une moyenne des L_b (0 69L) plus grande que le seuil supérieur de l'intervalle de référence.

En résumé de ce qui precéde

- La méthode 1 est plus performante que la méthode 2 pour des cas FFB et BBF.

- Par contre, la méthode 2 se montre meilleure pour les cas FBB, et beaucoup plus performante pour les cas BBF.

Ces histogrammes ne permettent pas de juger laquelle de ces deux méthodes est la plus performante. Il faut donc examiner le critère global exposé tableau 6.7. Il ressort que pour cette journée la méthode 2 est un peu plus performante que la méthode 1 avec un critère global de 82.6% pour la méthode 2 contre 78.3% pour la méthode 1. Les deux méthodes manifestent une performance semblable qui n'est pas tout à fait satisfaisante.

Remarque :

Pour chacun des quatre cas pris en compte, le pourcentage d'occurrences L_b se situe dans son intervalle de référence peut être très élevé dans les cas où le nombre d'occurrences de cet état pendant la durée d'observation n'est pas suffisamment grand. Par exemple, le nombre d'état BBF est de 5 Parmi ces cinq états, la méthode 1 réussit deux fois à déterminer correctement L_b (L_b se situant dans son intervalle de référence), ce qui conduit au resultat de 40% de L_b calculée dans l'intervalle de référence par cette méthode et pour cet état (BBF).

Pour la journée du 10/5/1993

Les histogrammes de la Fig.6 17 montrent que les deux méthodes ont une performance voisine dans le cas BBF. Le cas BFF n'apparaît pas pendant la période d'observation. Par contre, la méthode 2 est plus performante dans les cas FFB et FBB (100% contre 94% et 78% contre 73%).

Les résultats du critère global confirment les constatations précédentes. Globalement, la methode 2 paraît être un peu plus performante que la méthode 1 (84.5% pour la méthode 2 contre 80 9% pour la méthode 1). Il ressort que dans absolu (par rapport à la réference), la marge d'erreur est relativement importante pour chacune de ces deux méthodes

VI.6.4. Evaluation et conclusion

A : L'apport méthodologique

Les deux méthodes ont été développées à partir d'hypothèses simplificatrices. Elles supposent que, à un moment donné, il existe seulement deux régimes distincts (deux

densités différentes) entre deux stations distantes et par conséquent un unique front d'onde séparant deux régimes. En réalité le trafic entre deux stations distantes n'est ni homogène ni stationnaire, surtout à la formation et la disparition de bouchons. Selon les circonstances, il peut y avoir plusieurs régimes différents et donc plusieurs fronts d'onde. Les deux méthodes proposées n'ont pu rendre compte d'une telle complexité. De ce fait, elles sont limitées surtout dans le cas d'écoulement du trafic en accordéon (stop-and-go).

B : A propos des résultats

Dans l'absolu, par rapport à notre référence, ces deux méthodes n'apparaissent pas donner une entière satisfaction En dehors des limites méthodologiques soulignées plus haut, plusieurs autres facteurs, tels la fiabilité des données et la longueur moyenne des véhicules utilisée dans les formules, pourraient être à l'origine des mauvais résultats.

Néanmoins, avec la performance obtenue, la méthode 2 peut être retenue et appliquée opérationnellement.

C : Conclusion

Par nature, le problème de la localisation des bouchons entre deux stations distantes est complexe et difficile à résoudre Nous avons tenté de résoudre ce problème par deux méthodes. Elles sont développées avec une finalité opérationnelle.

Les tests ont montré une performance de 84.5% pour la méthode 2 par rapport à notre référence. Cette précision ne peut malheureusement pas satisfaire totalement le besoin en matière de localisation et de détermination de la longueur de bouchon entre deux stations distantes Il existe encore une nécessité d'amélioration pour le futur. Mais compte tenu des contraintes liées au système d'information des automobilistes sur les bouchons par PMV, on n'a pas besoin d'une précision trop importante. Il est donc raisonnable d'utiliser en temps réel cette méthode en exploitation. La méthode 2 peut donc être utilisée pour localiser les bouchons avec une densité faible de stations (autoroute A104 par exemple) ou sur des tronçons où des stations sont en panne.

Nous avons ouvert une piste de réflexion sur le problème posé et, par la suite, il sera nécessaire de la valider par de nombreux tests. Dans le futur, les systèmes embarqués nécessiteront sans doute une plus grande précision de la DAB. Dans ce cas, il conviendra sans doute d'augmenter la densité de mesure et de renforcer la maintenance des dispositifs de RAD afin d'en diminuer les pannes.

Chapitre VII :

APPLICATION DU MODELE DE SIMULATION : META

VII.1. PRESENTATION DU MODELE META ET ANALYSE DES RESULTATS PRECEDENTS DE SIMULATION

VII.1.1. Présentation du modèle META

A : Description du modèle META

Le modèle META a été développé par M. Papageorgiou (1987) sur la base du modèle de Payne (1971). Ce modèle macroscopique est basé sur le découpage d'un tronçon d'autoroute en sections. Chaque section a un nombre de voies fixe. La Fig.7.1 illustre le découpage d'un tronçon d'autoroute en sections.

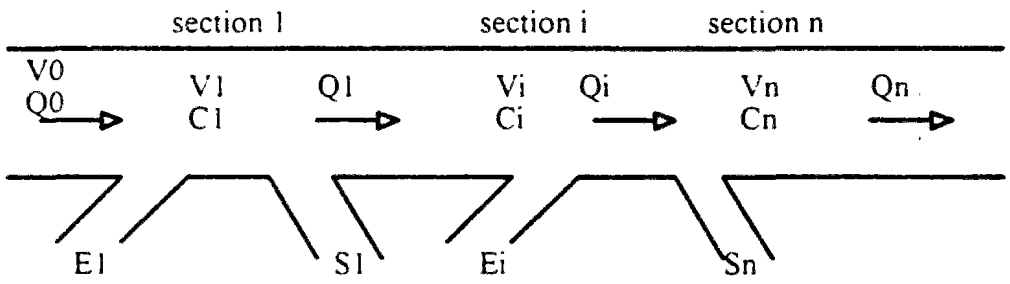


Fig.7.1 : Découpage d'un tronçon d'autoroute en sections selon le modèle META

A partir de trois équations principales, le modèle évalue périodiquement, par exemple par pas de 10 secondes, la concentration C, la vitesse moyenne V et le débit Q sur chaque section

B: Equations d'évolution du trafic dans META

La première équation traduit la loi de conservation des véhicules sur la section i, entre les instants KT et (K+1)T. Elle s'exprime par :

$$C_i(K+1) = C_i(K) + \frac{T}{L_i}\left[Q_{i-1}(K) - Q_i(K) + E_i(K) - S_i(K)\right] \qquad (1)$$

Avec :

$C_i(K)$, $C_i(K+1)$: concentration de section i aux instants KT et (K+1)T,

$Q_{i-1}(K)$: débit de section i-1 à l'instant KT,

$Q_i(K)$: débit de section i à l'instant KT,

$E_i(K)$: débit sur l'entrée (si elle existe) de la $i^{ème}$ section,

$S_i(K)$: débit sur la sortie (si elle existe) de la $i^{ème}$ section,

T : pas de simulation,

L_i : longueur de la section i.

La deuxième équation présente la relation Débit = Concentration • Vitesse, théoriquement valable pour des variables instantanées et dans certaines conditions de trafic .

$$Q_i(K) = C_i(K) \cdot V_i(K) \qquad (2)$$

Avec :

$V_i(K)$: vitesse moyenne des véhicules dans la section i à l'instant KT.

Ces deux premières equations sont généralement communes à toutes les simulations macroscopiques. La troisième équation relative à la vitesse, caractérise le modèle META.

$$\begin{aligned} V_i(K+1) = {} & V_i(K) + \frac{T}{\tau}\left[V(C_i(K)) - V_i(K)\right] \\ & + \frac{T \cdot \xi}{L_i} V_i(K)\left[V_{i-1}(K) - V_i(K)\right] \\ & - \frac{\upsilon \cdot T}{\tau \cdot L_i} \cdot \frac{\dfrac{C_{i-1}(k)}{\lambda_{i+1}} - \dfrac{C_i(K)}{\lambda_i}}{\dfrac{C_i(K)}{\lambda_i + \kappa}} \\ & - \frac{\delta \cdot T}{L_i} \cdot \frac{r_i(K) V_i(K)}{C_i(K) + \kappa \lambda_i} \\ & - \frac{\phi \cdot T}{L_i} \cdot \frac{\lambda_i - \lambda_{i+1}}{\lambda_i} \cdot \frac{C_i(K)}{C_{cr} \cdot \lambda_i \cdot V_i^2(K)} \end{aligned} \qquad (3)$$

Avec:

τ : constante dans le temps,

ξ: paramètre de l'influence de vitesse par la section en amont,

υ : paramètre d'anticipation,

δ: constante de l'entrée à la section,

ϕ: constante de la diminution du nombre de voies,

κ: nombre de véhicules minimum permettant d'éviter une division par zéro,

λ_i: nombre de voies à la $i^{ème}$ section.

Le diagramme fondamental "vitesse-concentration" adopté est régi par :

$$V[C_i(K)] = V_f \cdot \exp\left[\frac{-1}{a} \cdot \left(\frac{C_i(K)}{C_{cr} \cdot \lambda_i}\right)^a\right] \qquad (4)$$

Avec:

V_f : vitesse libre,

C_{cr} : Concentration critique,

a : paramètre du diagramme fondamental.

Dans l'équation (4), le calcul de la vitesse prend en compte les influences des entrées, des sorties et des rétrécissements. META simule la variation de vitesse qui se produit dans une section où débouche une entrée, par suite des difficultés d'insertion des véhicules entrants, et de la gêne causée aux occupants de l'autoroute. Il prend également en compte la gêne occasionnée par une sortie. En cas de sortie congestionnée, META simule la gêne due à la remontée sur l'autoroute de la queue du bouchon de sortie. Les pertes de vitesse dues à une réduction du nombre de voies sont également prises en compte.

C : Paramètres du modèle META

Parmi les dix parametres que prend en compte le modèle META, sept sont à calibrer, qui sont V_f, C_{cr}, a, τ, ν, δ et ϕ. Si le nombre de diagrammes fondamentaux est supérieur à un, le nombre de parametres augmente. Les paramètres, et en particulier les trois paramètres du diagramme fondamental, influencent d'une manière considérable les résultats de simulation

Dans le modèle META, le calibrage des paramètres intégrés est automatique. Le calibrage se fonde sur les données mesurées et selon une procédure itérative correspondant à la méthode classique du programme d'optimisation de Box[1]. L'expérience montre que l'optimisation est longue (quelques heures) en temps de calcul.

[1]Box (Complex Algorithm) . Programme développé par John A. Richardson, Arizona State University, Tempe, Arizona

Elle peut ne pas converger ou converger vers un optimum local peu intéressant [COHEN et al, 1989]. En pratique, il convient de limiter le nombre de paramètres à calibrer par des tests préalables de sensibilité à certains paramètres [PAPAGEORGIOU, 1988].

D: Applications précédentes

Le modèle META a été testé pour simuler différentes conditions de circulation de trafic (fluide, dense et saturé). Il a fait l'objet de nombreuses applications dans le cadre des recherches du projet européen (DRIVE) : sur le Boulevard périphérique (BP) de Paris, les autoroutes A13 et A1 en région parisienne, l'autoroute M6 à Londres, etc. En Ile-de-France, il a aussi été utilisé pour étudier l'impact des travaux d'élargissement de l'autoroute A86 (à l'est et en sens extérieur), et pour simuler le fonctionnement futur de l'autoroute A1 après le raccordement à celle-ci des autoroutes A16 et A86 Nord [BRIGNON, 1991] Les principaux résultats seront analysés dans la section suivante.

VII.1.2. Analyse de la performance du modèle META d'après ces études déjà réalisées

A : Résultats quantitatifs

L'indicateur choisi dans toutes les applications du modèle META était l'écart quadratique moyen absolu entre les donnees reconstituées et celles mesurées. Le critère est calculé pour chaque variable (debit, taux d'occupation et vitesse) selon la formule suivante

$$\sigma(i) = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N}\left[X^i_{obs}(K) - X^i_{sim}(K)\right]^2}$$

Avec

$\sigma(i)$: écart quadratique moyen absolu à la station i,

$X^i_{obs}(K)$ variable mesure par la station i pour le $K^{ième}$ pas de temps,

$X^i_{sim}(K)$ variable reconstituee de la station i pour le $K^{ième}$ pas de temps,

N : nombre total de pas de simulation

En outre, il est interessant de regarder un autre indicateur : l'écart quadratique moyen relatif de chaque variable Cet indicateur est défini comme le ratio entre l'écart quadratique moyen d'une variable et la valeur moyenne de cette variable pendant une période d'observation Il permet d'évaluer la précision du modèle par les variables mesurées

Le tableau 7.1 montre les résultats des applications de META dans les diverses études précédentes.

Tableau 7.1 : Résultats des applications précédentes de META

Site	BP	A13	A1	A13	M6	A86	Moyenne
longueur (km)	6	12	6.5	12	4.7	4	
Nb d'entrées	6	4	4	4	2	3	
Nb de sorties	6	5	2	5	1	2	
EMAQ (véh/h)	714	800	367	667	543	228	553
EMATO (%)	7.8	11	6.4	8.3	5.5	5.1	7.3
EMAV (km/h)	10.8	15	11.6	19.2	14.5	23.4	15.8
ERQ (%)	12.8	14.6	7.9	14.9	11.1	10.8	12.0
ERTO (%)	30.5	28	48.6	34.6	33.5	49.8	37.5
ERV (%)	21.6	23.5	17.8	38.2	18.2	28.6	24.7
Données	1mn	6mn	6mn	6mn	6mn	6mn	
Référence	Papageorgiou 1988	Cohen 1989	DRIVE PROJECT (V1035) 1991			Brignon 1991	

[Note: le critère retenu dans ce tableau, pour chaque variable (débit, TO et vitesse), est la moyenne des écarts quadratiques des différentes stations prises en compte.]
Avec :
EMAQ, EMATO et EMAV: Ecart quadratique moyen absolu du débit, du TO et de la vitesse,
ERQ, ERTO et ERV: Ecart quadratique relatif du débit, du TO et de la vitesse.

Le modèle META reproduit les conditions de circulation avec un degré de précision estimée par des critères quantitatifs : écarts quadratiques moyens pour le débit, le taux d'occupation et la vitesse moyenne, de l'ordre respectivement de 553 véh/h, 7.3% et 15.8 km/h. La précision du modèle META (critère : écart quadratique relatif) pour l'ensemble des applications precédentes est de 12% pour le débit, 37.5% pour le taux d'occupation et 24.7% pour la vitesse. On constate que le modèle META est plus performant sur les tronçons courts (≤ 6 km) que sur les tronçons longs (12 km). La performance de META semble diminuer avec l'augmentation de la longueur d'autoroute prise en compte.

B : Résultats qualitatifs: cartographies des états de trafic

La Fig.7.2 illustre les cartographies des états de trafic simulés et observés sur l'autoroute A13 [Cohen et al, 1989]. Le modèle situe correctement l'origine des retenues. Les instants d'apparition de la congestion du trafic sont conformes aux observations. Des cartographies du trafic effectuées dans d'autres applications confirment ces points.

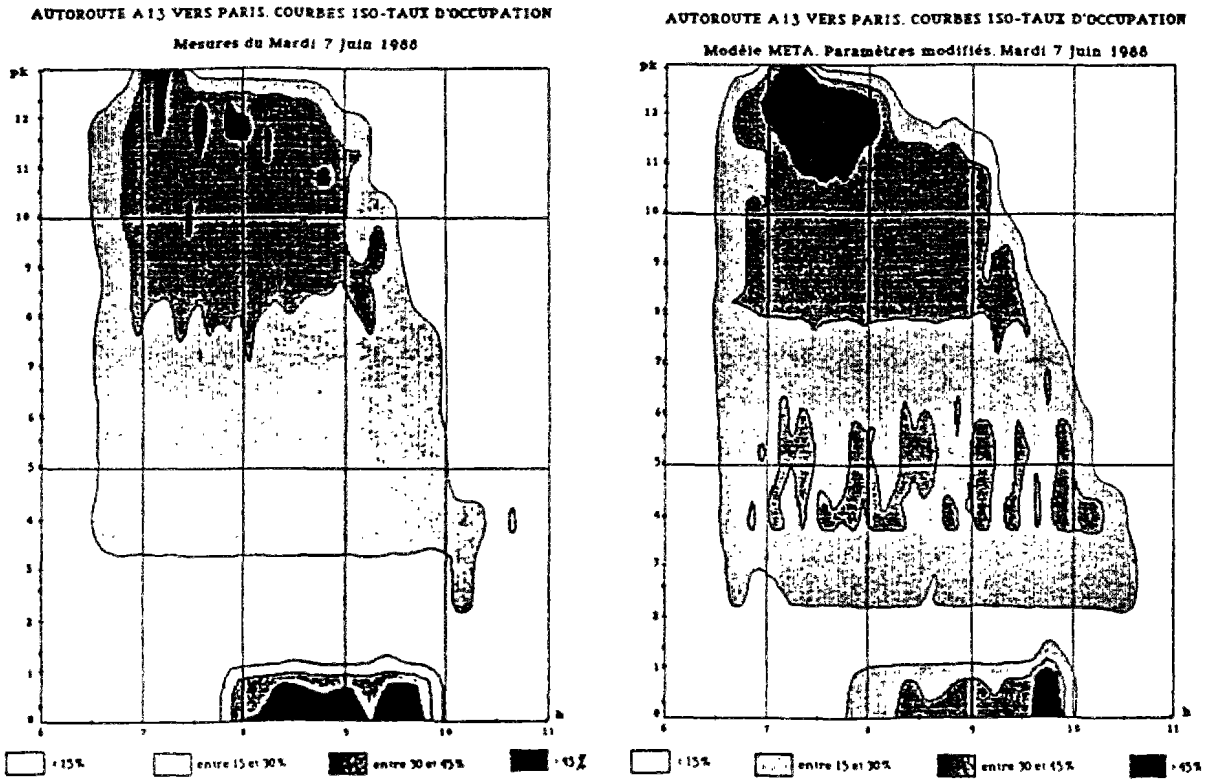


Fig.7.2 : Cartographies des états de trafic

C : Analyse

La précision du modèle META s'améliore au fur et à mesure des travaux effectués, en particulier dans le cadre du projet DRIVE CHISTIANE V1035. Ainsi, depuis sa création, plusieurs améliorations ont été apportées au modèle META pour le calcul de la vitesse Des études de sensibilité ont montré la grande robustesse du modèle META par rapport aux données [Papageorgiou, 1988]

Compte tenu de ses performances et de sa bonne maîtrise en France par l'INRETS, le modèle META est susceptible de devenir un outil efficace dans l'exploitation des RVR. Jusqu'à présent, les études ont porté sur l'application du modèle META en temps différé. Ses applications potentielles dans les activités d'exploitation ont été décrites au premier chapitre

Pour devenir un outil opérationnel, le modèle META doit encore fait l'objet de validations et d'améliorations concernant notamment sa facilité d'utilisation, sa rapidité de

calibrage des paramètres et la flexibilité et l'adaptabilité à différents objectifs. A souligner qu'en matière de calibrage des paramètres, la méthode proposée dans le chapitre V contribue à en réduire le temps (de quelques heures à quelques minutes).

VII.2. RECONSTITUTION DES DONNEES MANQUANTES AVEC LE MODELE META

VII.2.1. Les données dynamiques manquantes et leurs reconstitutions

On entend par "données dynamiques manquantes" les données de trafic liées à un point de la route qui ne sont pas disponibles pour cause de panne ou de densité insuffisante de stations de mesure. Ces données sont indispensables pour le bon fonctionnement de certains outils d'exploitation, en particulier la DAI et la DAB.

La reconstitution des données manquantes consiste à les déterminer à partir des données mesurées par les stations adjacentes. A priori, la simulation macroscopique peut apporter une réponse à ce problème. Deux éléments nous incitent à utiliser le modèle META. D'une part, META est censé représenter dynamiquement l'évolution du trafic dans l'espace et dans le temps. D'autre part, les applications précédentes ont montré la performance du modèle META pour la simulation en temps différé.

VII.2.2. Reconstitution des données manquantes avec META

A : Méthode

Il s'agit de simuler avec META les variables d'une station intermédiaire (fictive ou non) en fonction des données mesurées en temps réel en deux stations adjacentes. La vérification des résultats se fait par comparaison des données reconstituées avec les données mesurées

La comparaison est à la fois statique (heure par heure) et dynamique (intervalle de temps court : 20s, 1mn ..). La comparaison statique (pour chaque variable) repose sur l'examen de l'écart quadratique moyen absolu. La comparaison dynamique consiste à examiner les courbes représentant les données mesurées et simulées.

B : Site et données

Sur la partie non concédée de l'autoroute de l'Ouest en direction de Paris, la zone allant du triangle de Rocquencourt au BP est régulièrement soumise à d'importantes

perturbations. Le tronçon de l'autoroute A13, retenu pour la validation de la reconstitution des données manquantes par modèle META, se situe en aval du triangle de Rocquencourt. C'est un tronçon homogène de trois voies équipé de trois stations de mesure (cf. Fig.7.3 ci-dessous).

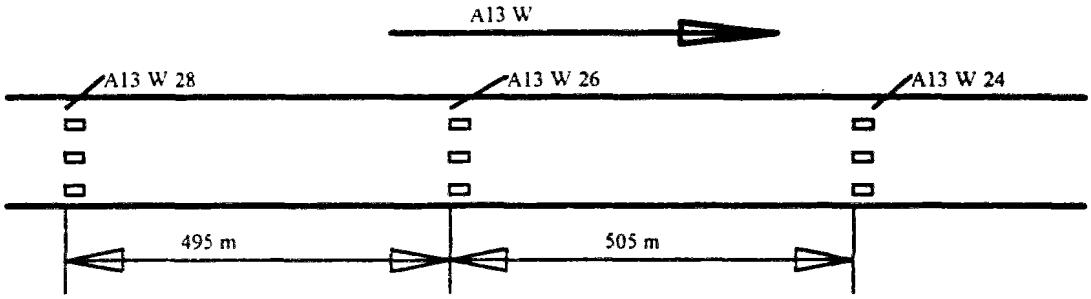


Fig.7.3 : Configuration du site retenu pour la validation de la reconstitution des données dynamiques

Dans un premier temps, on utilise META avec les données de la station A13 W 28 et de la station A13 W 24 pour simuler les données de la station A13 W 26. Ensuite, on compare les résultats de la simulation avec les données mesurées par cette station intermédiaire.

Pour ce tronçon, on dispose des données du 24/6/1992 (données vérifiées et validées dans le chapitre IV). Les données utilisées dans la simulation sont agrégées en données 1mn. La consultation du fichier de données, notamment sur le taux d'occupation, nous permet d'identifier les heures de pointe pour le 24/06/92, qui se situent entre 6h et 10h.

C : Préparation des paramètres du modèle META

Pour le tronçon étudié, parmi les 7 paramètres du modèle META, cinq restent à calibrer (V_f, C_{cr}, a, τ et ν). Les deux autres (δ et ϕ) n'ont pas d'influence sur les résultats de la simulation du fait de l'inexistence de bretelles d'entrée et de sorties, et de l'invariabilité du nombre de voies sur le tronçon pris en compte. En raison principalement du faible nombre de paramètres à calibrer (5 seulement), nous n'avons pas utilisé la méthode développée au chapitre V pour le calibrage des paramètres du diagramme fondamental afin d'obtenir un ensemble de paramètres optimisés par le programme de calibrage du modèle META.

On a utilisé la version de META pour micro-ordinateur développée par l'INRETS. Le temps de calibrage varie selon les paramètres d'initiation. Le calibrage de META sur

un micro-ordinateur 386/33 avec les données 1mn du 24/06/92 conduit donc aux valeurs numériques listées ci-dessous. Celles-ci s'appliquent pour un pas de temps de simulation de 10 secondes.

$V_f = 71.8$ km/h, $C_{cr} = 42.8$ véh/km/voie, $a = 2.0$;
$\tau = 0.0095$, $\nu = 35$.

La loi d'écoulement utilisée implique une capacité par voie correspondant à $\frac{V_f \cdot C_{cr}}{\sqrt{e}}$, soit: 1864 véh/h/voie.

D : Résultats de la simulation

La reconstitution du trafic par le modèle META est effectuée à partir des données du 24/6/1992 (avec les paramètres calibrés). Le tableau 7.2 donne les valeurs simulées et celles mesurées par la station A13 W 26.

Tableau 7.2 : Résultats de la simulation du 24/6/1992

Temps	Débit simulé (véh/h)	Débit mesuré (véh/h)	Ecart (véh/h)	Ecart quadratique
6h - 7h	5170	5244.	74.	833.
7h - 8h	5818	5846.	29.	1151.
8h - 9h	5947	5917.	-30.	1316.
9h - 10h	5650.	5640.	-10.	869.
10 h - 11h	5209	5204.	-6.	571.
Moyenne absolue	5559	5570.	30.	948.
Temps	TO simulé(%)	TO mesuré(%)	Ecart(%)	Ecart quadratique
6h - 7h	19.4	18.2	-1.2	4.6
7h - 8h	27	25.6	-1.4	7.5
8h - 9h	26.5	27.3	0.8	8.0
9h - 10h	21.6	23.4	1.8	9.6
10 h - 11h	11.9	11.3	-0.7	1.9
Moyenne absolue	21.3	21.2	1.2	6.3
Temps	Vitesse simulée (km/h)	Vitesse mesurée (km/h)	Ecart(km/h)	Ecart quadratique
6h - 7h	53.7	58.4	4.6	9.2
7h - 8h	38.8	46.6	7.8	14.1
8h - 9h	38.7	40.5	1.9	13.4
9h - 10h	46.2	47.3	1.1	14.7
10 h - 11h	73.1	78.2	5.1	7.2
Moyenne absolue	50.1	54.2	4.1	11.7

Ce tableau donne le comportement (statique) moyen du modèle META en matière de reconstitution de données. Le plus intéressant est de comparer minute par minute, la

réponse du modèle à des données mesurées en temps réel par la station intermédiaire (A13 W 26). La Fig.7 4 montre ces courbes.

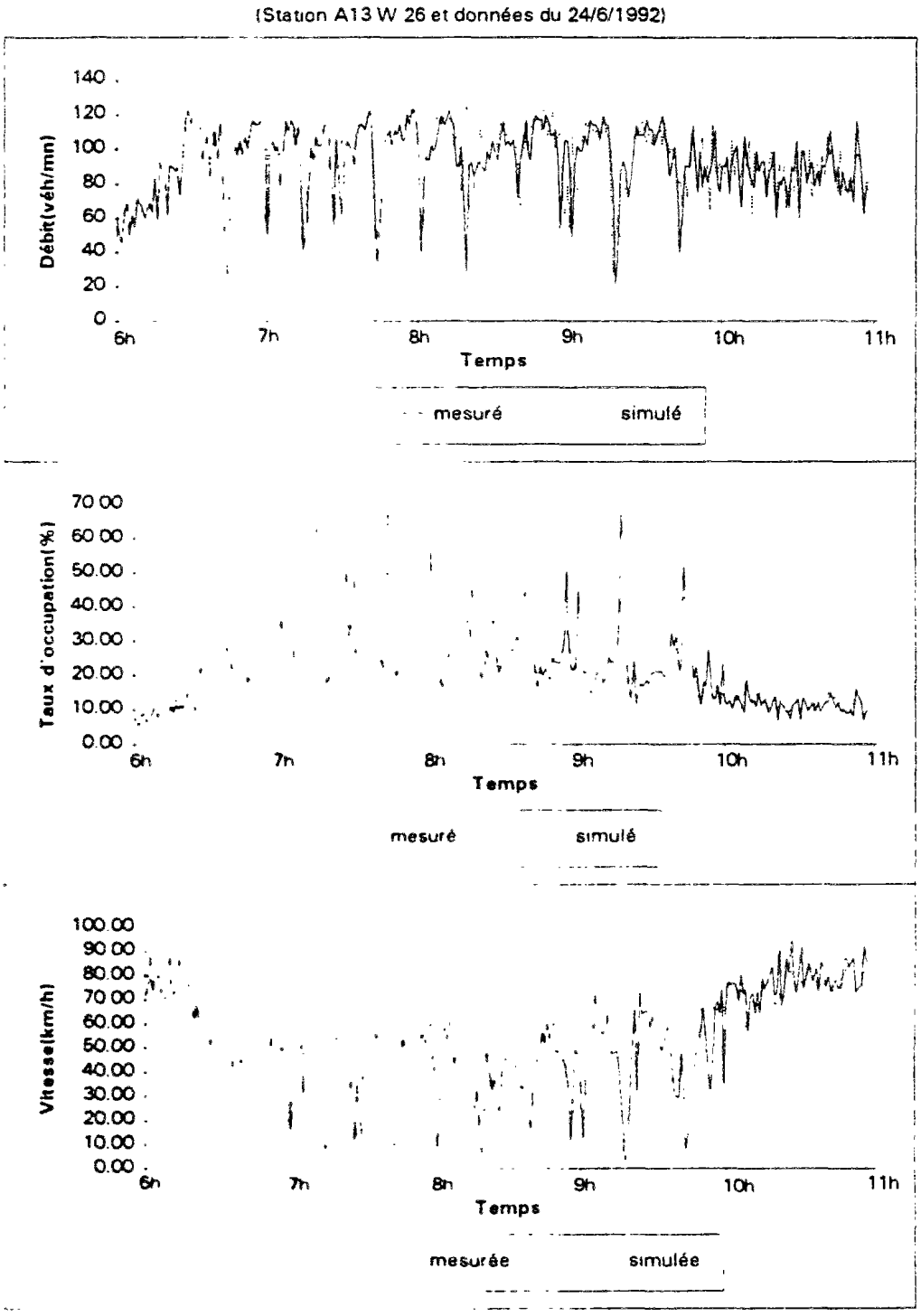


Fig 7.4 Resultats de la simulation du trafic par META

VII.3. ANALYSE CRITIQUE DES RESULTATS

VII.3.1. Analyse des résultats statiques de simulation (heure par heure)

Pour la variable "débit", des enseignements suivants ont été tiré :

De 6 h à 8 h, le modèle META sous-estime la variable "débit". De 8 h à 11 h, META surestime le débit. L'écart maximum entre débit mesuré et simulé est de 75 véh/h et l'écart minimum est de 6 véh/h. L'écart absolu moyen pendant la période de simulation est de 30 véh/h sur un débit moyen de 5570 v/h. L'erreur d'estimation est donc de 0.54% sur toute la période de simulation

Les résultats statiques montrent que l'écart entre le débit mesuré simulé aux heures de pointe est plus grand que celui aux heures creuses. L'écart quadratique moyen est élevé pendant l'heure de pointe. Ce phénomène s'explique par la variation locale du débit mesuré et simule Le fait d'avoir un trafic en accordéon ("stop-and-go") explique en partie les valeurs elevées de l'écart quadratique moyen du débit pendant les heures de pointe. Quand l'etat du trafic change fréquemment et brutalement, le modèle META prend souvent du retard dans la reconstitution du trafic.

Pour la variable "taux d'occupation", des constatations suivantes ont été effectuées :

L'écart entre le TO simulé et le TO mesuré est petit pour chaque heure. L'écart quadratique absolu moyen horaire est de 1.2% pour un TO moyen de 21.2%. L'erreur relative d'estimation est de 5.7% Ce pourcentage d'erreur est admissible dans les utilisations du TO En general, le modèle simule donc correctement le TO.

Pour la variable "vitesse":

L'erreur moyenne d'estimation sur la période de simulation (6 h à 12 h) est de 7.6%. Pendant l'heure de pointe, l'écart est plus important que pendant l'heure creuse. Il convient de noter que la vitesse mesurée est, en réalité, estimée à partir du débit, du taux d'occupation et de la longueur électrique (longueur moyenne des véhicules + longueur de boucle). La longueur moyenne des véhicules dépend de la composition du trafic (et en particulier de la presence de poids lourds). Actuellement, il est difficile d'obtenir cette information à partir des données mesurées. On prend souvent une valeur approximative.

Ainsi pour la simulation du 24/06/92 sur le site A13, la longueur moyenne adoptée pour les véhicules a été de 4.5m. La boucle mesure 1.5m de long.

A travers les résultats statiques de la simulation, on constate que META estime assez correctement débit, TO et vitesse moyen horaire. Cela confirme les résultats obtenus lors des applications précédentes.

Pour la simulation en temps réel (la reconstitution des données manquantes), il convient d'analyser et d'évaluer le comportement "microscopique" du modèle META.

VII.3.2. Analyse des résultats dynamiques de simulation (intervalle court: 1mn)

On va examiner qualitativement le comportement du modèle META à travers les courbes présentées Fig 7 4

Deux phénomènes sont constatés à propos du débit :

- Le débit simulé suit parfaitement les tendances du débit mesuré.
- Il existe un certain nombre de décalages dans le temps entre les maximums et minimums locaux des débits mesurés et simulés.

Visiblement, la variable du débit 1mn est reproduite d'une façon satisfaisante par META.

En ce qui concerne la variable "taux d'occupation":

Rappelons que la variable taux d'occupation est la plus importante parmi les trois variables reconstituées, et est largement utilisée dans la DAI et la DAB.

L'analyse des courbes de TO nous a permis d'établir que :

- Dans l'ensemble, les TO reconstitués suivent bien la tendance d'évolution des TO mesurés.
- Le modèle sous-estime quelquefois les maximums locaux et surestime les minimums locaux.

A propos de la vitesse:

Les courbes de la vitesse confirment que META reproduit assez fidèlement l'écoulement du trafic La vitesse simulée suit bien l'évolution de la vitesse mesurée. La

plupart du temps, le modèle META sous-estime la vitesse. Comme il a été expliqué précédemment, la vitesse dite "mesurée" n'est pas une variable mesurée directement sur le terrain. La valeur de la longueur moyenne des véhicules utilisée peut être à l'origine de cet écart systématique.

VII.3.3. Discussion

Il ressort des analyses précédentes deux points importants concernant la performance du modèle META:

Premièrement, META s'avère plus performant en statique (heure par heure) qu'en dynamique (1mn).

Deuxièmement, il reproduit plus fidèlement les états fluides du trafic que les états saturés. Mais qualitativement (cf. Fig.7.4), on peut considérer la reconstitution comme satisfaisante pour les deux types d'état.

Les résultats statiques acquis lors des applications précédentes de META et dans le cas précis de cette validation sur A13 confirment l'aptitude du modèle à reconstituer le trafic pour des applications en temps différé. Le modèle META peut donc être utilisé pour évaluer en temps différé les influences et les conséquences d'incidents (travaux, accidents etc.). Il peut aussi être utilisé pour comparer des stratégies de contrôle d'accès.

En nous fondant sur une évaluation purement qualitative, les résultats dynamiques sur le site de validation s'avèrent satisfaisants et laissent entrevoir d'intéressantes potentialités pour l'utilisation en temps réel du modèle META dans l'exploitation des RVR. Sa performance qualitative en débit, en TO et en vitesse dans le cas étudié justifie son application dans la DAI et la DAB. Mais l'utilisation en temps réel de ce modèle reste encore prospective On ne peut guère aller plus loin dans les résultats avec une validation sur un site unique et avec une quantité de données limitée. Il convient de poursuivre la validation et le développement du modèle META sur d'autres sites et avec de nombreuses données.

Par ailleurs, il sera intéressant de comparer les performances du modèle META pour la reconstitution des données manquantes à celles obtenues avec les algorithmes présentés chapitre VI (cf. VI.6.). Il s'agit de comparer les résultats en terme de localisation de bouchon obtenus avec les données reconstituées par le modèle META et par les algorithmes du chapitre VI. Compte tenu des contraintes de temps et des autres aspects à traiter, ce travail n'a pas pu être réalisé dans le cadre de cette recherche.

APPORTS ET ENSEIGNEMENTS DE LA DEUXIEME PARTIE

1. Apports des outils de vérification des données

Dans les systèmes compliqués d'exploitation des RVR, le recueil et le traitement des données représente un problème majeur. Ils apparaissent comme le maillon faible de la chaîne d'information dynamique des usagers[1]. En effet, on remarque fréquemment (estimé à plus de 30% du temps) que les PMV sont inutilisés par suite de dysfonctionnements du RAD, ce qui nuit à la confiance des usagers vis-à-vis du système d'information. Il y a donc un défi pour le SIER d'obtenir un RAD performant, constituant à l'évidence une priorité pour les autres systèmes de gestion en Ile-de-France comme à l'étranger.

En partant du constat que tous les systèmes modernes d'exploitation ne disposent pas d'outils appropriés de vérification des données, les trois outils développés au chapitre IV ont apporté d'abord un apport méthodologique à ce problème d'ingénierie de trafic. Cet apport méthodologique correspond en partie à l'attente des exploitants et ouvre de nouvelles voies d'amélioration des RAD. A l'aide de ces outils, les exploitants des RVR peuvent envisager le contrôle systématique des données issues des dispositifs de recueil automatique et d'identifier les dysfonctionnements du RAD.

Au delà des enseignements méthodologiques qu'apporte ce travail, les enseignements sur leurs applications nous paraissent ici devoir être soulignés.

Ces outils seront utilisés pour qualifier en temps différé des données dans la constitution d'une base de données statistique [SIER, 1994a], et les dysfonctionnements du RAD seront identifiés systématiquement.

[1]Selon une étude réalisée par J. LE NY en 1992, le taux de défaillance du RAD de système SIRIUS est de 142 pour un million d'heures de bon fonctionnement [LE NY, 1992].

Ensuite, ces outils pourront être introduits progressivement au sein du système informatique de SIRIUS pour qualifier en temps réel les données afin d'assurer leur fiabilité dans la phase suivante de traitement, et donc dans interprétation des conditions de circulation.

2. Apports de l'outil de calibrage des paramètres du diagramme fondamental

Rappelons que le diagramme fondamental est de plus en plus utilisé dans l'exploitation des RVR Outre l'apport méthodologique portant sur la détermination des paramètres du diagramme fondamental à partir des données mesurées, la méthode proposée au chapitre V constitue un outil facile, rapide et pertinent, à la disposition de l'exploitant.

Par rapport aux méthodes de calibrage existantes, celle proposée au chapitre V présente un intérêt important en temps de calcul et en précision. Par exemple, sur un micro-ordinateur, le calibrage des paramètres du diagramme fondamental pour une dizaine de stations par BOX nécessite plusieurs heures de calcul, contre quelques minutes seulement avec cette nouvelle méthode, cela représente un gain important pour les spécialistes du SIER lors des études

On prévoit trois types d'application de cet outil pour la gestion des RVR.

Premièrement, l'exploitant peut obtenir les paramètres du diagramme fondamental de toutes les stations de mesure En effet, ces paramètres sont indispensables pour la plupart des études de trafic, en particulier pour la détermination des capacités. L'évaluation du fonctionnement de chaque section d'autoroute peut se faire à travers les courbes théoriques issues des calibrages des paramètres du diagramme fondamental. D'après la distribution du nuage de points par rapport à cette courbe, on peut vérifier à la fois la fiabilité des données et l'écoulement du trafic en cette section.

Deuxièmement, cet outil de calibrage rend possible l'application des modèles de simulation et de prévision du trafic. En général, ces derniers ont besoin des paramètres du diagramme fondamental Les résultats du calibrage peuvent alimenter des modèles de simulation en temps différé, en vue de l'étude des conséquences des accidents et des travaux sur les conditions de circulation. Ceci peut être utilisé pour la programmation

des chantiers et pour la définition des stratégies d'exploitation en cas d'accidents. Des gains substantiels peuvent être obtenus dans ces domaines.

Enfin, les résultats du calibrage peuvent être utilisés en temps réel pour remplacer des données aberrantes. Ce remplacement a pour objectif d'assurer les fonctions d'exploitation telles la DAI et la DAB. Suite à l'étape de vérification des données fondée sur l'examen des cohérences entre le débit, le TO et la vitesse, les valeurs qualifiées "fausses" seront remplacées par les valeurs "théoriques" obtenues à partir du diagramme fondamental correspondant.

Il convient de souligner que le champ d'application de cet outil ne se limite pas aux tâches mentionnées ci-dessus. Cette méthode de calibrage s'avère utile partout où le diagramme fondamental est nécessaire.

3. Apports du développement de la DAB

1). Limites de la DAB du système SIRIUS

Dans le système SIRIUS, le fonctionnement de la DAB s'appuie directement sur les données mesurees en temps reel La performance du RAD conditionne donc largement ce fonctionnement Etant donnés les problèmes du RAD soulignés précédemment, la DAB du système SIRIUS connaît certaines difficultés : nombre important de fausses alarmes (en particulier la nuit), non détection de bouchons, voire non fonctionnement de la DAB sur un tronçon d'autoroute de plusieurs kilomètres de longueur pendant plusieurs jours.

D'une manière générale, dans l'état actuel des choses, la DAB de SIRIUS n'est pas en mesure de détecter et de suivre en temps réel toutes les perturbations du réseau. Ceci a des conséquences directes pour une exploitation opérationnelle. Deux cas de figure sont à prendre en considération D'une part, pour les sections équipées de système de surveillance par caméra, lors du dysfonctionnement de la DAB, l'opérateur peut estimer et afficher personnellement la longueur de bouchon. Mais dans les zones non couvertes par des caméras de surveillance, en cas de dysfonctionnement de la DAB, les PMV n'affichent aucun message, ce qui nuit à l'objectif de sécurité. En outre, des PMV éteints diminuent la crédibilité du système d'information aux yeux des usagers.

Même dans le premier cas de figure, l'observation directe de bouchons par l'opérateur pour la composition des messages de PMV n'est pas satisfaisante : d'un côté,

la charge du travail de l'opérateur augmente considérablement, et si plusieurs bouchons se produisent simultanément (et c'est souvent le cas aux heures de pointes), l'opérateur n'arrive plus à les suivre correctement avec une précision suffisante; certains bouchons peuvent échapper aux opérateurs et ne pas être signalés aux automobilistes. D'un autre côté, l'opérateur peut ne plus avoir le temps d'effectuer la remise à jour des messages. En conséquence, des messages affichés sur PMV peuvent alors ne plus correspondre à l'état de la circulation perçu par les automobilistes.

Il apparaît donc que l'amélioration de la performance de la DAB constitue une nécessité absolue pour réserver ou améliorer la crédibilité du système d'information, qui rappelons-le, constitue le coeur du système SIRIUS. Cette amélioration doit reposer non seulement sur une meilleure maîtrise du RAD, mais aussi sur des algorithmes plus robustes. D'ailleurs, il est indispensable de pouvoir toujours détecter les bouchons en mode de fonctionnement dégradé du RAD (stations en panne et nombre insuffisant de stations).

2). Proposition visant à améliorer la performance de la DAB

Afin d'améliorer la performance de la DAB dans le système SIRIUS, on propose les mesures suivantes :

- Renforcer la maîtrise du RAD,
- Intégrer la DAB developpée au chapitre VI dans le système d'exploitation.

L'intégration de la DAB étudiée au chapitre VI (confirmation du début et de fin de bouchon + algorithme de base + lissage spatial) constitue en effet une voie d'amélioration du fonctionnement de la DAB

A : Performance de la DAB développée

L'analyse des résultats de l'application de la DAB développée montre :

- la rapidité de détection des bouchons,
- la robustesse de l'algorithme f(TO) avec des seuils fixes,
- le maintien à un niveau admissible du taux de fausses alarmes (6 fausses alarmes pour 10 jours de tests)

A souligner que la DAB développée voie par voie présente un avantage particulier en cas de dysfonctionnement d'une station possédant au moins un capteur fonctionnant normalement. D'après le principe de RAD de SIRIUS, les mesures d'une station sont constituées à partir de celles de chaque capteur. A une station, chaque voie est équipée d'un capteur. S'il y a toujours au moins un capteur en fonctionnement normal, la DAB voie par voie peut toujours fonctionner.

B : Recommandation de la DAB pour le système SIRIUS :

Compte tenu objectifs d'exploitation et de l'importance de la DAB dans le système SIRIUS, nous proposons les recommandations suivantes :

- Dans l'optique d'un renforcement de sécurité, il est nécessaire d'appliquer une DAB voie par voie.

- Pour rendre l'affichage des messages de bouchon sur PMV cohérent et efficace, le lissage spatial est une étape indispensable.

- L'algorithme de détection des bouchons le mieux adapté se fonde uniquement sur le TO.

- Pour éviter les fausses alarmes liées aux changements fugitifs d'états de trafic, l'application de l'algorithme doit s'accompagner d'une confirmation lors des "basculements" d'états de trafic (S3 et S4). D'après les résultats de tests effectués au chapitre VI (cf VI.5.3), pour l'algorithme f(TO), la combinaison avec S3=3 fois 20s et S4=3 fois 20s apparaît être optimale.

Une rapidité de détection accrue va permettre une information plus rapide des automobilistes sur les bouchons qu'ils vont rencontrer, particulièrement importante pour aider à réduire les accidents de queue de bouchon. Les informations données par PMV permettent aux conducteurs d'ajuster leur comportement (ralentir) au moment opportun. La DAB proposée amène indiscutablement un gain potentiel sur le nombre d'accidents et leur gravité

3). Améliorer la performance de la DAB en mode dégradé du RAD

A : Contexte

Les modes dégradés du RAD pris en considération sont : stations non successives en panne et densité insuffisante de RAD. Par mesure économique, l'installation des équipements sur la Francilienne (troisième rocade du RVR d'Ile-de-France) est moins dense. En terme d'exploitation, ceci pose quelques difficultés de DAB. Le problème qui se pose revient à la détermination en temps réel de la longueur des bouchons entre deux stations distantes (cf. VI 6).

B : Une voie à suivre

Les deux méthodes proposées au chapitre VI dans cette deuxième partie constituent les tous premiers éléments de réflexion en matière de localisation de bouchons entre deux stations distantes. L'une des deux méthodes est fondée sur la loi de représentation en deux états. L'autre est bâtie sur la théorie des ondes de choc. Les résultats des tests ont montré que ces deux méthodes offrent des performances voisines, avec néanmoins un léger avantage par la seconde méthode (fondée sur la théorie des ondes de choc). Il est cependant possible toutes les deux.

Néanmoins, il convient de les tester et les valider avec un plus grand nombre de données. Si le "taux de réussite" se maintient ou s'accroît, l'application dans SIRIUS est pertinente comme complément de la DAB préconisée plus haut.

En outre, compte tenu des contraintes informatiques, la seconde méthode est préférable car elle nécessite moins de calculs que la première.

Dans la logique de modélisation de SIRIUS, la détermination de la longueur de bouchon entre deux stations distantes pourrait être conçu comme un module de la DAB. Ce module serait appelé en permanence pour les tronçons les moins équipés de RAD (autoroute A104 par exemple) et pour les sections bien équipées, dans les cas de stations non successives en panne. Dans ce dernier cas, l'utilisation de ce module serait associée aux résultats de contrôle de fonctionnement du RAD. Concrètement, lorsqu'une station est détectée en panne et ses stations adjacentes en fonctionnement normal, ce module de détermination sera activé automatiquement par le système.

4. Apport des outils de simulation

Le chapitre VII a notamment porté sur l'application du modèle META. Il a été appliqué, en temps différé, à l'étude de différentes situations, sur les autoroutes A4, A86 et A3, ainsi qu'à une tentative de prévision de trafic sur autoroute A1, raccordée aux autoroutes A16 et A86 nord [BRIGNON, 1991].

A partir de l'analyse des résultats obtenus lors des applications antérieures du modèle META, nous avons essayé d'utiliser ce modèle pour reconstituer les données manquantes dans une perspective d'utilisation en temps réel. Il ressort de notre évaluation (purement qualitative et avec des données limitées) que le modèle META pourrait être utilisé en temps réel pour simuler des données lorsqu'une station est tombée en panne. Néanmoins, il convient d'effectuer d'autres validations se fondant sur des critères quantitatifs afin d'assurer une performance suffisante de ce type d'application.

Le modèle META est d'ores et déjà en mesure d'apporter des réponses précieuses à l'exploitation des RVR en ce qui concerne la simulation de l'aménagement du réseau, la programmation des chantiers et la gestion du trafic lors de chantiers, la gestion des accidents et la régulation des accès Il s'agit essentiellement d'utilisation en temps différé. Certains scénarios d'utilisation du modèle META seront exploités au chapitre IX.

5. Conclusion de la deuxième partie

En renforçant les pratiques actuelles de contrôle des données, l'application de ces outils développes au chapitre IV, jumelée avec des efforts organisationnels de maintenance peut permettre la constitution d'une base de données statistique fiable pour l'ensemble du réseau maille de voies rapides à l'échelle régionale. Cette base de données permettra à son tour une meilleure connaissance du fonctionnement du RVR et une utilisation des outils de simulation dans les activités d'exploitation (simulation des accidents et des chantiers par exemple). A long terme, l'application en temps réel des outils de vérification des données pourra permettre un meilleur fonctionnement des algorithmes de DAI et DAB et une utilisation en ligne des outils de simulation afin d'aider l'opérateur à mettre en place des stratégies d'exploitation, sachant que d'après notre étude bibliographique au chapitre III (cf. III.3.), jusqu'à présent, l'insuffisance des données en terme de quantité et de qualité est une des causes principales de la non utilisation des modèles de simulation dans la pratique d'exploitation des RVR.

L'amélioration de la fiabilité des données peut déboucher sur de nouvelles stratégies d'exploitation en matière d'information dans la mesure où une base de données fiable permettra de calculer les indicateurs plus pertinents tel le temps de parcours. Ce dernier est indispensable pour le développement des systèmes embarqués qui feront sans doute partie des nouvelles stratégies d'exploitation des RVR dans les années à venir.

Les perspectives énoncées suscitent une question : comment ces outils doivent-ils s'insérer dans le système technique et organisationnel actuel pour atteindre les effets attendus? La réponse implique une analyse fine de l'organisation tant technique qu'organisationnelle du SIER.

Les outils de vérification des données ne permettent pas toujours d'avoir des informations précises sur les causes des dysfonctionnements du RAD. Il s'avère donc indispensable d'organiser les services concernés par les données afin d'assurer une meilleure efficacité de diagnostic et de maintenance du RAD; sinon on ne sera pas en mesure de dégager les avantages pratiques que peuvent permettre ces outils.

Pour les systèmes d'information routière par panneaux à messages variables, deux stratégies sont possibles donner aux usagers des informations de "confort" (temps de parcourt) ou des informations de "sécurité" (existence, position et longueur de bouchon). Avec le système SIRIUS, le choix a été fait de privilégier la sécurité. Ce choix est plus exigent en termes d'equipements (une information précise dans le temps et dans l'espace implique une densité plus grande de stations de mesure : tous les 500 mètres), de fiabilité et de maintenance de ces équipements Plus il y a de stations de mesure, plus le RAD est difficile à maîtriser

Ce choix politique de donner des informations de sécurité sur le RVR d'Ile-de-France est donc un choix coûteux pour l'Etat et difficile pour le SIER, chargé de le construire et de l'exploiter Donner aux usagers des informations de confort est moins coûteux (moins de stations) et moins difficile à mettre en oeuvre. Aussi, dans le choix qui a été fait, la difficulté de maîtrise du RAD a peut-être été sous-estimée.

Si aujourd'hui, les données permettent difficilement le bon fonctionnement des PMV qui délivrent une information collective et générale, elles seront un grand handicap pour le développement des futurs systèmes embarqués, aujourd'hui au stade expérimental, qui exigent un niveau plus élevé de fiabilité des données. Tout cela nous amène à penser que la maîtrise du RAD doit faire l'objet d'un traitement particulier lors de la mise en place et l'exploitation opérationnelle des systèmes d'exploitation de type SIRIUS.

Le système SIRIUS est déjà en place, la maîtrise du RAD sur ce réseau maillé de 500 km est une tâche complexe et difficile. En plus des outils que nous avons développés dans cette deuxième partie, l'effort doit encore consister à :

- renforcer les études et les relations entre les unités d'études et les unité d'exploitation,
- renforcer la maintenance et les relations entre les services de maintenance et les unités d'exploitation.

Il ressort de cela l'importance des aspects organisationnels liés au développement des systèmes d'information Ces aspects organisationnels seront traités dans la troisième partie.

Troisième Partie

Analyse des aspects organisationnels et éléments de réflexion pour la définition de politiques d'exploitation des RVR

Chapitre VIII :

L'ORGANISATION INTERNE DU SIER

L'exploitation du RVR d'Ile-de-France a fait l'objet d'une présentation et de premières analyses au chapitre I. Gestionnaire du trafic sur ce réseau, le SIER, depuis sa création, est porteur du projet SIRIUS. Ce projet est complexe car il associe la mise en place d'infrastructures d'information sur des territoires étendus[1], et l'intégration de technologies de pointe[2], à des aspects socio-économiques et psychologiques[3], son objectif final etant d'obtenir un meilleur fonctionnement du réseau et d'améliorer le service rendu à l'usager

De la bonne articulation entre ces différentes dimensions dépend pour une part importante le succes de SIRIUS et l'efficacité de l'exploitation du RVR. Le SIER se devait de s'adapter aux differentes etapes du projet (la mise en oeuvre opérationnelle de SIRIUS, son exploitation et son évolution), et de répondre à des contraintes opérationnelles fortes tout en offrant un puissant potentiel d'études.

C'est pourquoi, il etait necessaire de concevoir des schémas organisationnels novateurs à la fois operationnels et fortement évolutifs. Le présent chapitre vise à préciser les élements de l'evolution de l'organisation du SIER dans le cadre de l'exploitation operationnelle du systeme SIRIUS[4].

L'un des problemes rencontres dans l'exploitation du RVR d'Ile-de-France réside dans le RAD. Celui-ci, nous l'avons vu est essentiel pour l'efficacité de l'exploitation de ce réseau. Les outils developpes au chapitre IV ont apporté une réponse au besoin

---

[1]à l'échelle de la region

[2]systèmes embarqués, simulation, etc

[3]problème notamment de comportement des conducteurs par rapport à l'information qui leur est dispensée.

[4]Le contenu de ce chapitre s'appuie pour partie sur une recherche d'accompagnement à la redéfinition de l'organisation du SIER en 1991 et 1992, recherche dont l'auteur du présent mémoire est un des auteurs.

méthodologique de contrôle des résultats du RAD. La maîtrise du RAD sur un réseau maillé de 500 km de voies rapides est une tâche complexe et difficile. Elle implique plusieurs acteurs internes et externes du SIER et nécessite des efforts communs. Pour être efficace, la maîtrise du RAD doit s'appuyer sur des procédures de contrôle et de maintenance. L'un des objectifs du présent chapitre consiste à analyser ce problème de RAD et à faire des propositions afin d'améliorer sa performance.

VIII.1. ORGANISATION DU SIER ET SON EVOLUTION

VIII.1.1. Organisation du SIER depuis sa création

A : Les missions du SIER

La principale mission du SIER est l'exploitation du réseau de voies rapides (RVR) d'Ile-de-France (cf. Annexe n° 4) En plus de sa mission principale, le SIER constitue un pôle de compétence regional en matière de circulation routière. Ses domaines d'intervention concernent

- les études de trafic,
- l'information routiere,
- la signalisation routiere,
- la sécurité routière

Ce service a été crée en septembre 1988 pour prendre en charge l'ensemble des missions nouvelles confiées à la DREIF, par le décret n° 88-472 du 28 avril 1988 et la circulaire n° 88-96 du 24 novembre 1988 (cf. Annexe n° 1 et n° 5). Ces textes qui ont réorganisé l'exploitation des voies rapides en Ile-de-France, ont attribué à la DREIF la responsabilité d'appliquer dans la région, sous l'autorité des Préfets de sa circonscription, la politique d'exploitation des autoroutes et voies assimilées définies par arrêté ministériel.

Dans le cadre de sa mission principale, l'action essentielle du SIER réside dans la conception, la réalisation et la mise en oeuvre de l'ensemble des équipements et systèmes de gestion du trafic sur ce réseau, et notamment du projet SIRIUS.

Après une phase "Etude" (1987-1988), ce projet est entré en 1989 dans une phase plus lourde d'installation des équipements et de mise en oeuvre sur le terrain. Cette phase

de réalisation, inscrite dans le contrat de plan Etat-Région (1989-1993), a permis d'équiper les parties Est, Nord et Sud du réseau.

Parallèlement à la mise en oeuvre opérationnelle de ces équipements, le SIER est chargé, à la lumière de l'expérimentation en vraie grandeur ainsi engagée, de préciser une définition plus achevée du système et des stratégies d'exploitation du réseau que rendra possible, dans la perspective du maillage du réseau de voies rapides dans l'Ouest parisien, la réalisation complète de l'infrastructure de gestion informatisée.

B : Les problèmes spécifiques de la gestion des voies rapides

La mise en oeuvre opérationnelle du système SIRIUS s'articulait autour de quatre domaines essentiels [SIER, 1990] :

1. La mise au point des stratégies d'exploitation à partir des connaissances acquises, il s'agissait principalement dans cette phase de mettre au point des algorithmes de détection automatique d'incidents ou de bouchon (DAI et DAB), de définir une typologie des situations de trafic ainsi qu'une politique globale d'affichage des panneaux à message variable (lexique et syntaxe des messages) et d'utilisation au niveau stratégique des contrôles d'accès

2. L'aménagement des quatre PC existants avant la création du SIER[5], avec pour chacun une salle d'exploitation unique (partagée avec les CRS) ainsi que la création de salles techniques permettant d'accueillir SIRIUS.

3. La mise en oeuvre des équipements de terrain (1989-1993) : il s'agissait aussi bien de la réalisation des équipements complémentaires optimisant les réseaux d'information existants, de maniere a permettre d'ores et déjà la constitution des zones d'essais en vraie grandeur, que de donner suite, avec l'entreprise retenue, à l'appel d'offres engagée pour les nouveaux équipements SIRIUS

4. La mise en place du systeme de gestion informatique : une première version du système (recueil et analyse des données) a été installée depuis fin 90 au P.C. des Ratraits. Le système complet a été ensuite transféré aux PC de Saint-Denis (janvier 1993) et PC d'Arcueil (novembre 1993). Le PC de Boulogne sera équipé du même type de système en juin 1996.

[5]PC des Ratraits, PC de Saint-Denis, PC d'Arcueil, PC de Boulogne.

C : La situation organisationnelle du service au début 1991

Pour préciser la nature des problèmes posés, il n'est pas inutile de rappeler ici la situation de l'organisation du SIER au début de la présente recherche. Le SIER, qui comptait environ 130 personnes, était découpé en deux groupes : Groupe Opérationnel et Groupe Etudes, eux-mêmes subdivisés en unités correspondant à des fonctions particulières (voir Fig.8.1 : l'organigramme du SIER) [SIER, 1990a] :

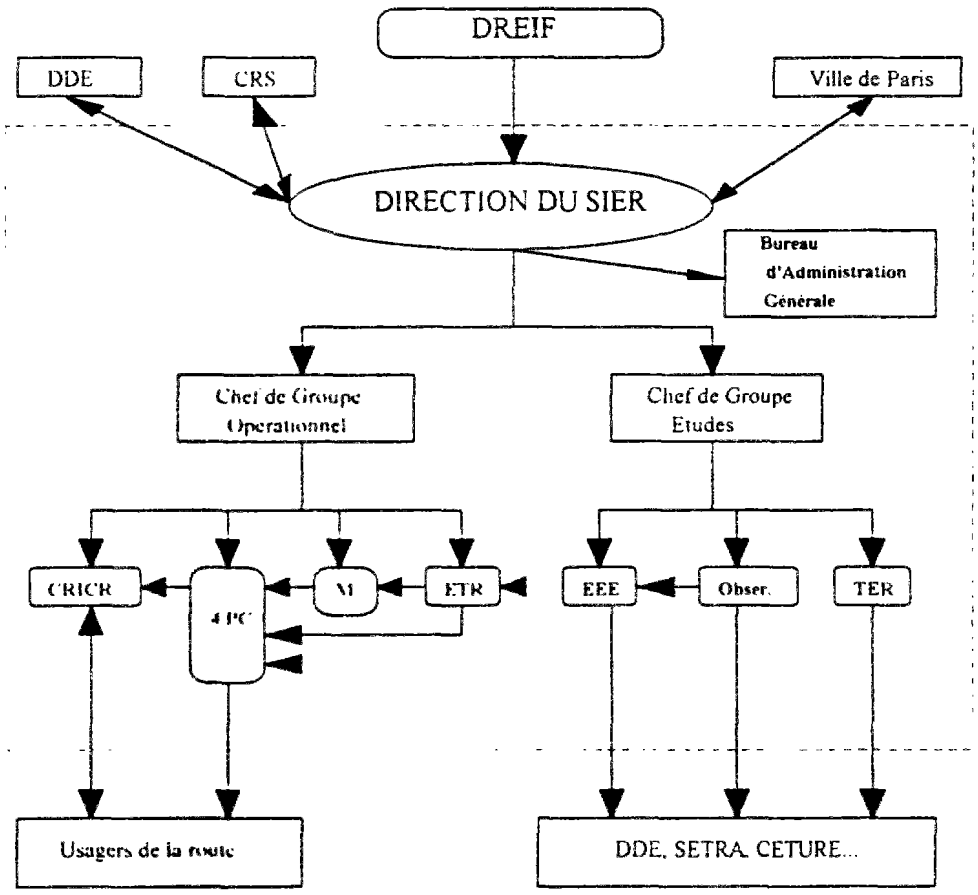


Fig.8.1 : Schéma organisationnel du SIER (début 1991)

Le Groupe Opérationnel

L'activité de l'ensemble de ce groupe, était centrée sur la mise en place de l'infrastructure de gestion informatisée pour l'exploitation des voies rapides. Il comprenait sept unités :

- les quatre unités (4 PC) chargées de gérer, en collaboration avec les Compagnies Républicaines de Sécurité (CRS) du Groupe N°1, les quatre Centres

interdépartementaux d'exploitation de secteur : Saint-Denis, Champigny-Les Ratraits, Arcueil et Boulogne;

- les deux unités responsables de la conception, de la réalisation et de la maintenance des équipements et systèmes de gestion du trafic : "Etudes et Travaux de Régulation (ETR)" et "Maintenance (M.)".
- la division "Transport" du Centre Régional d'Information et de Coordination Routière (CRICR) de Créteil[6], elle-même élément du réseau national des Centres d'Information Routière. A ce titre, elle dépend de la Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière, et attachée au SIER lors de sa création par souci de cohérence de l'ensemble des moyens d'information et de régulation du trafic à l'échelle régionale, mais dont l'intégration opérationnelle restait à réaliser.

Le Groupe Etudes

Trois Unités constituaient le Groupe Etudes :

- L'Unité "Etudes d'Exploitation et d'Equipement (EEE)", plus particulièrement chargée des études liées à l'exploitation des voies rapides et notamment de la conception et de l'évaluation des mesures d'exploitation.
- Les deux autres Unités : "Observatoire Régional de Circulation et Sécurité Routière (Obser)", et "Techniques et Equipements de la Route (TER)", ont un domaine de compétence qui dépasse le strict cadre des voies rapides. Elles ont en effet pour mission de constituer un pôle régional de compétences techniques en matière d'exploitation routière et, à ce titre, réalisent un certain nombre de prestations de type CETE[7].

Les activites d'exploitation du Groupe Opérationnel sont principalement organisées autour des quatre PC, qui ont été rénovés dans le cadre du projet SIRIUS, afin d'être prêts à accueillir le nouveau système d'exploitation. En septembre 90, deux PC (Sud et Est) ont déjà fonctionné 24h/24 et 7 jours/7. La gestion des PC a été décentralisée, et placée sous l'autorite du Chef du PC La coordination des PC se fait par l'intermédiaire du chef du groupe Opérationnel, et donc, compte tenu des charges de travail du chef de groupe, intervient essentiellement en temps différé.

---

[6]Le CRICR est un organisme interministériel dans lequel sont regroupés des personnels : du Ministère de l'Intérieur. Direction Générale de la Police Nationale, représentée par la direction de la Police Territoriale; du Ministère de la Défense, représenté par la Direction Générale de la Gendarmerie Nationale; du Ministère de l'Equipement, représenté par la Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière (DSCR) Le CRICR de Créteil a été créé en 1980, dont le domaine de compétence s'étend sur les régions Ile-de-France et Centre

Les personnels d'un même Ministère constituent une Division. Les personnels du CRICR relèvent administrativement de leur hiérarchie propre.

[7]Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement.

En ce qui concerne les outils d'exploitation, les moyens utilisés sont principalement pour ce qui est du système d'information des opérateurs des PC, le réseau de boucles magnétiques en cours de mise en place et les caméras de surveillance, et pour ce qui est des outils de "commande", les panneaux à messages variables (PMV) et les contrôles d'accès. Ces derniers ne fonctionnent qu'aux heure de pointe du matin.

Les opérateurs d'exploitation travaillaient de manière essentiellement empirique. Ils connaissent à peu près les caractéristiques du trafic sur leur secteur de surveillance. Par exemple, ils savent les endroits où il y a souvent des bouchons, la longueur des bouchons et la queue des bouchons A noter cependant que chaque PC dispose d'un synoptique d'états de trafic permettant la visualisation des bouchons. Le synoptique est informé par les données mesurees Mais à l'epoque en raison du nombre très limité de stations de mesure, le synoptique ne pouvait pas fournir des informations précises pour la composition automatique des messages à afficher sur les PMV. Les opérateurs composaient donc manuellement les messages à partir des observations directes de trafic par des cameras

Il est evident que la maintenance des équipements d'exploitation joue un rôle important pour le meilleur fonctionnement des PC. Pour cette raison, la présence des agents de l'Unité de Maintenance dans chaque PC est permanente. L'appui direct de la maintenance sur le terrain joue le rôle de l'assistance technique. Les agents de maintenance assurent le diagnostic et le contrôle des équipements et garantissent la continuite de l'exploitation Toutefois, ils ne travaillent que les jours ouvrables; les pannes des équipements intervenues pendant la nuit doivent attendre l'aube pour être traitées.

Qu'il s'agisse de maintenance preventive ou curative, une part importante de l'activité de l'unite de Maintenance consiste dans la gestion de la sous-traitance des interventions à des sociétes privees Par exemple, au PC de Saint-Denis, il y a trois personnes de maintenance appartenant a une entreprise privée qui maintiennent en bon état opérationnel l'ensemble des equipements mis en place par leur entreprise. En utilisant des moyens informatiques, l'Unite de Maintenance a développé en 1989 la cartographie des équipements d'exploitation sur le terrain pour l'ensemble de la région parisienne. Cet outil aide les agents dans leurs tâches de diagnostic et de réparation ainsi que rendre la maintenance des equipements plus rapide et plus efficace.

L'Unité d'Etudes et Travaux de Régulation (ETR) se divisait en trois cellules : la cellule Equipements Dynamiques, la cellule Informatique et la cellule Travaux. Les

hommes de cette Unité sont les hommes de travaux de SIRIUS. Ils s'occupent de la mise en place des équipements dynamiques. Dans la première phase, 80% de leur mission ont porté sur la réalisation de SIRIUS

Le CRICR effectue le recueil, le traitement et la diffusion des informations auprès des médias de la circulation en région Ile-de-France. Le CRICR fait la synthèse de l'état du trafic en temps quasi-réel[8] pour l'ensemble des voies rapides de la région (y compris le boulevard périphérique).

Le Groupe Etudes remplit les tâches d'études et de prospective du Service. Le rôle de l'Unité d'Etudes d'Exploitation et d'Equipements (EEE) est de définir la stratégie d'exploitation des voies rapides. Mais dans cette Unité, les études stratégiques et l'avis-conseil intégré sont quelque peu abandonnés. Les études de caractère opérationnel ne sont pas effectuées systématiquement et de manière continue, faute d'une liaison suffisante avec le Groupe Opérationnel. De plus, il manque des études plus approfondies ou à plus long terme pour constituer un véritable support pour la mise en oeuvre d'une politique d'exploitation cohérente

L'Unité de l'Observatoire Regional de Sécurité Routière assure une partie des études de type CETE de la région Elle publie périodiquement les statistiques du trafic. Elle offre de mini banques de données et des programmes spécifiques aux études engagées par l'Unité EEE Elle réalise aussi des analyses statistiques permettant de répondre aux besoins de l'Unité EEE. Il convient toutefois de signaler ici que, dans le même temps, elle fait de moins en moins de services de type CETE.

Par contre, l'Unite de Techniques et Equipements de la Route effectue le travail de CETE. Elle travaille avec differents réseaux nationaux à la demande des DDE.

D : Analyse

L'organisation du SIER telle qu'elle se présentait alors, est une organisation centralisée et cloisonnee Elle a pour principe de grouper des activités opérationnelles et des activités d'études en deux sous-systèmes, sans véritable liaison entre eux. Une telle organisation fonctionnelle ne prend son efficacité qu'en état stable, mais elle manque de flexibilité strategique et structurelle, et correspond mal à la gestion d'un processus d'informatisation De plus, elle a le gros inconvénient de séparer de manière trop radicale

[8]L'opérateur de la Division "Transport" faisait la mise à jour des conditions de circulation (bouchons, accidents, travaux, etc.) à partir des informations transmises par les différents PC.

le groupe "Etudes" des divisions opérationnelles, avec le double risque pour les ingénieurs et les techniciens de ce groupe de ne pas disposer des éléments d'information nécessaires à la conduite des Etudes et de ne pas répondre aux besoins opérationnels.

Dans cette organisation, la fonction de maintenance souffre également d'un manque d'autonomie, ce qui la prépare mal aux tâches plus larges qui seront inévitablement les siennes avec la mise en oeuvre opérationnelle du système SIRIUS. De plus, les fonctions correspondant au développement de l'outil informatique au sein du Service sont elles-mêmes dispersées entre plusieurs unités et sous dimensionnées, ce qui constitue clairement un obstacle à la phase dans laquelle le Service va s'engager.

Corrélativement, le fonctionnement du service ne se fondait pas sur un réseau d'information bien conçu . la circulation de l'information verticale était rapide, mais l'information horizontale passait difficilement, transitant le plus souvent par la Direction du Service, ce qui constituait une lourdeur a priori peu compatible avec des tâches d'exploitation. En bref, il n'existait pas d'échanges d'information réguliers entre les différentes unités du service Les problèmes de la coordination des PC et de l'intégration du CRICR au sein du SIER en constituaient une illustration.

VIII.1.2. La Définition d'une nouvelle organisation

Les causes de la situation qui vient d'être décrite sont à rechercher dans la manière dont a été constitué le SIER En effet, lorsque le SIER a été créé en septembre 1988, il a été composé des anciens effectifs de l'arrondissement d'Exploitation des voies rapides au sein de la DREIF En simplifiant, le SIER était la transformation et l'élargissement de cet ancien Arrondissement Ce dernier se composait des 4 PC, d'une unité de maintenance et d'une unité d'études Les effectifs avaient leurs habitudes de travail et leur culture propre qui ne les préparaient pas necessairement aux nouvelles missions, tout ceci renforçant la nécessité d'une nouvelle organisation [LATERRASSE et al., 1994].

A : Objectifs et contraintes du Service

En 1991, la mission première du Service était de réussir le projet SIRIUS avec les équipements existants ou en cours de mise en place; l'ensemble de la structure du Service devait donc permettre d'optimiser les outils dont on dispose en veillant :

– à assurer l'opérationnalité de ces outils,

- à donner au service une démarche "exploitation" et à assurer une maîtrise progressive du réseau,
- à avoir la capacité de faire évoluer le système en temps opportun, notamment en fonction de la pratique d'exploitation qui sera acquise, et/ou de la prise en compte éventuelle de nouvelles politiques d'exploitation.

Les délais rapprochés aux termes desquels le service devait être opérationnel plaidaient, par ailleurs, en faveur d'une structure voisine, autant que faire se pouvant, la structure existante. Une difficulté pour passer à une phase plus directement opérationnelle venait en outre de ce que le Service ne s'appuyait pas encore sur une pratique d'exploitation; de plus, l'unité ETR et l'unité Maintenance avaient du mal à s'imprégner de l'approche "système" corollaire indispensable à cette pratique d'exploitation, et qui consiste à avoir une approche globale du système SIRIUS (: de ses performances) et à faire faire (: sous traiter tout ce que ne peut pas faire le Service) en assurant la maîtrise du système plutôt que faire.

B : Les références organisationnels en matière de gestion informatisée des flux

Depuis une decennie, les réseaux techniques urbains et plus généralement territoriaux (reseaux de voirie, d'eau et d'assainissement, d'énergie, de transport, de télécommunication), poursuivant un mouvement largement engagé dans le monde industriel, connaît un important processus d'informatisation.

Ce processus a déjà fait l'objet d'analyses approfondies [LATERRASSE, CHATZIS, 1989 et 1992] Sur le plan organisationnel, les traits suivants ont en particulier été mis en évidence :

- l'émergence d'une fonction centrale de régulation des flux, autour de laquelle s'opère un redecoupage partiel des fonctions préexistantes au sein des services gestionnaires des reseaux techniques concernés,

- l'intégration croissante des différentes fonctions; si l'on fait l'hypothèse (recouvrant assez bien la réalite des organisations existantes) à chaque fonction essentielle correspond à une division du Service gestionnaire, cette intégration implique de manière concrète une importance croissante des echanges d'information entre les divisions du Service et plus largement, la mise en place (ou le développement au sein du Service) d'une politique de communication comme partie intégrante du bon fonctionnement et des performances du Service (le probleme général évoqué étant ici celui de la gestion des interfaces fonctionnelles)

Le processus d'informatisation appelle simultanément des évolutions culturelles au sein du Service, caractérisées par le passage d'une logique d'action du type *gestion des objets* à une logique du type *gestion des événements* (nécessité pour le Service d'acquérir une mentalité "exploitation", corrélative de l'émergence déjà notée de la fonction "gestion des flux").

Enfin, il convient de rappeler, même si elle est devenue banal mais pas toujours simple à conduire, que le processus d'informatisation implique une gestion adaptée des ressources humaines, sur lequel nous aurons à revenir plus loin.

C : Les options d'organisation retenues pour l'organisation du Service

De ce qui précède et de par l'analyse des différentes fonctions à assumer par le service, on est conduit à penser qu'une structure stable de son organisation peut être construite à partir de deux options essentielles (voir la Fig.8.2) :

– le découpage du service en trois groupes (Systèmes, Exploitation, Etudes), le groupe Exploitation ayant dans ce découpage une position centrale et stratégique,

– la confirmation d'un niveau de coordination-supervision, pourvu de missions précises : Administration Générale, coordination des groupes et communication interne, gestion des interfaces et de la communication avec les partenaires extérieurs (D. D. E., Ville de Paris...), ainsi qu'avec les médias (cette dernière forme de communication étant, nous le verrons plus loin, partie intégrante de la communication avec les usagers).

A partir de cette hypothèse de travail, un processus itératif a été engagé au sein du Service, qui a permis à la fois la validation de cette architecture générale de la nouvelle organisation et la définition plus fine des fonctions et des moyens de chacun des groupes:

- le groupe "Exploitation" est chargé de la mise en oeuvre sur le terrain de la politique d'exploitation Outre la gestion des quatre PC, il se voit chargé de la mise en place progressive d'un échelon central de coordination dont la tâche sera la définition et la mise en oeuvre d'une politique globale d'exploitation. Cet échelon central (PC régional) devra notamment intégrer le CRICR

- le groupe "Systèmes", créé à partir des anciennes unités ETR et Maintenance devra prendre en charge la conception, la réalisation et la maintenance des systèmes d'exploitation. En fait, l'ampleur du projet SIRIUS et son potentiel impliquent la capacité du SIER d'assurer la maîtrise d'ensemble de l'infrastructure de gestion dynamique, depuis la phase de conception, la passation des marchés et le suivi de l'installation des équipements, jusqu'à leur maintenance.

- le groupe "Etudes" est quant à lui chargé de deux missions principales : une mission sur les études opérationnelles assurée par l'unité Etudes d'Exploitation et d'Equipements (EEE) et une mission de type CETE (prestation de service, avis, etc.) comprenant l'unité Observatoire de la circulation et sécurité routière et l'unité Techniques et Equipements de la route.

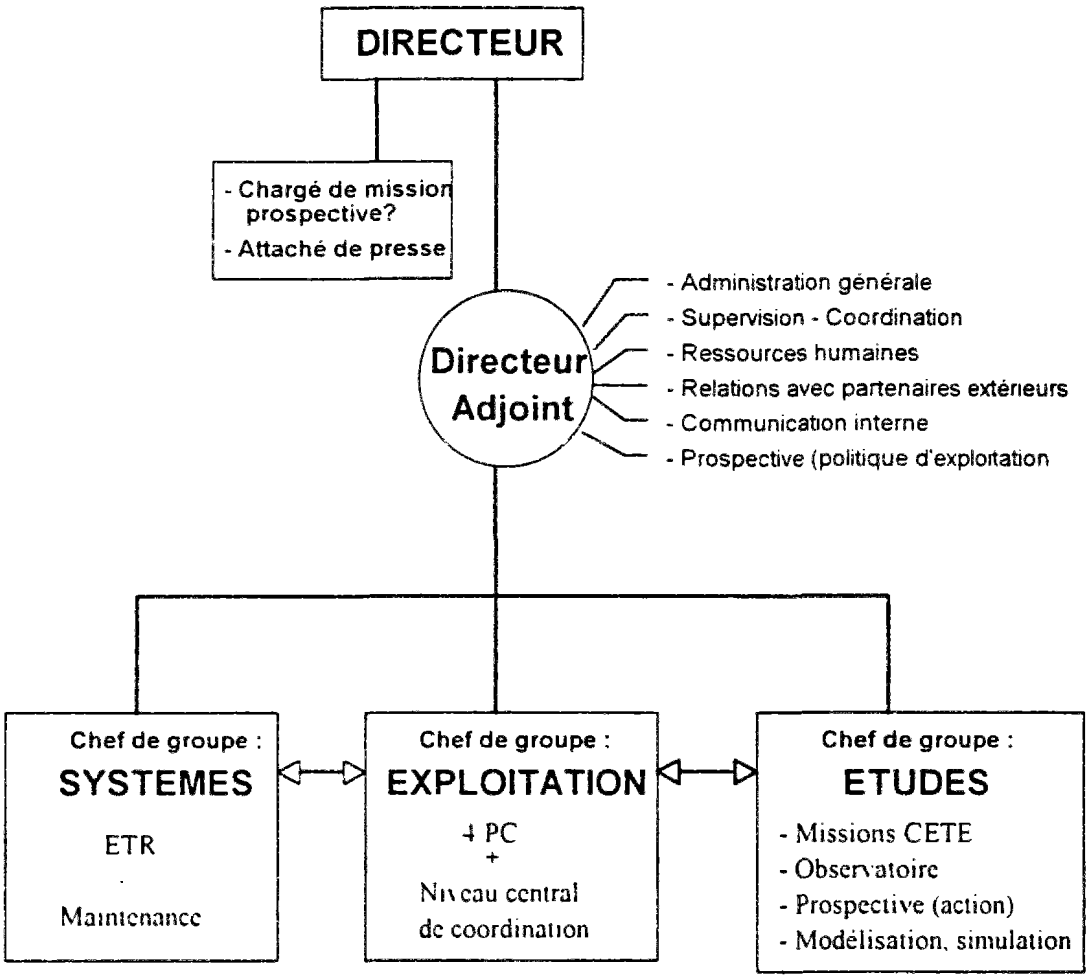


Fig.8.2 : Organigramme pour une nouvelle organisation du SIER

Dans le cadre du nouvel organigramme, la création du groupe "Systèmes" témoigne de la profondeur de la réorganisation du Service. Ce groupe est composé de deux unités :

- l'unité "Equipements et Réseaux", constituée à partir de deux cellules : Equipements dynamiques et Travaux de l'ancienne unité ETR et ancienne unité "Maintenance". Il se voit assigner trois objectifs prioritaires : assurer le bon fonctionnement des équipements actuels; assurer la mise en oeuvre et le bon fonctionnement des nouveaux équipements prévus dans le cadre de l'opération SIRIUS et

intégrer, dans la mesure du possible, le maximum d'équipements existant; assurer la mise en oeuvre des évolutions du système SIRIUS, en fonction de l'évolution de la stratégie définie par le Service ou de l'évolution du réseau.

- l'unité informatique (cellule Informatique de l'ancienne unité ETR) structurée autour de deux pôles, d'une part, les activités à caractère "opérationnel" (outils d'exploitation) et, d'autre part, les activités de "service" (outils de gestion). Le premier pôle est chargé de mettre en oeuvre et de faire fonctionner les systèmes informatiques utilisés par les exploitants, et dont la conception, à partir d'un cahier des charges initialement rédigé par la DDE du Val-de-Marne, a été sous-traitée à l'entreprise STERIA; le deuxième pôle, "outils de gestion et micro-informatique", doit intervenir en qualité de prestataire de service pour le compte de l'ensemble du SIER (développement d'outils documentaires, gestion et suivi du parc "micro-ordinateurs" du SIER).

Au vu de l'expérience acquise, il apparaissait en effet nécessaire de regrouper les moyens humains en informatique, de manière à assurer dans les meilleures conditions possibles l'installation du système d'exploitation dans les PC et au-delà, de maîtriser l'évolution de ce système. Cette notion de "maîtrise" du système informatique par le Service apparaît ici particulièrement pertinente et importante : elle ne signifie pas que le Service traite en interne l'ensemble des prestations relatives à la conception et à la mise en oeuvre du système, mais elle implique sans aucun doute qu'il dispose en inter des compétences et des moyens humains nécessaires à la définition de Cahiers des Charges précis, du suivi et de l'exécution des contrats, de la maîtrise des évolutions qui seront en toute hypothèse nécessaires dans l'évolution et l'adaptation du système.

S'agissant enfin des fonctions transversales au sein du Service sur lesquelles nous devrons à revenir plus loin, il apparaissait nécessaire de distinguer deux niveaux de réflexion en matière de prospective : un niveau stratégique (définition de nouvelles politiques d'exploitation) et un niveau "amélioration de l'existant" (évolution des actions d'exploitation à système inchangé).

D : Les options d'organisation proposées pour la phase intermédiaire de mise en oeuvre opérationnelle de SIRIUS

Les moyens humains limités dont disposait le Service ainsi que la nécessité de le doter très vite d'une structure opérationnelle ont toutefois amené à considérer que le schéma organisationnel qui vient d'être ébauché, s'il est à moyen terme fortement souhaitable, ne pouvait être mis en oeuvre d'emblée. Une phase intermédiaire d'environ 2

ans, qui coïncidait avec la mise en oeuvre opérationnelle de SIRIUS s'est donc avérée nécessaire. Pour cette phase, les options suivantes ont été retenues :

– le positionnement du service informatique : les éléments qui viennent d'être rappelés plaidaient pour le positionnement de l'unité informatique au sein du groupe "Système", qui avait ainsi à charge de rendre pleinement opérationnel l'ensemble du système tel qu'il avait été conçu.

– le positionnement du groupe Etudes : deux éléments essentiels ont été ici pris en compte :

• tout d'abord, la nécessité d'établir une synergie étroite entre le groupe Etudes et le groupe Exploitation En effet, d'une part le métier d'exploitant restait encore pour partie au moins à inventer dans le contexte des RVR et le groupe Etudes devait constituer pour cela un point d'appui essentiel; d'autre part, le groupe Etudes avait besoin en permanence d'une bonne connaissance des problèmes d'exploitation, et certaines de ses composantes, par exemple l'Observatoire, avaient à évoluer pour mieux répondre aux besoins de l'exploitation,

• la nécessite de concentrer dans la phase qui s'ouvrait, et en tant que de besoin, les moyens nécessaires sur les missions d'exploitation, avec ce que cela impliquait, ponctuellement ou de manière plus durable, pour tout ou partie du personnel de l'unité ETR.

Au vu de ces élements, il est apparu que la meilleure solution était de rassembler dans un même groupe operationnel les fonctions d'Exploitation et d'Etudes, et de confier la responsabilite de ce groupe a un ingénieur des Ponts et Chaussées. Les mêmes considérations et notamment la nécessité de renforcer la dimension "Exploitation" du Service, ont conduit à rechercher un cadre ayant dans ce domaine une bonne pratique pour être notamment chargé de constituer progressivement l'échelon central des quatre PC. Par ailleurs, dans cette phase de mise en oeuvre opérationnelle du système SIRIUS, ce Chef du Groupe "Exploitation" s'est vu confier la mission de créer les conditions d'un fonctionnement autonome du groupe Etudes, en s'attachant à en préciser les missions et à le dimensionner en conséquence

E : Les fonctions transversales

L'analyse des missions du Service et des fonctions qu'elles impliquent pour assurer dans de bonnes conditions la phase actuelle (mise en oeuvre opérationnelle de SIRIUS) et pour préparer l'avenir (définition de nouvelles politiques d'exploitation) a fait ressortir l'importance de fonctions transversales. Celle-ci s'explique notamment par la diversité et la multiplicité des partenaires avec lesquels il s'agit de coopérer (les partenaires

institutionnels : Préfets, DDE, Police, Ville de Paris, sociétés d'autoroutes... et aussi entreprises et sociétés de services) ou qu'il s'agit de mobiliser (Centres techniques, Instituts de recherche...) ou encore qu'il s'agit de sensibiliser (les usagers).

Outre la fonction **Administration Générale**, déjà clairement identifiée dans le précédent organigramme (fonction de Secrétariat Général), ces fonctions transversales sont essentiellement confiées au Directeur-Adjoint. Il s'agit en particulier de :

- une fonction de **coordination-supervision** des deux entités (Systèmes et Exploitation-Etudes) autour de deux objectifs essentiels : la mise en oeuvre opérationnelle des outils et la maîtrise du réseau,

– une fonction d'**information interne**, rendue nécessaire par le relatif éparpillement géographique du Service, et dont on peut en outre attendre un gain pour le bon fonctionnement des interfaces entre les divisions,

- une fonction de **formation** et de **gestion des ressources humaines**, rendue particulièrement nécessaire par les mutations que connaît le Service, et l'absence de références sur lesquelles il pouvait s'appuyer, ses missions d'exploitation au sens où elles sont entendues ici etant largement spécifiques au sein de l'Administration de l'Equipement.

– une fonction de **communication**, au sens plus traditionnel de relations publiques et de façonnage de l'image du Service auprès des usagers.

Il appartient en outre au Directeur-Adjoint de seconder le Directeur dans ses fonctions de représentation-coordination vis-à-vis des partenaires extérieurs (Préfets, DDE, Ville de Paris,), dans la perspective d'une maîtrise progressive du réseau par le service et donc de la pleine affirmation de ses missions.

La fonction de **prospective** pourra quant à elle être gérée à deux niveaux :

- au niveau du groupe Etudes qui assurerait à la fois la préparation des actions visant à une adaptation sur le court terme (des outils et de la politique d'exploitation du réseau) et une veille sur les technologies et les expériences étrangères,

- au niveau de la Direction (le Directeur avec le Directeur-Adjoint et les Chefs de groupes) où seraient prises en compte, à partir des éléments connus et analysés par les différents Groupes, voire de collaborations extérieures, les évolutions nécessaires des équipements ou de la politique d'exploitation à mettre en oeuvre (voir chapitre IX).

La fonction "**communication**" sera quant à elle assurée par un bureau de presse, éventuellement assisté, pour la définition d'une politique de communication, d'un Cabinet spécialisé. Le positionnement de cet Attaché de presse au sein de l'organigramme reste à

préciser (elle pourrait être par exemple rattachée à la personne chargée de l'information interne, celle-ci ayant alors une approche plus globale des problèmes de communication).

VIII.2. PROBLEMES DE LA MAINTENANCE ET DES MOYENS HUMAINS

VIII.2.1. Enjeu de la maintenance

Il a été longuement démontré dans la deuxième partie de ce mémoire que la réussite de la mission "Exploitation" du SIER (objectif opérationnel du Service) est en grande partie liée à la qualité et au niveau de disponibilité des équipements et des outils d'exploitation. La maintenance en bon état de fonctionnement des équipements dynamiques et du système informatique est une préoccupation essentielle du SIER pour la réussite de la politique d'information des usagers et pour la définition de nouvelles politiques d'exploitation

En conséquence, la définition et la répartition des tâches de maintenance sont au coeur des problemes à résoudre lors la réorganisation du SIER.

VIII.2.2. Approche méthodologique

Un groupe de travail a été mis en place au sein du Groupe Systèmes, groupe de travail auquel l'équipe de recherche a participé. Ce groupe a proposé de traiter le problème de la maintenance du système SIRIUS en six questions, qui ont fait l'objet d'un approfondissement particulier au sein du Service, et qui peuvent se formuler comme suit :

1. Définir le niveau de disponibilité fonctionnelle que l'exploitant est en droit d'attendre des différents équipements qui constituent le système;
2. Préciser ce qui doit être assuré de manière stratégique par le SIER (sauf à renoncer à une maîtrise globale du système) et ce qui peut être délégué;
3. Faire l'inventaire des prescriptions des différents Cahiers des Clauses ou Contrats de maintenance en cours avec les entreprises et les prestataires missionnés par le SIER, analyser ces dispositions au regard de la disponibilité attendue par l'exploitant,
4. Définir les outils d'aide envisageables et leurs délais de mise en oeuvre (et préciser éventuellement qui fait quoi);

5. Préciser, à partir de ces éléments et en fonction des différentes situations précédemment rencontrées ou possibles, les procédures de diagnostics et d'intervention, ainsi que le rôle et la responsabilité de chaque intervenant;
6. En tirer toutes les conséquences utiles quant aux effectifs de la maintenance et à son organisation (organisation des astreintes notamment).

Il convient de souligner que l'approche des problèmes de maintenance au sein du Service concernait aussi bien les techniques à mettre en oeuvre (sécurisation du système notamment au plan des transmissions en assurant des redondances quand cela est possible, volonté d'aller vers la mise en place d'outils d'aide à la gestion du type GMAO[9]...) que les structures à préciser dans le cadre de la réorganisation du Service. Cette approche nous semblant satisfaisante, nous nous attacherons à aborder plutôt ici les points qui nous apparaissent les plus délicats : celui des effectifs et celui d'éventuelles astreintes.

Dans le domaine de la Maintenance plus encore que de l'Exploitation, il nous a paru indispensable de distinguer deux phases :

- La première phase, qui a couvert les deux premières années (1992-1993), a été celle de la mise en oeuvre du système SIRIUS et son "rodage", l'apprentissage des hommes faisant pour nous partie de ce rodage. Dans cette phase, plus qu'à des problèmes de maintenance au sens etroit, le SIER avait à résoudre des problèmes liés à des défauts du logiciel et à une connaissance encore imparfaite du système par les opérateurs. Pour ce qui concerne la partie informatique, STERIA, la société sous-traitante chargée de la conception et de l'implantation du système informatique, est censée assurer une permanence 24h/24 Mais le problème à résoudre est de savoir par qui est fait le diagnostic, notamment lorsqu'il peut y avoir une ambiguïté sur l'origine de l'incident, et qui alerte STERIA La reponse à cette question n'est pas simple à apporter. En conséquence, la phase qui s'est ouverte avec l'équipement des PC et l'exploitation du système informatique devait être mise a profit pour préciser :

- les implications en terme de maintenance du fonctionnement des PC 24h/24, tant pour la partie informatique que pour la partie Equipements et Réseaux,
- les évolutions que cela peut induire tant pour les moyens dont doit disposer le Service que pour les clauses des contrats avec les entreprises sous-traitantes,
- les procédures internes au service pour déclencher l'intervention des entreprises concernées, principalement STERIA, en cas de panne sur la partie informatique du système

[9]GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur.

- Pour ce qui est du fonctionnement du service au-delà de cette période de rodage, on peut penser, à l'instar d'une évolution déjà constatée dans l'industrie [GABRIEL et al., 1987] et [DELARBRE, 1987], que les opérateurs auront un rôle important à jouer, non seulement pour la maintenance de premier niveau (dépannage) de la partie informatique, mais aussi dans le processus de diagnostic, et plus encore peut-être pour participer à des procédures de maintenance prédictive. Ce sont eux en effet qui seront les mieux placés pour déceler les signes "avant-coureurs" des défaillances. Il nous semble qu'il convient d'ores et déjà de les préparer à cette tâche, non seulement en terme de formation, mais aussi en s'attachant à définir et à mettre au point des outils d'aide au diagnostic (dont le manuel de dépannage fourni par STERIA pourrait constituer une première version) qui leur seraient destinés

Avant d'aller plus avant dans la réflexion sur les moyens nécessaires à la fonction de maintenance, il importe d'analyser de manière plus précise la nature des problèmes à résoudre.

VIII.3. PROBLEMES DE LA MAITRISE DU RECUEIL AUTOMATIQUE DE DONNEES (RAD)

VIII.3.1. Enjeu du RAD et défi pour le SIER

A : Enjeu du RAD

Le RAD est à la base du système SIRIUS, Il est au coeur des missions du SIER, et en particulier, il conditionne le fonctionnement de SIRIUS. Pour le SIER, l'objectif prioritaire en matiere d'exploitation est la maîtrise du RAD afin de pouvoir suivre en temps réel le trafic, détecter les incidents et les bouchons. Il s'agit de mettre en place et de maintenir sur l'ensemble du réseau un ensemble de dispositifs de RAD afin d'être réellement en mesure d'exploiter et de tirer profit du maillage du réseau.

D'après les statistiques du SIER, sur les 500 km de voies rapides en Ile-de-France, il y a en moyenne 100 incidents chaque jour dont 4 accidents (avec blessés ou accidents corporels); 175 km de bouchons (1/3 du réseau) se produit le matin pendant les heures de pointe. Le RAD doit permettre la détection systématique, rapide et fiable de ces incidents et de ces bouchons afin de prendre les mesures adéquates de régulation et d'information

B : Défi pour le SIER

D'après les expériences étrangères (cf. chapitre II), un bon fonctionnement de la DAI nécessite une densité suffisante de RAD (environ une station de mesure tous les 500 m). Le RAD de système SIRIUS a été conçu selon une telle logique avec des stations de mesure tous les 500 m sur les axes les plus chargés, tous les 1000 m sur les axes moins chargés et des stations de mesure à toutes les entrées et sorties. A la mi-1993, il y avait déjà 2500 capteurs installés. A terme, l'ensemble du réseau comportera 4000 boucles de détection.

Le maintien en bon etat de fonctionnement de ces 2500 boucles de détection (4000 dans le futur) présente un défi permanent pour l'exploitation de ce réseau. La contrainte de continuité de service et l'exigence de fiabilité des données implique une performance plus grande du RAD. Il faut donc que le SIER trouve les moyens techniques et organisationnels pour repondre à ce défi. D'une manière générale, il s'agit de la maîtrise du RAD, élément essentiel pour assurer le succès d'un tel système d'information.

VIII.3.2. Difficultés dans la maîtrise du RAD

A : Trois couches de la maîtrise du RAD

Schématiquement, la maîtrise du RAD se compose de trois couches : **la mise en place, le contrôle et la maintenance**

La mise en place du RAD consiste à concevoir et à mettre en place des dispositifs nécessaires. Pour le système SIRIUS, cette première couche a été achevée ou est en passe de l'être. Par conséquent, la maîtrise du RAD revient essentiellement au problème de contrôle et de maintenance des dispositifs.

Le contrôle du RAD se fait par l'examen du fonctionnement des équipements et par l'examen des resultats obtenus. Le contrôle du fonctionnement du RAD par les données du trafic est un maillon faible de tous les systèmes d'exploitation des RVR comme il a été expliqué précédemment (cf. chapitre IV). Pourtant, ce contrôle devient de plus en plus essentiel pour garantir une meilleure efficacité de l'ensemble du système d'exploitation.

La maintenance du RAD consiste à diagnostiquer et à réparer les pannes des dispositifs du RAD. Elle a pour objectif de garantir la disponibilité des matériels ou

équipements du RAD. Elle s'appuie sur une procédure complexe dont la performance dépend non seulement de la technologie mais aussi et surtout d'une organisation adaptée. Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur l'organisation de la maintenance.

B : Difficultés dans la maîtrise du RAD

L'examen du fonctionnement du système SIRIUS révèle deux difficultés majeures dans la maîtrise du RAD. D'une part, le contrôle du fonctionnement du RAD n'est pas suffisant faute de méthodes et d'outils adaptés. D'autre part, les procédures de maintenance ne sont pas encore stabilisées. Ceci soulève un enjeu fort de l'organisation interne des services du SIER En pratique, ces difficultés se traduisent par des dysfonctionnements du RAD qui peuvent affecter le fonctionnement de la DAI et de la DAB.

Au début de cette recherche, le système SIRIUS (comme tous les systèmes similaires) n'effectuait que des tests simples sur des données (types $0 \leq$ débit $\leq Q_{max}$ $0 \leq$ TO $\leq 100\%$, $0 \leq$ Vitesse $\leq V_{max}$). Comme cela a été indiqué précédemment (cf. chapitre IV), ces tests simples ne peuvent pas détecter les combinaisons incohérentes entre les variables du trafic La conséquence directe est que ces données erronées peuvent conduire à des messages sur les PMV inadaptés et en particulier pour les tronçons non équipés de cameras de surveillance. Au fond du problème, cette insuffisance est liée à un manque de support méthodologique Autrement dit, l'exploitant ne dispose ni de méthodes ni d'outils pour l'aider à contrôler la fiabilité des données. Sur ce problème, les méthodes proposées au chapitre IV ont apporté une réponse méthodologique et pratique

A l'aide de ces outils, le RAD peut être mieux maîtrisé à condition qu'ils soient insérés dans une organisation de maintenance adaptée. A ce stade de l'analyse, il faut se poser une question comment faire pour assurer un RAD de qualité garantissant un système d'information dynamique sur un réseau maillé avec des moyens matériels et humains limités et des contraintes imposées par l'exploitation? Cette question est étroitement liée a l'organisation des différents acteurs concernés. Les solutions recherchées doivent en outre s'appuyer sur une véritable procédure de contrôle et de maintenance

Plusieurs causes sont à l'origine des dysfonctionnements du RAD : hétérogénéité des matériels, problèmes de transmission, conditions climatiques, travaux d'entretien de la chaussée... L'hétérogénéité des équipements rend l'organisation de maintenance très

délicate. Selon l'unité chargée de la maintenance au SIER, plus de la moitié des pannes des boucles trouvent leurs origines dans des travaux d'entretien des chaussées effectués par les DDE. A ce niveau, se pose le problème de la coordination entre le SIER et les DDE.

VIII.4. PROPOSITIONS POUR LA MAITRISE DU RAD

De ce qui précède, il apparaît indispensable de prendre des mesures techniques et organisationnelles en vue de la maîtrise du RAD afin de parvenir rapidement et durablement à un RAD performant sur l'ensemble du réseau. Pour ce faire, on propose les actions suivantes :

- Mettre en place une base de données statistiques (avec des tests),
- Intégrer des tests de données dans le système informatique de SIRIUS,
- Organiser les services du SIER pour la maintenance du RAD.

Ces mesures ont ete proposées à partir des considérations ci-dessous .

1. Dans l'état actuel, la vérification des données est effectuée d'une manière non complète, régulière, mais assez peu fréquente par l'exploitant ou par les unités du Groupe Etudes Il en résulte que des pannes du RAD ne peuvent pas être détectées dès leur apparition ou, au pire, qu'elles ne sont pas détectées, faute d'outil efficace pour effectuer des vérifications systematiques et périodiques. Il s'avère donc indispensable de mettre en place un tel outil pour le contrôle en temps différé des données.

Ce besoin de verification des données s'ajoute aux autres besoins de traitement en temps différé des donnees pour plaider en faveur de la mise en place d'une base de données statistiques

2. L'intégration des tests de données selon les méthodes mises au point au chapitre IV dans le système informatique de SIRIUS a pour double objectif : détecter en temps réel des erreurs dans les donnees pour leur prise en compte, et garantir les résultats de la DAI et de la DAB

3. Les deux premières actions sont destinées à une détection rapide et complète des dysfonctionnements du RAD par un contrôle renforcé sur les données. Par la suite, la maintenance constitue une phase essentielle dans la maîtrise du RAD. Il convient d'analyser l'organisation existante pour la maintenance et d'en améliorer l'efficacité.

VIII.4.1. Mettre en place une base de données statistiques (avec des tests)

A : Besoin de créer une base de données statistiques

La création d'une base de données statistiques pour le RVR d'Ile-de-France se justifie pour plusieurs raisons et notamment par :

- la nécessité de centraliser les données issues de différents PC afin d'avoir une vue globale du fonctionnement du réseau,
- l'évolution des données en terme de nature et de volume,
- l'adaptation à l'évolution des besoins des diverses approches dans l'utilisation des données,
- la facilite d'un éventuel échange de données avec les autres exploitants et notamment avec la Ville de Paris, gestionnaire du Boulevard Périphérique (voir chapitre IX),
- le contrôle systématique des données issues du RAD.

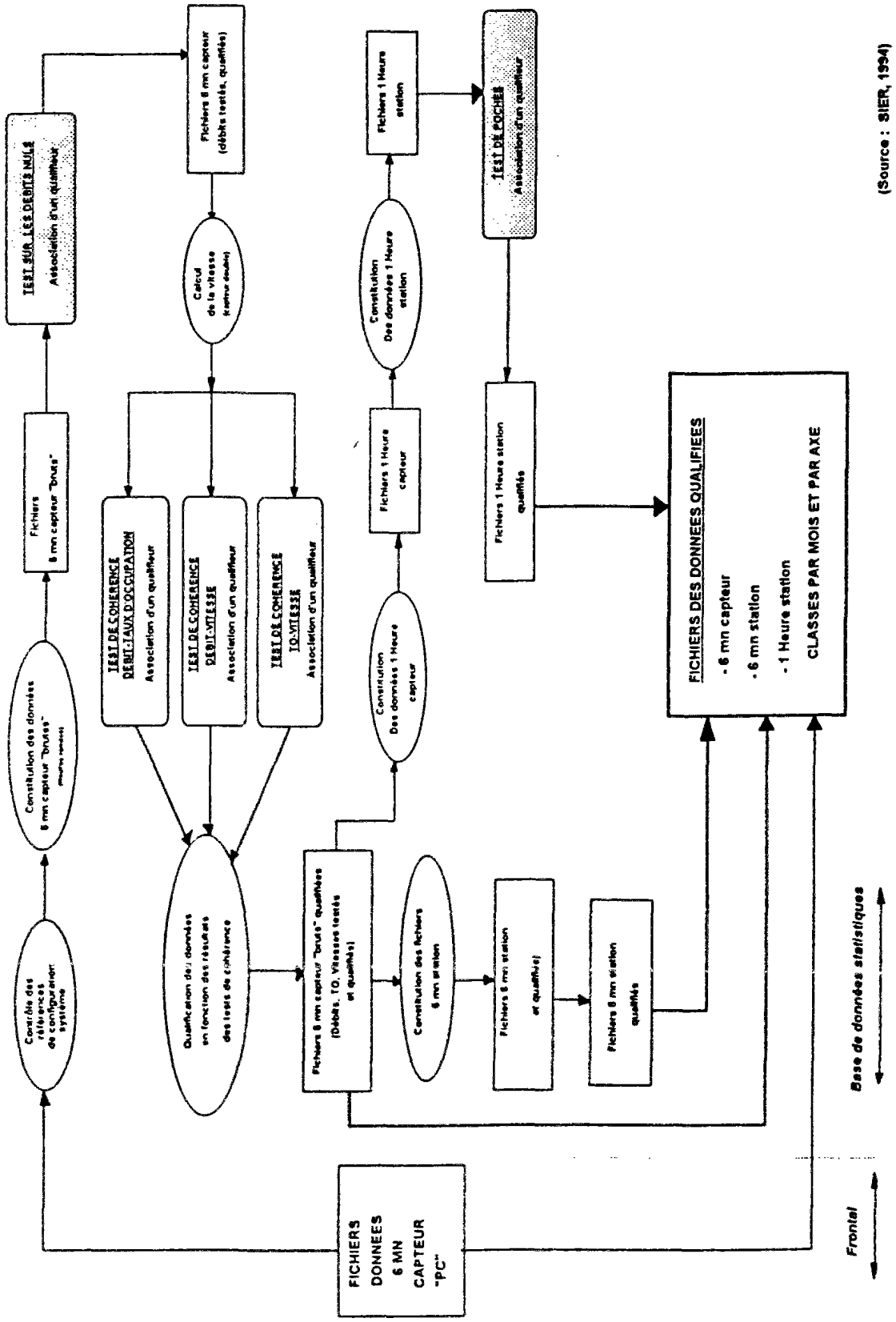
Les outils de vérification de données développés au chapitre IV ont rendu possible la création d'une base de donnees statistiques dans la mesure où ils permettent de qualifier systématiquement les données Suite à notre étude qui a contribué à formuler les différentes étapes de contrôle et de vérification des données, le SIER a décidé de mettre en place une base de données statistiques. Concrètement, un groupe de spécialistes du SIER est en train de spécifier le Cahier des Charges de cette base de données [SIER, 1994a].

B : Qualification des données dans la base de données statistiques

La qualification des données occupe une place centrale dans la constitution de cette base de données Elle fait notamment appel aux outils de vérification de données pour certifier les donnees issues du RAD. La méthode de POCHES et celle de la vérification des cohérences entre les variables macroscopiques exprimées par le diagramme fondamental developpées au chapitre IV ont été choisies pour qualifier des données dans cette base. L'integration de ces deux moyens de vérification est illustrée par la Fig.8.3.

A l'entree de cette base de données statistiques, on retrouve les fichiers des données 6mn capteur issus du système informatique de SIRIUS. Après les prétraitements et notamment le test des débits, les fichiers de données 6mn capteur avec des débits testés et qualifiés sont établis. Ensuite, vient le test de cohérence entre les trois variables

Fig.8.3. Traitement des données pour la constitution de la base de données statistiques



(Source : SIER, 1994)

macroscopiques de trafic : débit, TO et vitesse comme montré au chapitre IV. Ce test est le plus important et il conditionne la suite des tests à réaliser. A partir des résultats de ce test, seront établis les fichiers de données 6mn capteurs qualifiés ainsi que les fichiers de données 6mn station et des données 1 heure station. Les fichiers de données 1h station sont destinés à faire des tests de POCHES.

A l'issue de ces tests et des qualifications, on obtient principalement les fichiers de données qualifiées : 6mn capteur, 6mn station, 1 heure station. Ces fichiers seront utilisés dans les autres fonctions prévues dans cette base dont le bilan de la base fait partie. Ce bilan consiste à fournir des informations (statistiques et graphiques) concernant le fonctionnement des capteurs et des stations sélectionnées dans l'espace (axe, sens) et dans le temps (années, mois, jours, plage horaire), et il est directement utile pour la maintenance.

C : Potentialité de cette base de données

Cette base constituera une base solide pour des études internes et externes du SIER. En particulier, elle permet de mieux connaître le fonctionnement du réseau. Jusqu'à présent, faute d'un recueil de données systématique, permanent et objectif, les conditions de circulation ne sont connues que de façon extrêmement sommaire [DURAND-RAUCHER, 1992] Cette connaissance fine du trafic est fondamentale, au sens propre, pour toute amélioration du fonctionnement du réseau.

Cette base permettra également l'activation rapide de la maintenance. Suite à des opérations de certification, à la lecture de cette base de données (fonction: bilan de la base), on obtiendra des informations directement utiles pour la maintenance des équipements en panne (l'état du RAD, les pannes identifiées, etc.).

A plus long terme, en complément avec des modèles de simulation, cette base de données pourrait être utilisée pour la prévision de la situation moyenne de l'écoulement du trafic. Cette prévision pourrait déboucher sur un nouveau service d'information des usagers en temps différé, utile pour la préparation des déplacements. Il s'agit de prévenir les conditions de circulation sur le RVR à partir des données historiques traitées et qualifiées dans cette base de données. Pour ce faire, il faut développer une méthode fiable de prévision qui dépasse la préoccupation de cette présente recherche. Néanmoins, c'est une piste de recherche à développer.

VIII.4.2. Intégrer des tests de données dans le système informatique de SIRIUS

A : Objectifs

Dans l'évolution future du système, il apparaît opportun d'intégrer les outils de vérification de données au sein du système informatique de SIRIUS et de les actionner en temps réel et au même titre que le RAD afin de procéder à une qualification systématique des données avant leur utilisation.

Comme déjà indiqué, l'utilisation en temps réel de ces outils aura deux objectifs principaux :

- qualifier des données pour leur prise en compte en temps réel (DAI, DAB, PMV...),
- contrôler le fonctionnement du RAD.

Nous avons montre au chapitre IV, la limite des tests élémentaires jusqu'ici pratiqués et constates que ce niveau minimum de contrôle n'est pas suffisant pour garantir la fiabilité des donnees

Il faut donc renforcer le contrôle des données issues du RAD afin d'assurer les résultats de leur utilisation Plus profondement, ce contrôle en temps réel des données est destiné à assurer la credibilite du systeme d'information par PMV. Nous proposons donc d'intégrer les outils de verification de données développés au chapitre IV au sein du système informatique SIRIUS pour contrôler les données en temps réel. Selon les résultats de contrôle en temps reel, le systeme informatique sera en mesure de décider si une station est autorisee de faire la DAI ou la DAB.

A terme, avec la mise en place de la base de données statistiques et l'intégration des tests dans le système informatique de SIRIUS, l'évolution du traitement des données du système SIRIUS sera marquee par l'existence de trois chaînes présentées dans le schéma ci-contre (Fig 8 4) Ces trois chaines de traitement devraient permettre, entre autres, de mieux contrôler le RAD

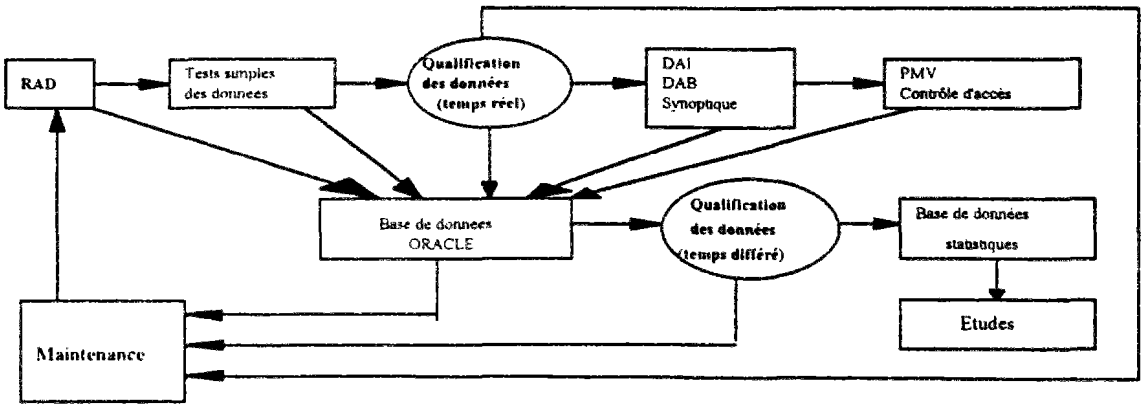


Fig.8.4 : Trois chaînes de traitement de données dans l'évolution future du système SIRIUS

B : Qualification des données en temps réel

L'intégration des outils de vérification de données peut être fondée sur le principe des tests prévus dans "le cahier des charges de l'outil de contrôle automatique de données de SIRIUS" [HERSENT, 1993]. Le contrôle et la qualification des données constituent les fonctions principales de cet outil. La fonction de contrôle des données prévue se base essentiellement sur le principe de POCHES et le principe de contrôle des cohérences entre les trois variables (débit, TO et vitesse). Le contrôle porte sur les données 20s par capteur et par station

Ce cahier des charges prévoit d'installer cet outil de contrôle sur un micro-ordinateur qui sera connecté au système informatique de SIRIUS. Ainsi cet outil peut extraire des données dynamiques en temps réel et procéder des vérifications au fur et à mesure de l'extraction des donnees Ce mode de fonctionnement présente l'avantage d'entraîner un minimum de modifications au niveau du système informatique de SIRIUS. Actuellement, cet outil est operationnel

Avec ce mode de fonctionnement, le contrôle de RAD est effectué selon le besoin de l'exploitant pour des cas spécifiques Ces cas spécifiques se situent notamment :

- lors de la mise en service de nouvelles stations de mesure,
- après la réparation des pannes,
- après les travaux d'entretien de la chaussée (afin de vérifier si le RAD a été affecté),
- en cas de besoin de données dynamiques pour des études spécifiques comme : le développement et la validation des algorithmes de la DAI et de la DAB.

Par contre, avec un tel fonctionnement, le contrôle n'est pas systématique et surtout la prise en compte des résultats de contrôle par le système informatique n'est pas automatique et systématique car le contrôle ne porte pas sur la totalité des données (dans l'espace et dans le temps) et il y a un décalage entre l'observation des dysfonctionnements du RAD et les mesures prises par l'opérateur d'exploitation[10]. Pour contrôler systématiquement la totalité des données dynamiques, on pourrait à terme envisager d'intégrer les tests de cohérence entre les variables macroscopiques de trafic au sein du système informatique afin d'une prise en compte en temps réel des résultats de vérification.

C : Mesures à prendre en cas de pannes du RAD

La prise en compte des résultats de qualification en temps réel des données implique une évolution du système informatique. Le système informatique doit pouvoir identifier les dysfonctionnements du RAD en examinant les données avec les méthodes rappelées ci-dessus. En cas de pannes du RAD, le système doit alerter l'opérateur de l'existence de pannes et prendre les mesures necessaires pour assurer la continuité des messages sur PMV.

En cas de panne du RAD, la DAI et la DAB sont mises en cause pour les stations concernées. L'essentiel est de pouvoir, autant que faire ce peut, continuer à assurer la DAI et la DAB. Pour un tronçon donné et à un moment donné, si une station est identifiée en panne, selon les connaissances acquises en ingénierie du trafic (remplacement des données par des données historiques ou théoriques) et l'étude effectuée au chapitre VI, on peut s'appuyer sur les deux stations adjacentes pour pouvoir faire la DAI et la DAB. Dans la connaissance actuelle, en cas de pannes de plusieurs stations successives, il n'est pas possible de faire la DAB sur le tronçon concerné. Dans ce cas, le système doit alerter l'opérateur pour qu'il prenne le relais de la surveillance du trafic par caméras si le tronçon est équipé de télésurveillance.

Supposons que plusieurs stations soient mises en causes suite à la qualification en temps réel des donnees, le système informatique doit désactiver ces stations en question dans le processus de la DAI et de la DAB et alerter l'opérateur d'exploitation. La maintenance doit être prioritaire si la zone en panne du RAD n'est pas couverte par caméras de surveillance. Sinon, l'exploitant ne sera pas en mesure d'être renseigné par le système sur l'état du trafic et il sera conduit à éteindre les PMV affectés.

[10]désactiver les stations en dysfonctionnement, surveiller la zone concernée par caméra.

Que ce soit dans l'outil de contrôle du RAD en temps réel ou dans la base de données statistiques, l'utilisation des outils de vérification des données doit permettre de fournir des bilans de fonctionnement des capteurs et des stations. Ces bilans offriront des informations pour la maîtrise du RAD. Mais l'apport de ces outils pour la maintenance du RAD ne prendra sa pleine efficacité que si les bilans soient bien exploités et intégrés dans une procédure rigoureuse de maintenance.

VIII.4.3. Organisation des services du SIER pour la maintenance du RAD

A : Acteurs concernés

Jusqu'à présent, nous n'avons pas évoqué les différents acteurs faisant partie de la maîtrise du RAD de SIRIUS. En simplifiant, on peut retenir deux groupes d'acteurs : un groupe interne du SIER et un groupe externe du SIER (les sous-traitants). Au sein du SIER, trois acteurs sont directement concernés par le problème de contrôle et de maintenance du RAD. Ce sont respectivement les exploitants (4 PC), les unités d'Etudes et la cellule de Maintenance.

Le schéma ci-dessous (Fig 8.5) illustre l'organisation actuelle des acteurs vis à vis de la maîtrise du RAD.

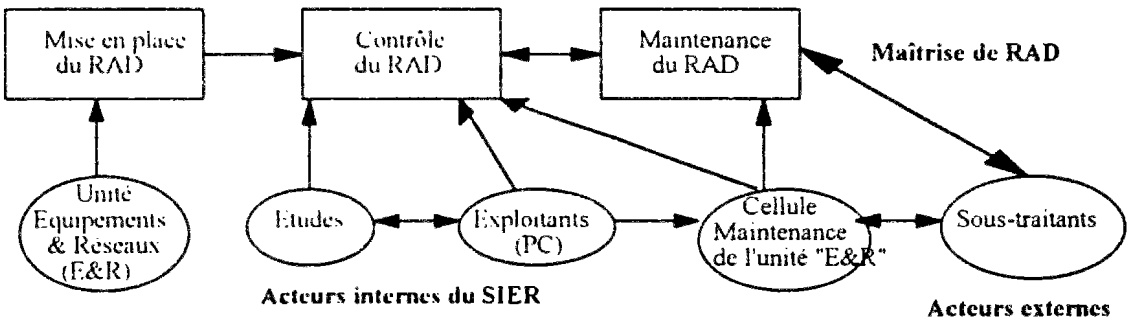


Fig.8.5 : Organisation de la maîtrise du RAD

Dans cette organisation, les deux acteurs les plus importants sont les exploitants (4 PC) et la cellule de Maintenance. Les exploitants assistés par les unités d'Etudes assument la tâche de détection des dysfonctionnements du RAD par le contrôle sur les données. La cellule de Maintenance assure les diagnostics et la coordination des interventions des sous-traitants.

B: Analyse de l'organisation actuelle pour la maîtrise du RAD

Analyse des flux d'information

Suite à la description ci-dessus de l'organisation des acteurs vis à vis de la maîtrise du RAD, nous proposons d'analyser les flux d'information, éléments essentiels pour harmoniser et coordonner les différentes actions menées par ces acteurs. En réalité, ces flux pilotent les différentes étapes de la maîtrise du RAD allant de la détection des dysfonctionnements, au diagnostic et jusqu'à la réparation des pannes.

L'analyse révèle quatre flux d'information dans l'organisation actuelle de la maîtrise du RAD de système SIRIUS (voir Fig.8.6 et tableau 8.1).

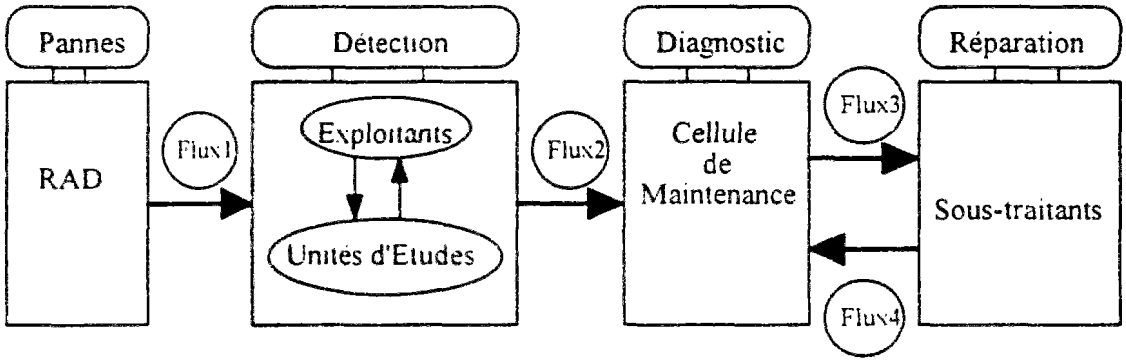


Fig.8.6 : Flux d'information dans l'organisation actuelle pour la maîtrise du RAD

	Orientation	Type d'information
Flux1	Du terrain vers l'exploitant (et services d'Etudes)	Données du trafic et états de fonctionnement des équipements
Flux2	De l'exploitant vers la cellule de Maintenance	Dysfonctionnements du RAD avec leur localisation et prédiagnostic éventuel
Flux3	De la cellule de Maintenance vers le(s) sous-traitant(s)	Demande d'intervention pour réparation
Flux4	Des sous-traitants vers la cellule de Maintenance	Compte-rendu de l'intervention

Tableau 8.1. Description des quatre flux d'information dans la maîtrise du RAD

Le flux 1 est directement lié à la détection des dysfonctionnements du RAD. Le RAD est connecté en permanence avec les PC d'exploitation. Mais l'identification des dysfonctionnements se fait au coup par coup soit par l'exploitant soit par les services

d'Etudes. De ce fait, ce flux n'est ni systématique ni régulier. Il en résulte naturellement des dysfonctionnements détectés tardivement ou quasiment non détectés.

Le flux 2 est constitué par des demandes d'intervention de la cellule de maintenance pour des diagnostics. Au fur et à mesure de leur identification, les dysfonctionnements observés sont communiqués par les exploitants à la cellule de maintenance de l'unité "Equipements et Réseaux" au sein du Groupe Système. Les informations communiquées à la cellule de maintenance sont assez variées faute de protocole de formulation des dysfonctionnements, ce qui complique les tâches de diagnostic et l'organisation du travail de la cellule de Maintenance.

Il est intéressant d'examiner ce qui se passe entre flux 2 et flux 3, c'est à dire l'étape du diagnostic. La cellule de Maintenance a à sa charge l'ensemble des équipements dynamiques d'exploitation (RAD, RAU, Télésurveillance, PMV...) du RVR. Pour pouvoir bien gérer les interventions, cette équipe enregistre toutes les demandes d'intervention et organise les interventions des techniciens sur sites selon la priorité[11] des équipements et en fonction de la nature des pannes, et selon la disponibilité des agents de maintenance.

Etant donné que les dispositifs de RAD ne sont pas prioritaires et du fait du sous-dimensionnement de cette équipe de Maintenance, le délai de réparation des dysfonctionnements du RAD est très variable allant de quelques semaines à quelques mois

Le flux 3 consiste à formuler la demande d'intervention des sous-traitants selon les modalités définies dans les contrats de maintenance. Le déclenchement de l'intervention des sous-traitants est sous la responsabilité de la cellule de Maintenance. Les demandes sont transmises pour la plupart des cas par télex.

[11] Selon le dossier de Spécification Générale du projet SIRIUS, le niveau d'indisponibilité opérationnelle à respecter est donné, par fonction, dans le tableau suivant :

FONCTION	CONTINUITE D'EXPLOITATION	
	ORDINAIRE	RENFORCEE
TRANSMISSION		X
ENERGIE		X
EQUIPEMENTS COMMUNS		X
RECUEIL AUTOMATIQUE DE DONNEES	X	
PANNEAUX A MESSAGES VARIABLES	X	
RESEAUX D'APPEL D'URGENCE		X
TELESURVEILLANCE VIDEO	X	
TELEPHONE DE SERVICE	X	

Le flux 4 est encadré par les contrats de maintenance. Il s'agit essentiellement des retours d'information à la cellule de Maintenance concernant des pannes réparées ou bien des propositions d'interventions préventives. Il convient de distinguer deux types de contrats de maintenance : ceux pour les équipements mis en place avant SIRIUS et ceux des équipements mis en place à l'occasion de SIRIUS sous forme d'extension de garantie. Il faut être conscient que la plupart de ces contrats ont été signés bien avant le fonctionnement 24h/24 et 7 jours/7 du système d'exploitation. Le point de départ pour ces contrats de maintenance était l'exigence de disponibilité des matériels ou équipements. Les contrats d'extension de garantie ont un mode de fonctionnement différent. Les équipements neufs sont souvent des compléments des dispositifs mis en place avant SIRIUS Cette réalité rend l'organisation de la maintenance plus délicate.

Une marge d'évolution existe dans la possibilité de réduire le nombre de prestataires (nombre de contrats) a la limite, deux partenaires (un pour le système informatique, l'autre pour les équipements dynamiques) pourraient être suffisants. Le travail de suivi des contrats pourrait être allegé, mais l'inconvénient d'une trop grande concentration serait une plus grande dependance a l'egard des entreprises sous-traitantes.

Réflexion :

Il ressort de ces analyses ci-dessus que l'organisation des acteurs n'est pas satisfaisante pour assurer une performance du RAD sur les points suivants :

- L'identification des dysfonctionnements du RAD n'était ni systématique ni régulière avant 1994 Il est possible que les pannes se produisent longtemps avant qu'on les identifie, ce qui est tres penalisant pour le bon fonctionnement de la DAI et la DAB (source de fausses alarmes ou faibles taux de détection).
- Avant la mise en oeuvre d'un outil opérationnel (CORA) en 1994, l'exploitant assurait difficilement cette tâche d'identification des dysfonctionnements du RAD faute de disposer d'outils adaptes Le seul outil existant était le synoptique des stations de mesure avec lequel seules les pannes evidentes (par exemple : débit et TO sont nuls tout le temps) peuvent être detectees De plus, l'efficacité d'identification dépend de la bonne volonté des opérateurs car il faut examiner écran par écran toutes les stations situées dans leur zone de surveillance
- La disponibilite des equipements du RAD n'est pas assurée par le fait de l'absence de cahier des consignes entre les services concernés par le recueil et l'utilisation des données Par contre, s'il y a un cahier des consignes auquel les clauses de disponibilité et des délais à respecter sont clairement définies, le gain en rapidité de réparation sera

important. Cela suppose des études approfondies concernant des pannes de chaque type d'équipements afin de les hiérarchiser en fonction des critères opérationnels.

Dans l'évolution future du système informatique, il convient d'intégrer progressivement la politique de maintenance en développant des fonctions de gestion de la maintenance et en mettant à la disposition de l'exploitant des informations nécessaires pour le contrôle efficace du fonctionnement des équipements.

C : Mesures pour la maintenance du RAD

L'analyse faite ci-dessus nous conduit à proposer les mesures suivantes pour la maintenance du RAD :

- Mise en place d'une procédure de maintenance,
- Traitement des grosses pannes exceptionnelles.

1. Mise en place d'une procédure de maintenance

1). Création d'une équipe de contrôle de qualité

Pour l'ensemble des équipements et des systèmes informatiques, il s'avère nécessaire de créer une Equipe de Contrôle de Qualité. La création d'une telle équipe de contrôle est largement justifiée par la coordination des différentes initiatives au niveau des outils en créant des outils homogènes pour l'ensemble du service et par la nécessité d'un suivi fréquent des fonctionnements des équipements dynamiques.

La plupart des équipements de SIRIUS sont transversaux aux différentes fonctions du SIER et s'inscrivent en conséquence dans des formes nouvelles d'échanges multifonctionnels qui doivent se mettre en place. Compte tenu de la diversité des objets à maintenir (équipements dynamiques et systèmes informatiques) et en raison du caractère expérimental du projet (pas d'expérience similaire connue), cette équipe doit être constituée par des gens des différents groupes du SIER. Il serait souhaitable de composer cette équipe avec trois personnes : une du groupe Etude, une de l'unité Informatique et une de la cellule de Maintenance au sein de l'unité Equipement et Réseau.

Missions de cette Equipe de contrôle de qualité :

L'objectif principal de cette équipe consiste à examiner les services offerts à l'usager de la route par le contrôle des messages de PMV et par la recherche des causes des dysfonctionnements afin de produire des outils utilisables par tous les acteurs et notamment par l'exploitant. Elle assure notamment une fonction de surveillance et de contrôle de fonctionnement des équipements par les résultats obtenus (contrôle sur les données du trafic pour le RAD) afin de garantir le meilleur fonctionnement du système. Etant donné un tel objectif, l'équipe de contrôle aura les missions principales suivantes :

- analyse des bilans de fonctionnement des équipements et systèmes dont le RAD est partie prenante, élaboration et exploitation d'historiques des dysfonctionnements,
-analyse des enseignements éventuels de ces bilans pour chacun des groupes du SIER,
- constitution, coordination ou amélioration des outils et des méthodologies de diagnostic et d'intervention, des procédures d'analyse et de tests, etc.,
- définition, affinement, diffusion et utilisation de concepts et d'indicateurs de fiabilité, de disponibilité et de maniabilité des équipements et des systèmes informatiques,
- suivi fréquent et régulier de fonctionnement des équipements par l'examen des résultats (contrôle sur les données pour ce qui concerne le RAD),
- contribution aux etudes d'amélioration du système (cahier des charges pour l'évolution du système en matière de maintenance).

Au point actuel de la réflexion, **le contrôle du fonctionnement du RAD peut être effectué à deux niveaux : en ligne et en temps différé**

L'intégration des outils de vérification de données en temps réel dans le système informatique traitée plus haut offre la possibilité de contrôler les données en temps réel. Ce niveau de contrôle en temps reel sera à la charge de l'exploitant. A mesure de leur apparition, les dysfonctionnements du RAD seront signalés par des alarmes. A chaque PC, le système informatique fera quotidiennement le bilan du fonctionnement du RAD. L'opérateur examinera chaque jour ce bilan et signalera au service de Maintenance les pannes en indiquant les délais souhaitables de leur remise en fonctionnement normal. Parallèlement, ces bilans seront transmis à l'équipe de contrôle de qualité pour des analyses plus fines et pour la production des indicateurs de fonctionnement du RAD.

Le contrôle des données en temps différé sera à la charge de l'Equipe de contrôle de qualité. Avec la mise en oeuvre de la base de données statistiques, le contrôle et la validation des données sera systématique et automatique. On préconise un contrôle

hebdomadaire. Chaque semaine, le bilan de fonctionnement du RAD pour l'ensemble du réseau sera établi. Il sera transmis à chaque PC et à la cellule de maintenance. Le but de ce renforcement de contrôle du RAD est de garantir que les anomalies soient détectées systématiquement et dans de bonnes conditions.

2). Le niveau de disponibilité exigé des équipements

Ce qui semble essentiel pour la maintenance des équipements du RAD c'est de définir le niveau de disponibilité exigé pour chacun d'entre eux. Ce niveau de disponibilité doit être défini par l'exploitant en concertation avec la Maintenance. Il constitue la base de l'organisation de la maintenance

Compte tenu du très grand nombre de stations de comptage, il n'est pas réaliste d'envisager une disponibilité de 100% de l'ensemble des stations. C'est pourquoi, il faut faire un choix selon le niveau d'équipements des autoroutes. Pour les parties équipées du système de télésurveillance, le niveau de disponibilité pourrait être moins élevé car l'opérateur peut avoir recours aux caméras pour observer les conditions de la circulation sur ces tronçons Par contre, sur les tronçons non-couverts par caméras, la disponibilité des équipements du RAD doit être plus grande afin de pouvoir détecter les incidents et les bouchons

Concrètement, sur le réseau SIRIUS, les parties non équipées de caméras sont principalement RN104 et A104

3). La place des opérateurs d'exploitation dans les procédures de diagnostic et de déclenchement des interventions

Pour des pannes du RAD comme pour toutes les pannes des autres équipements et/ou des systemes informatiques, un prédiagnostic pourrait être confié aux agents d'exploitation Les opérateurs ne peuvent assurer cette tâche qu'à condition de disposer des informations (alarmes données par le système, par exemple) et d'outils d'aide au diagnostic. L'outil d'aide au diagnostic a fait l'objet d'une étude confiée par le SIER à un bureau d'étude (CORT). L'objectif essentiel de l'intervention de CORT est l'élaboration d'un processus de traitement des incidents techniques de SIRIUS, avec la production d'un manuel de maintenance

On considère que les opérateurs disposent de ce manuel de maintenance pour la détermination de leur rôle dans les procédures de diagnostic et de déclenchement des

interventions. Imaginons qu'une panne de capteur ou de station vienne de se produire, le système informatique alerte l'opérateur de la présence d'un dysfonctionnement. A l'aide du manuel de maintenance et d'outils associés, il effectue un premier niveau de diagnostic.

Deux cas sont possibles dans les résultats de ce prédiagnostic : soit l'opérateur réussit à déterminer les causes avec certitude, soit il n'arrive pas à les déterminer complètement. Dans le premier cas, l'exploitant (PC) communique les résultats de prédiagnostic à l'équipe de maintenance en les accompagnant d'une proposition des délais d'intervention souhaitables en fonction de la disponibilité exigée et selon la gravité de la panne pour l'exploitation Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de procéder un diagnostic par les techniciens de Maintenance. Leur tâche consiste simplement à planifier, à déclencher et à coordonner l'intervention des sous-traitants.

Au cas où le prédiagnostic n'arrive pas à identifier les causes, l'exploitant fera appel à l'intervention des techniciens de maintenance pour le diagnostic et pour la réparation. Selon la gravité des pannes, l'équipe de Maintenance décide d'envoyer, tout de suite ou ultérieurement un technicien sur le terrain pour réaliser un diagnostic. Pour les pannes graves, le diagnostic doit être fait sous 48h. Le délai d'intervention pourrait être variable pour des pannes secondaires du RAD en fonction de la disponibilité des techniciens.

Cette option présente l'avantage essentiel d'éviter le déplacement d'un technicien de maintenance sur le site pour certaines pannes, car les prédiagnostics effectués par les opérateurs peuvent identifier les causes Ceci permet de réduire très sensiblement le délai entre l'apparition de la panne et le diagnostic. Pour ce faire, il faut non seulement mettre à la disposition des operateurs les outils d'aide au diagnostic, mais aussi former les opérateurs d'exploitation afin de mieux d'assurer les prédiagnostics.

Dans une telle optique, en ce qui concerne le contrôle du fonctionnement du RAD, les opérateurs s'occupent principalement de l'observation des pannes graves pendant le fonctionnement opérationnel du système. Le contrôle global et détaillé des données sera à la charge de l'Equipe de contrôle de qualité définie précédemment. Ce contrôle se base essentiellement sur la base de données statistiques. Ainsi les opérateurs d'exploitation peuvent se libérer d'une grande partie de leurs charges lourdes de vérification des données et se concentrent davantage sur la tâche de prédiagnostic.

Par ailleurs, il convient de distinguer les pannes graves mais peu fréquentes pour lesquelles on privilégie un déclenchement rapide de l'intervention de maintenance. Pour

gagner du temps en réactivité d'intervention et particulièrement pour les pannes intervenant de nuit, il est possible de laisser l'initiative du déclenchement de l'intervention à l'opérateur d'exploitation. Pour des modes de défaillance fréquents mais peu graves qui ne mettent pas en cause le RAD sur un tronçon d'autoroute de plus de 2 km, on a plutôt intérêt à privilégier l'efficacité du diagnostic. Dans ces cas, l'ordre d'intervention des sous-traitants ne sera pas donné par l'exploitant mais par l'Equipe de Maintenance après des diagnostics sur site.

4). La définition d'une procédure de maîtrise du RAD

Il s'avère nécessaire d'établir un cahier de consignes entre l'exploitant et la cellule de Maintenance pour des dispositifs du RAD (idem pour d'autres types d'équipements) afin de formaliser certaines choses entre les acteurs concernés dans la mesure où une "démarche d'exploitation" est adoptée par tous. A partir des connaissances que l'on a sur les différents types de pannes et selon leur gène pour l'exploitation, ce cahier doit expliciter, pour chaque acteur, ses tâches, sa responsabilité, les démarches à effectuer en cas de panne des dispositifs du RAD et les délais à respecter.

La procédure à mettre en place pour mieux maîtriser le RAD est composée de trois étapes traditionnelles : identification des dysfonctionnements, diagnostic et réparation. Ces trois étapes successives doivent être accompagnées par des flux d'information nécessaires.

A partir des outils cités précédemment et notamment avec l'aide de l'Equipe de contrôle de qualité, l'exploitant est susceptible de connaître les dysfonctionnements du RAD. Cela est surtout rendu possible par un contrôle régulier (chaque semaine par exemple) et systematique sur les données par l'Equipe de contrôle de qualité. Cette dernière communique le bilan du RAD à chaque secteur (PC). A partir de ce bilan et avec les dysfonctionnements détectés par des tests effectués en temps réel, chaque PC va pouvoir classer les pannes, s'il y en a plusieurs, selon leur gravité et surtout leur gêne estimée pour l'exploitation. Chaque PC demande en suite l'intervention de la cellule de Maintenance afin de faire des diagnostics et des réparations.

La diversité dans la pratique de signalement de dysfonctionnements citée plus haut fait qu'il s'avère indispensable de formaliser la communication entre l'exploitant (PC) et la cellule de Maintenance. La solution la plus simple serait de renforcer l'utilisation des fichiers "pannes" existants de manière à ce qu'ils puissent fournir des informations

nécessaires[12] pour la cellule de Maintenance afin de bien organiser les interventions des techniciens pour l'ensemble du RVR.

La cellule de Maintenance enregistre toutes les fiches de signalement et planifie les interventions des techniciens selon la gravité, la gêne estimée. Le cas échéant, elle concerte l'exploitant pour des diagnostics nécessitant l'arrêt de certains équipements ou sous-systèmes. Une fois faite la planification des interventions de diagnostics, la cellule de Maintenance est tenue de communiquer à l'exploitant les informations concernant les interventions pour remédier aux dysfonctionnements signalés.

Suite aux diagnostics, les techniciens de maintenance vont déclencher l'intervention des sous-traitants selon les modalités définies dans les contrats. Après la remise en fonctionnement normal des équipements, la cellule de Maintenance sera tenue d'en informer l'exploitant pour que ces équipements soient réintégrés dans l'exploitation.

5). La maîtrise des opérations de maintenance effectuée par les sous-traitants assurée par la cellule de maintenance

La maîtrise des operations de maintenance effectuées par les sous-traitants nécessite des améliorations notamment sur la gestion des contrats et sur le contrôle des travaux réalisés Le nombre de contrats a ete reduit d'une vingtaine (en 1990) à 4 actuellement. Cela a pour avantage de faciliter la gestion des contrats. Dans ce contexte, le choix des entreprises compétentes est crucial

2. Traitement des grosses pannes exceptionnelles

Il convient de preciser que les grosses pannes exceptionnelles concernent ici notamment des pannes du RAD pour causes des travaux effectués par les DDE. Force est de constater que les travaux d'entretien de la chaussée effectués par les huit DDE de la région influencent considerablement le fonctionnement du RAD dans la mesure où des boucles et des câbles sont abîmes par ces travaux. La réparation de ce type de pannes est plutôt une affaire administrative qui depasse la procédure de maintenance ci-dessus exposée et qui necessite des mesures spécifiques pour que les pannes soient réparées dans les délais les plus courts possibles

[12]des informations comme la nature de dysfonctionnement, sa localisation, la date et l'heure de son apparition, la gravite, la gêne pour l'exploitation, les délais de réparation souhaitables...

La résolution de ce problème dépend d'une meilleure coopération et de coordination entre les huit DDE de la région et le SIER. Ces acteurs appartenant à un même système administratif (en l'occurrence le Ministère d'Equipement), exercent chacun leurs compétences propres vis-à-vis du RVR (gestion du trafic et gestion de l'infrastructure). L'absence d'attention aux équipements d'exploitation sur le terrain dans la conduite des travaux d'entretien de la chaussée relève le problème générale de la communication entre eux.

En plus d'une démarche coopérative entre le SIER et les DDE (concernant les travaux afin de diminuer ce types de pannes exceptionnelles), une solution administrative pourrait être envisagée en cas de travaux qui provoquent des pannes exceptionnelles de RAD. Elle consiste à donner, par les DDE, des crédits au SIER pour réparer les pannes, le SIER répare ensuite les équipements détériorés en fonction de ses critères (homogénéité des matériels par exemple).

Plus fondamentalement, il s'agit de l'organisation du système d'acteurs pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France. Ce problème d'acteurs fera l'objet du chapitre suivant

D : Définition d'un scénario plausible de dimensionnement des effectifs de maintenance

Hypothèse

A l'appui de l'exploration de ce scénario, une étude approfondie a été menée en vue d'une mise en coherence des differents contrats de sous-traitance avec les contraintes et les objectifs du service (voir annexe n° 12). Au total, il existe une dizaine de contrats de maintenance

Les contrats ne precisent pas toujours directement les astreintes assurées par les entreprises prestataires Cette question est évidemment liée à celle des procédures de déclenchement des interventions des prestataires qui seront finalement mises en place, ainsi que de la part que pourront prendre dans ces procédures les opérateurs d'exploitation , celle-ci dépendant à son tour des informations qui seront rapatriées sur leur pupitre (alarmes, aide au diagnostic...).

Pour bâtir ce scénario organisationnel de maintenance, nous somme amenés à faire deux hypothèses concernant le rôle des opérateurs d'exploitation et la modalité de déclenchement des interventions des prestataires :

Hypothèse 1 : les opérateurs disposent d'un certain nombres d'outils d'aide à la tâche de prédiagnostic des pannes des équipements et des systèmes informatiques.

Hypothèse 2 : les opérateurs ne déclenchent pas directement la procédure d'intervention des entreprises prestataires, mais réfèrent des interventions au technicien de maintenance. Ce dernier déclenche les interventions des entreprises prestataires.

Scénario organisationnel

Les résultats de l'étude réalisée par LE NY en 1992 sur les défaillances des équipements dynamiques ont montré que la période de 6 heures du matin à 22 heures du soir des jours ouvrables apparaît comme la période véritablement critique[13], ce qui suppose une présence permanente d'un technicien de maintenance à chaque PC pendant cette période et permet de ne pas garder la même organisation pendant le week-end que celle du reste de la semaine. Cette étude a montré également que le deuxième mode critique se situe la nuit, ce qui laisse supposer qu'il faudra avoir la possibilité de déclenchement de la maintenance de nuit

A partir des résultats de cette étude et des hypothèses faites ci-dessus, nous proposons un scénario d'organisation de la maintenance :

- pour la période de 6h à 22 h des jours ouvrables, un technicien est en permanence dans chaque PC (soit 16 heures de travail par jour et par PC). Selon le "Cahier 12 de "Statuts des personnels de l'Etat[14]", les heures accomplies non comprise dans l'horaire réglementaire de 39 heures par semaine, donnent lieu à majoration de 119%. En appliquant ce principe, le nombre d'heures de travail par jour et par PC est de :

$$8 + 8 \cdot 119\% = 17.52 \text{ (heures)}.$$

- pour le week-end, une astreinte est assurée à domicile. Un technicien de maintenance est chargé de l'ensemble du réseau (astreinte comptabilisée 0.5 jour par semaine).

- même démarche pour la nuit (de 22h à 6h), l'astreinte est comptabilisée 12h/mois/PC comme charge de travail de nuit).

---

[13]selon un critère de criticité définie comme gravité des pannes multipliée par leur fréquence.

[14]cf. 9.2.2. du Cahier 12. "Ouvriers des parcs et ateliers des ponts et chaussées et des bases aériennes", Statuts des personnels de l'Etat. Volume 2 / équipement, juin 1993.

Ce scénario a l'avantage d'éviter la présence permanente d'un technicien de maintenance dans les PC pendant la nuit et le week-end. Cependant il permet de déclencher des interventions de maintenance grâce à une astreinte.

Calcul des effectifs en techniciens de maintenance

Les charges de travail sont calculées d'après le principe d'organisation ci-dessus. Le besoin en heures de travail est dès lors le suivant :

Pour les jours ouvrables :

17.52 h/j/PC • 5 j/semaine • 52 semaine/an • 4 (PC) = 18220.8 h/an

Pour les nuits : 12 h/mois/PC • 4 (PC) • 12 mois = 576 h/an

Pour les week-ends : 8 h/j • 0.5 j/week-end • 52 week-end = 208 h/an

---

Total = 19004.8 h/an

En principe, un agent travaille 39 h/semaine. Cela fait 2028 h/agent/an (théoriquement) En déduisant les formations (estimées à 10 jours ouvrables) et les congés (33 jours/an), il reste, en effet, 1684 h/agent/an. On a donc besoin d'un nombre d'agent de maintenance donné par la formule suivante :

19004.8 / 1684 = 11.29 agents.

Pour le scenario proposé, il faut donc avoir 12 agents pour les tâches non déléguables de la maintenance des équipements et des installations.

Une autre piste reste à développer dans l'avenir pour la maintenance de l'ensemble des équipements et des systèmes informatiques. C'est le recours à la télémaintenance, qui à terme pourra être organisée de manière centralisée au PC régional. Compte tenu des possibilités matérielles et humaines dont dispose le SIER actuellement, cette voie ne semble cependant pouvoir être examinée qu'à une échéance relativement lointaine.

VIII.5. CONCLUSION DU CHAPITRE

Le SIER a été mis en place pour l'exploitation du RVR en Ile-de-France à travers notamment le projet SIRIUS. Notre recherche a montré que son ancienne structure ne lui

permettait pas de réussir le projet dans les meilleures conditions. Nous avons envisagé des scénarios d'évolution du SIER pour mener à bien le projet d'informatisation de l'exploitation du RVR.

La structure proposée pour l'organisation du SIER pourrait servir d'exemple pour les services d'exploitations des RVR des grandes agglomérations nécessitant la mise en place de systèmes modernes d'aide à l'exploitation. Une structure stable pourrait être constituée de trois groupes (divisions) : Système, Exploitation et Etudes, avec des fonctions de coordination-supervision pour gérer les interfaces entre les différents groupes.

<u>Quelle stratégie d'information des usagers</u>?

En matière de système automatisé d'information routière, on peut distinguer quatre niveaux de service :

- donner aux usagers des informations de confort (température extérieure, état global du trafic sur un axe, voire temps de parcours moyen sur cet axe...),
- donner aux usagers des informations de sécurité (formation d'un bouchon, position et longueur de ce bouchon ..),
- guidage statique,
- guidage dynamique (systèmes embarqués).

Il est bien évident que le deuxième type d'information est beaucoup plus exigeant que le premier à la fois en terme d'équipements (viser à une information précise dans le temps et dans l'espace implique une densité plus grande de capteurs et de stations de mesure), en terme de fiabilité et de maintenance de ces équipements et en terme d'exploitation. Notons que c'est bien ce second choix qui a été fait avec SIRIUS. Les avantages d'un tel systeme, dès lors qu'il est opérationnel, sont évidents : ils permettent en particulier de constituer une base de données en temps réel susceptible d'alimenter des systèmes embarqués (et l'expérimentation de CARMINAT sur ce site en est un exemple). Ils constituent donc un choix d'avenir

Ce choix politique de donner une information de sécurité présente un défi permanent pour le SIER. La maîtrise du RAD est cruciale pour le service afin de faire face à ce défi. Elle s'obtient par la mise en cohérence des équipements et le contrôle des résultats aussi et surtout par la mise en place d'une maintenance adaptée.

Dans le passé, la maîtrise du RAD a souvent été négligée dans la conception et la mise en service des systèmes modernes d'exploitation des RVR. Cette négligence est un grand handicap pour la réussite des projets d'exploitation et pour le développement de nouvelles stratégies d'exploitation. Dans la suite du projet SIRIUS et pour le développement de nouveaux systèmes d'exploitation, il convient de faire extrêmement attention au problème de la maîtrise du RAD.

Il s'avère nécessaire de renforcer le contrôle et de mettre en oeuvre une véritable procédure de maintenance. L'efficacité de maintenance du RAD renvoie en fait à un autre problème : celui de l'organisation du service chargé de l'exploitation. La communication et la mise en place d 'un cahier des consignes entre les acteurs concernés sont deux facteurs clés dans la procédure de maintenance afin de parvenir à satisfaire la contrainte de continuité d'exploitation.

Désormais, le système SIRIUS fonctionne déjà sur les trois quarts du RVR en Ile-de-France. Avec les outils développés, les mesures proposées et la procédure de maintenance mise en évidence dans le chapitre IV et le présent chapitre, l'exploitant se prépare mieux à l'exploitation du système SIRIUS. Aujourd'hui, il ne s'agit plus seulement de réparer et de prévenir, il faut encore savoir empêcher de tomber en panne. Plus qu'une simple technique d'intervention efficace, la maintenance doit devenir une technologie d'anticipation et de gestion, conséquence du développement rapide de la gestion informatisée

Parallèlement a des efforts techniques et organisationnels, il convient de revenir sur la technique adoptée pour le RAD. En réalité, les boucles électromagnétiques ont été initialement utilisées dans le domaine de l'ingénierie du trafic comme un moyen de comptage des véhicules Depuis, cette technique est utilisée pour faire des calculs plus complexes comme le TO et la vitesse. Force est de constater que le détecteur à boucle ne fonctionne pas de manière satisfaisante dans certains sites tels que dans des tunnels ou sur des ponts métalliques, par exemple. Ainsi il existe un besoin de mettre au point de nouveaux capteurs de circulation plus fiables et plus faciles à réparer (sans avoir à interrompre la circulation ou fermer des voies de circulation) et de concevoir des configurations informatiques plus sûres au plan des pannes (par exemple, micro-ordinateurs dédiés à une fonction et reliés par un réseau local), permettant une exploitation en mode dégradé des équipements d'information et de régulation.

Plus l'exploitation s'oriente vers un niveau élevé, plus la précision des mesures doit être grande et plus cette technique se montre limitée. De même, la robustesse s'avère de

plus en plus importante pour assurer la continuité d'exploitation 24h/24, dans les conditions climatiques variables et sous l'influence des travaux d'entretien de la chaussée. Le traitement d'image de vidéo en phase de recherche et de développement pourrait constituer une alternative aux boucles électromagnétiques en matière de mesure du trafic.

Certains dysfonctionnements du RAD relatifs à l'utilisation des boucles magnétiques sont inévitables. Dans une optique d'exploitation par la diffusion des informations de sécurité, parallèlement aux efforts techniques et organisationnels explicités plus haut, il est indispensable de prendre des mesures supplémentaires afin de surmonter les difficultés dues aux dysfonctionnements du RAD. L'une des possibilités consiste à faire des redondances en augmentant la densité du RAD. Cette option implique des investissements supplementaires et cette solution n'est pas la plus indiquée pour le système SIRIUS qui manque déjà de financement pour équiper la partie Ouest du réseau.

Une autre solution intéressante et réaliste consisterait à s'appuyer sur les outils de traitement des donnees robustes et tolérants. A ce problème, les outils de DAB développés au chapitre VI apportent une réponse. Cette piste de réflexion sera poursuivie au chapitre XI

Chapitre IX :

L'ORGANISATION DU SYSTEME D'ACTEURS

Le problème de l'organisation du système d'acteurs a été identifié dans le chapitre I sans être développé Ce chapitre a pour objectif d'analyser l'organisation actuelle des acteurs concernés par l'exploitation de ce réseau et de proposer une organisation adaptée de ce système d'acteurs afin d'en améliorer le fonctionnement.

Les missions d'exploitation du RVR sont largement partagées entre les différents partenaires. La nécessité d'une politique globale d'exploitation impose pour être efficace, une cohérence et une coordination dans les interventions que sont amenées à effectuer les différents partenaires D'ores et déjà, l'utilisation optimale du réseau existant dépend dans une large mesure de l'organisation du système d'acteurs dont l'usager fait partie.

IX.1. ANALYSE DE L'ORGANISATION ACTUELLE DU SYSTEME D'ACTEURS

IX.1.1. Les partenaires et leurs missions

L'exploitation du RVR d'Ile-de-France fait intervenir plusieurs partenaires: le SIER, les DDE, les CRS, la Ville de Paris, les collectivités locales, la Police, la Gendarmerie, le CRICR, les médias pour information des usagers et les nouveaux prestataires de service (système embarque) Il convient de distinguer deux types de partenaires : ceux qui ont des responsabilités directes sur le fonctionnement du RVR et ceux qui sont simplement concernés par leur exploitation Schematiquement, la Fig.9.1 montre ces deux types de partenaires pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France.

A : L'organisation administrative

Le BP, de statut communal, est géré par les services techniques de la Ville de Paris et de la Préfecture de Police, à partir du PC du Quai d'Ivry, avec son propre système d'aide à l'exploitation

Le reste des voies rapides qui constituent le réseau principal sont gérées par le SIER qui dépend de la DREIF, en association avec les Compagnes Républicaines de Sécurité (CRS) et les huit Directions Départementales de l'Equipement (DDE). Ce réseau est géré à l'aide du système SIRIUS.

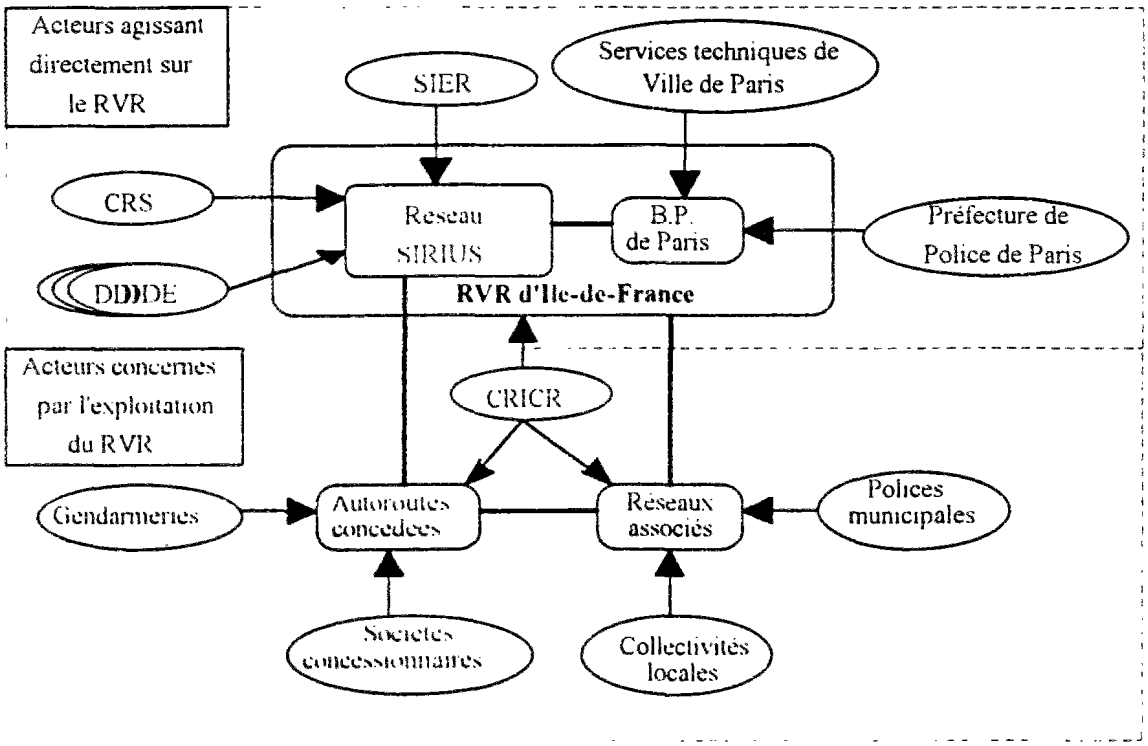


Fig.9.1 : L'ensemble des acteurs pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France

Le réseau principal est découpé en 4 secteurs radiaux, chacun géré par un Centre d'Exploitation de Secteur Des equipes d'opérateurs (les agents du SIER et ceux des CRS), présentes 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, centralisent les actions d'exploitation depuis des postes de commandement, en situation normale comme en situation exceptionnelle (accidents, travaux)

Les services techniques qui assurent l'exploitation de ce réseau dépendent principalement de trois entités administratives :

- les services techniques de la Ville de Paris pour le BP,
- les huit DDE qui disposent de subdivisions d'exploitation et d'entretien,
- la Direction Régionale de l'Equipement qui par l'intermédiaire du SIER, intervient opérationnellement pour l'exploitation dynamique du réseau principal.

En plus, certains tronçons d'autoroutes faisant partie de ce réseau régional de voies rapides sont exploités par des concessionnaires en association avec la gendarmerie.

Par ailleurs, les 475 km (chiffre 1994) du réseau régional dépendent de trois types de collectivités publiques différentes et sont parfois assujettis sur un même axe à une délimitation complexe des compétences territoriales de la police de la route (voir tableau 9.1).

Tableau 9.1: Composition du RVR et compétences territoriales de la police de la route (en 1994)

Statut	Longueur total	CRS	Gendarmerie	Police urbaine	Préfecture de police de Paris
Autoroutes	312 km	305 km	7 km		
Routes nationales	104 km	42 km	26 km	36 km	
Chemins départementaux	24 km			24 km	
Voies communales	35 km				35 km
Total	475 km	347 km	33 km	60 km	35 km

B : Les missions des partenaires agissant directement sur le réseau principal :

SIER Le SIER est le gestionnaire du trafic sur le réseau principal. A ce titre, il assure:
- la définition et la mise en oeuvre des politiques d'exploitation,
- la conception, la réalisation et la maintenance des équipements dynamiques et des systemes d'exploitation,
- la mise en place et la réalisation des actions de régulation (détection rapide des incidents, contrôle d'acces, fermeture d'accès, information des automobilistes, etc.),
- le pilotage et la coordination de l'action des différents services de l'équipement en matiere de gestion du trafic.

DDE Les DDE sont les maîtres d'ouvrage de l'infrastructure. Leurs missions concernent
- l'entretien et la remise en état de la chaussée,
- le suivi de l'état et du fonctionnement des infrastructures, des équipements inertes et de l'éclairage,
- l'intervention sur incident,
- le service hivernal.

CRS Elles sont spécialement chargées des missions de sécurité. Elles assurent :
- la patrouille de surveillance,
- la télésurveillance en permanence du trafic,
- la réponse aux appels du RAU,
- l'intervention sur accident,
- la coordination des interventions des dépanneurs, pompiers, SAMU, etc.

CRICR Centre interministériel régi par le protocole du 18 juin 1990, composé du personnel de la Gendarmerie, de la Police et de l'Equipement (Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière). Il est chargé de :
- recueillir, traiter, et diffuser l'information routière au niveau régional (sur l'ensemble du réseau routier et autoroutier),
- aider à la coordination des actions d'exploitation du trafic.

Une répartition analogue des tâches s'observe également pour l'exploitation du BP. Tous ces services nécessitent à l'heure actuelle, une sérieuse coordination.

IX.1.2. La situation actuelle de l'organisation du système d'acteurs

On voit que deux organisations indépendantes existent pour l'exploitation de ce réseau : celle concernant l'exploitation du BP de Paris et celle relevant de l'exploitation du réseau principal Ce découpage administratif lié au statut des voiries rend difficile la mise en place d'une politique commune de l'exploitation.

En ce qui concerne le réseau principal, le SIER pilote et coordonne l'action de l'ensemble des services de l'équipement (des DDE) en matière d'exploitation : planification des chantiers, coordination des fermetures nocturnes et des chantiers, organisation d'opérations retour de week-end (Plan PALOMAR[1]), approbation des mesures d'exploitation sous chantier, réalisation des plans d'intervention sur voies rapides, etc.

L'expérience des plans PALOMAR a démontré en effet l'efficacité d'une organisation technique et administrative destinée à coordonner tous les services intervenants dans l'exploitation, à assurer en temps réel les échanges d'information, et à mettre en oeuvre les mesures de gestion du trafic [SETRA, 1993].

[1]Ces opérations de gestion du trafic lors des grandes migrations, sont caractérisées par une importante concertation préalable entre les services impliqués, par une forte coordination dans leur mise en oeuvre, coordination obtenue par le regroupement des pouvoirs décisionnels dans un PC, sous l'autorité unique du Préfet de Région

Concernant la gestion des incidents, l'organisation des acteurs se fait selon un cahier de consignes et des plans d'intervention d'urgence préétablis. Ces derniers définis en commun par les trois acteurs principaux, prévoient pour chaque grande classe de problème, les mesures d'exploitation à prendre en précisant notamment le rôle de chaque service et les procédures à suivre.

IX.1.3. Les problèmes existants

A : Un cas concret

Cet exemple porte sur une histoire vécue par un usager du réseau avec les messages concernant les conditions de circulation sur le BP et délivrées par PMV situés sur le réseau principal et gerés par le SIER.

Le soir du 28 juillet 1992 (mercredi), cet usager partait de son lieu de travail (Noisy-le-Grand) pour rentrer chez lui (Paris 15e). Il a pris son itinéraire habituel par les voies rapides (A4 - BP - Paris) A l'époque, le système SIRIUS était mis en service sur A4, et notre usager tenait compte des messages des PMV. Mais ce soir-là, il s'est posé la question de la crédibilité du système après la rencontre de messages non cohérents tout au long de son itinéraire

- Le panneau situé dans le sens Noisy - Paris avant la sortie vers A86 Nord était illisible. Il a pu lire le même message "LLIIDE" sur deux lignes. Il a pensé que c'était fluide sur les deux directions

- Sur l'autoroute A4, le PMV juste avant le BP affichait :

"BP → A3 Fluide" et "BP → A6 Fluide"

- Un peu apres 21 heures, il arrivait sur le BP au niveau de la porte d'Ivry. Le panneau sur le BP a la porte d'Ivry annonçait une fermeture du BP à la hauteur de la porte d'Italie "Autrement dit BP → A6 est d'autant plus fluide que depuis 21 heures on ne pouvait plus l'emprunter! Merci à SIRIUS de nous avoir prévenus à l'avance".

- Cet usager s'est exprimé ainsi : "Un message sur le panneau situé à A4 juste avant BP . "BP Sud = Fermé" m'aurait évité de perdre un quart heure. Et il faudrait l'afficher 10 mn avant l'heure de fermeture pour tenir compte du temps nécessaire pour y arriver".

Analyse :

L'origine des messages illisibles sur le premier panneau rencontré par cet usager pourrait être une panne liée au fonctionnement de PMV. Par contre, le fait d'avoir affiché sur le deuxième panneau (juste avant le BP) le message : "BP → A6 Fluide" au lieu : "BP Sud = Fermé" est strictement lié à une coordination insuffisante, voire à l'absence de coordination de l'exploitation du BP avec celle du réseau principal. Dans ce contexte, l'exploitant du réseau principal (PC Est) n'était pas informé de la fermeture du BP. L'opérateur du PC Est n'a donc pas pu afficher le message pertinent concernant cette fermeture.

B : les problèmes existants

Du point de vue de l'organisation des acteurs, l'exploitation du RVR en Ile-de-France soulève les problemes principaux ci-dessous :

1) Concernant les acteurs agissant directement sur ce RVR, il n'y a pas d'organisation entre les acteurs du reseau principal et ceux du BP de Paris.

Au vu des usagers, le BP fait partie integrante du fonctionnement régional de voies rapides Pourtant, son exploitation est totalement indépendante de celle du réseau principal Dans ce contexte, il peut y avoir des politiques et des stratégies différentes ou même contradictoires appliquees sur les deux parties d'un même réseau fonctionnel. Concrètement, comme l'exemple ci-dessus l'a montré, dans une politique d'information en temps reel des usagers, s'il n'y a pas de politiques communes d'affichage des PMV, la crédibilité des systemes d'information sera mise en cause par le simple fait que des messages sont differents pour une même perturbation sur le RVR.

L'exploitation independante du BP et du RVR est un problème majeur pour la mise en place d'une politique coherente d'exploitation sur l'ensemble du réseau. A défaut de politique commune, la communication entre les partenaires devrait être renforcée afin d'améliorer la circulation des informations Sans cette concertation minimale, des actions incompatibles, voire contradictoires sont parfois menées, réduisant ainsi à néant les effets bénéfiques de chaque systeme d'information pris séparément.

2) Pour le reseau principal, la communication entre les acteurs principaux est insuffisante et l'organisation des acteurs pour l'exploitation sous chantiers courants est inadaptée.

L'exploitation du réseau principal fait intervenir trois services d'Etat (SIER, DDE et CRS). Pour obtenir l'efficacité optimale du fonctionnement du réseau, les acteurs, compte tenu de leur spécificité d'intervention propre, ne peuvent pas être totalement déconnectés les uns des autres.

Même si le SIER assume la responsabilité globale de l'exploitation sur le réseau principal, les DDE conservent un rôle essentiel en tant que gestionnaire de l'infrastructure et les C.R S assurent la mission de sécurité. Il importe donc, pour le succès de la nouvelle politique d'exploitation, que l'ensemble des services se mobilisent de manière concertée pour offrir aux usagers le meilleur niveau de service possible et, au-delà des principes generaux, définissent en commun les modalités pratiques de leur collaboration [PREFET, 1988]

Aujourd'hui, une vraie communication n'existe pas encore entre ces acteurs. Le seul dispositif qui regule l'intervention des différents services est le cahier des consignes. Incontestablement, ce cahier est indispensable pour le partage de la responsabilité et des différentes tâches relevant de la compétence de chaque service. Cependant, il n'est pas suffisant pour garantir a lui seul les objectifs assignés. En fait, on constate que l'information circule parfois mal entre ces services. D'autant plus que le niveau de concertation reste a renforcer

Un autre probleme reside dans la procédure d'exploitation du réseau principal: celui de l'organisation des chantiers courants En fait, les chantiers non courants sont encadrés par un régime d'autorisation alors que les chantiers courants ne sont soumis qu'à un régime de simple declaration et sont portés à la connaissance de chaque acteur [DSCR, 1993] L'experience montre que ces derniers causent souvent un niveau important de perturbation sur la circulation Il convient de modifier certaines clauses concernant l'organisation de l'exploitation sous chantiers courants dans la circulaire relative à l'exploitation sous chantier

3) Il manque un niveau de coopération et de coordination entre les acteurs agissant directement sur le reseau et ceux concernés par l'exploitation du RVR.

Comme le montre la Fig.9.1, de nombreux autres acteurs sont concernés par l'exploitation de ce réseau. Notamment, la mise en place des contrôles d'accès et en cas de besoin des délestages nécessitent leur coopération. Malheureusement, jusqu'à maintenant, il n'y a pas eu de véritable coopération entre les deux niveaux d'acteurs. En fait, ces acteurs concernés sont des gestionnaires des réseaux associés au RVR. La complémentarité des actions pour l'exploitation du RVR implique une interface et une communication entre les différents partenaires et les différents niveaux territoriaux.

Dans ce qui suit, nous examinerons successivement plusieurs domaines où le renforcement de la coopération entre acteurs paraît indispensable.

IX.2. COOPERATION ENTRE LE SIER ET LA VILLE DE PARIS

L'importance du BP dans le maillage du réseau nécessite la cohérence des politiques d'exploitation, en particulier dans la diffusion d'information par PMV. Il est nécessaire qu'un protocole soit defini entre la Ville de Paris et le SIER, comme le révèle le cas concret étudié plus haut, afin d'accroître l'efficacité des systèmes d'exploitation et par conséquent d'utiliser au mieux ce réseau

Nous proposons trois niveaux de coopération entre ces deux acteurs :
- échange d'information,
- politique commune d'information pour les usagers,
- stratégie intégree de régulation

IX.2.1. Echange d'information

L'échange d'information devrait constituer le premier maillon de coopération entre le SIER et la Ville de Paris. Il se fonde sur le principe d'échange d'informations opérationnelles, chacun prenant en compte du mieux possible les informations échangées dans les actions d'exploitation

Il s'agit notamment de mettre à la disposition de chacun des informations concernant les perturbations prévisibles (travaux, manifestation) et aléatoires (accidents) qui ont une conséquence sur le BP et sur le réseau principal. Les informations à échanger comprennent la description de l'événement ainsi que les mesures d'exploitation prévues.

Concernant les perturbations prévisibles

Le PC du BP et les PC du SIER doivent tenir informé le ou les PC concernés par des événements perturbateurs prévisibles (chantiers, manifestation, fermeture des voies...) sur support papier au moins 48 heures avant les événements prévus.

Concernant les perturbations aléatoires

Les perturbations aléatoires provoquées par des accidents et par d'autres incidents doivent être communiquées immédiatement par le PC chargé du traitement de la perturbation aux PC concernés afin que ces derniers puissent prendre à temps des mesures adéquates d'exploitation pour éviter ou atténuer l'ampleur des perturbations au niveau régional.

Conditions nécessaires pour la réussite d'un tel échange d'information

- volonté de coopération entre les exploitants,
- adoption d'un principe et de procédures d'échange d'information,
- établissement d'un cahier de consignes,
- changement d'état d'esprit des exploitants : vers une exploitation plus intégrée en réseau

Effets attendus de cet échange d'information

- Cet échange d'information permettra à d'autres PC de connaître les difficultés (futures et présentes) de circulation sur l'ensemble du réseau.
- Cette connaissance va permettre de mieux guider les usagers dans leur choix d'itinéraires en leur fournissant les informations fiables et pertinentes.
- Il permettrait d'eviter l'incohérence des informations délivrées par différents PC vis à vis d'un même evenement Par exemple, il pourrait permettre d'éviter une situation telle qu'elle a été décrite dans l'exemple cité plus haut.

Potentialité de cette option de coopération

Dans une phase plus achevée, cet échange d'informations pourrait être systématique et automatique avec l'interconnexion des bases de données des deux exploitants [OPEFORM, 1991] Cette interconnexion peut permettre à chaque exploitant d'obtenir les informations pour l'exploitation opérationnelle précédemment décrite ainsi que les

conditions du trafic en temps réel. Le fonctionnement de cette interconnexion repose sur le principe de la libre interrogation mutuelle des bases de données de chacun.

En plus, l'interconnexion des base de données peut permettre la création d'une base de données statistique pour l'ensemble du RVR. Elle pourrait être l'élargissement de la base de données statistiques pour le réseau principal dont on a parlé au chapitre précédent.

Avantage et limite

L'avantage principal de cette option est qu'elle ne nécessite pas d'investissements supplémentaires. Avec les dispositifs existants, l'échange d'information peut être rapidement mis en oeuvre. Par contre, cette option ne permet pas de garantir la coordination des traitements des perturbations, faute de structure coopérative.

IX.2.2. Politique commune d'information pour les usagers

L'information en temps réel des automobilistes est une action appropriée tant pour l'exploitation du BP que pour l'exploitation du réseau principal. Les usagers s'attendent à être informés et conseilles de façon cohérente, quel que soit le type de voie sur lequel ils circulent. Par conséquent, la politique d'information sur les deux parties du RVR ne peut pas être totalement independante l'une de l'autre, ce qui nécessite une coopération plus étroite des deux gestionnaires

Force est de constater que la politique d'information pour les usagers n'est pas la même pour le BP et pour le reseau principal des voies rapides. Sur le BP de Paris, une politique de diffusion d'information de confort (temps de parcours) a été adoptée. Tandis que sur le réseau principal, la politique d'information privilégie l'information de sécurité (messages de bouchon) Pour les usagers, il y a l'incohérence entre les messages délivrés sur le BP et le réseau principal, ce qui à notre sens amoindrit la crédibilité des systèmes d'exploitation.

Afin d'accroître la crédibilité des systèmes d'exploitation et notamment l'efficacité des systèmes d'information par PMV, il est indispensable de mener une politique commune d'information des usagers sur l'ensemble du réseau (y compris le BP). Pour ce faire, deux niveaux d'efforts sont nécessaires : au niveau décisionnel et au niveau des systèmes.

Le niveau décisionnel concerne les dirigeants de ces deux services d'exploitation. Les limites administratives doivent être dépassées et des initiatives de concertation doivent être prises afin de traiter le problème d'information sur l'ensemble du réseau.

Les deux systèmes d'exploitation sont indépendants l'un et l'autre. Une politique commune d'information pour les usagers implique l'homogénéité des systèmes d'information, notamment sur les vocabulaires utilisés. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce problème de vocabulaire dans le prochain chapitre.

IX.2.3. Stratégie de régulation

A : Principe

Ce niveau de coopération repose sur l'échange des informations et notamment sur la mise en place d'une structure coopérative de traitement des perturbations. L'objectif serait de gérer conjointement les perturbations graves qui ont d'importantes conséquences sur la circulation du BP et du réseau principal. La mise en place d'une telle structure cooperative implique, pour être efficace, l'établissement de plans de gestion du trafic.

L'expérience (cf. Annexe n°13 : Etude de cas) a montré la nécessité d'une exploitation concertée face à certaines perturbations qui ont des conséquences simultanées sur le BP et sur les voies rapides. Concrètement, il conviendrait de définir des procédures pour coordonner l'utilisation des PMV et des contrôles d'accès du réseau principal et du BP en cas de perturbations graves prévisibles (travaux, manifestation...) et imprévisibles (accidents)

B : Démarches

- Recensement d'un certain nombre de types de perturbations qui touchent en même temps le BP et le reseau principal, ou qui nécessitent une exploitation conjointe de ces deux réseaux.

- Pour chaque type de perturbations, des consignes devront être établies en concertation avec tous les acteurs concernés (services techniques, forces de l'ordre...) tout en respectant les principes suivants:

a). assurer la cohérence entre les informations délivrées sur les différents PMV,

b). présenter l'information à l'endroit où elle est utile à l'usager pour choisir un itinéraire alternatif.

- Etablissement des consignes concernant les informations à échanger entre les exploitants avec des délais imposés et surtout les recommandations sur les mesures d'information aux usagers et de contrôle d'accès.

C: Avantages et limites

Une telle démarche faciliterait la coopération entre les exploitants grâce à des références communes et a des rapports fréquents entre les PC. L'existence de référence des types de perturbation etudiés a l'avance permet d'agir vite pour éviter une dégradation rapide de la situation Il a pour inconvénient de ne traiter que les grandes perturbations et ne pas se fonder sur une politique commune d'exploitation.

IX.3. COORDINATION DES CHANTIERS

IX.3.1. Coordination des chantiers par le SIER

L'exécution des travaux, même de faible importance, engendre des difficultés de circulation qui entrainent des risques d'accidents, réduisent la qualité du service attendu par les usagers et provoquent des bouchons (pertes de temps nuisibles).

Des progres importants peuvent être obtenus dans ce domaine si les conditions d'exploitation sous chantier sont examinees par les gestionnaires du réseau dès les études préliminaires à leur realisation, afin de choisir les périodes d'exécution des travaux, les techniques mises en oeuvre et les mesures d'exploitation les plus appropriées et de réduire à leur minimum la gêne imposee aux usagers de la route.

Etude préliminaire :

Chaque chantier doit faire l'objet d'une étude d'exploitation destinée à définir les modalités d'écoulement du trafic pendant les périodes du chantier dans les meilleures conditions de temps, de fluidite, de sécurité et d'économie globale du chantier.

Programmation :

La programmation générale des travaux à réaliser à l'échelle régionale au cours de l'année doit être organisée de telle sorte qu'il n'existe pas de chantiers simultanément ouverts sur deux itinéraires dont l'un est utilisé en déviation totale ou partielle de l'autre.

Un effort doit être engagé pour minimiser les gênes occasionnées par les chantiers. Pour les chantiers non courants, une programmation régionale est établie conjointement six mois à l'avance par les différents services concernés (SIER, DDE, CRS, CRICR...). Si les chantiers non courants sont relativement bien planifiés et organisés du point de vue de la gestion du trafic sur le RVR d'Ile-de-France, la coordination des chantiers courants nécessite par contre une réflexion approfondie. Dans la pratique actuelle, les chantiers courants ne font pas l'objet de coordination à l'échelle régionale. Chaque DDE décide la mise en place des chantiers courants sur son territoire et informe les services concernés (SIER, CRS, CRICR...). En conséquence, les chantiers courants causent des perturbations importantes sur l'écoulement normal du trafic, faute de mesures d'exploitation adéquates.

Il faut que le SIER intervienne dans le processus de coordination des chantiers courants Son intervention pourrait se situer à deux niveaux .

- un niveau d'aide aux DDE dans des études préliminaires et de proposition des mesures d'exploitation sous chantier,
- un niveau d'autorisation et de planification des chantiers courants à l'échelle régionale. Pour chaque chantier, à partir des données historiques de trafic du système SIRIUS et à l'aide d'outils de simulation, il faut rechercher les meilleurs phasages des travaux et la répartition optimale des flux de trafic en fonction de divers scénarios de déviation, de délestage et d'affectation de voies.

Plusieurs facteurs sont favorables à une telle mission de coordination du SIER sur les chantiers courants et notamment

- Le SIER possede le système SIRIUS lui permettant d'avoir des données historiques pour faire des études préliminaires
- Etant le gestionnaire du trafic sur l'ensemble du réseau, il connaît bien le réseau à une échelle régionale, ce qui lui permet de proposer des mesures adéquates d'exploitation sous chantiers
- Les équipements de SIRIUS lui permettent de suivre en temps réel l'écoulement du trafic sous chantiers et d'informer en temps réel les usagers ainsi que de réguler le trafic par des contrôles d'accès et/ou dispositifs d'affectation automatique de voies.

Etant donnés ces éléments, le SIER peut proposer un calendrier pour l'exécution des chantiers courants sur l'ensemble du réseau en intégrant les contraintes pour l'exploitation et en s'appuyant sur le RAD et l'outil de simulation. Les DDE organiseront les chantiers courants dans leur territoire en respectant dans la mesure du possible ce calendrier mis en place par le SIER afin de minimiser les gênes sur la fluidité du trafic.

Notons que ce qui est ici proposé pour la gestion des chantiers se fait couramment à la SNCF : c'est l'exploitant (le PC de régulation) qui donne à l'Equipement les périodes où les travaux sont autorisés ("les blancs" travaux).

IX.3.2. Simulation des chantiers

A : Objectif

L'analyse ci-dessus montre que le SIER a un rôle important à jouer pour minimiser les perturbations liées aux travaux sur la circulation. En conséquence, il a besoin de disposer d'outils d'aide afin de quantifier les conséquences des travaux. Nous avons vu au chapitre VII que le modèle META peut être un appui pour aider à évaluer les influences des travaux sur les conditions de circulation (bouchons, temps de parcours etc.). Il peut donc être utilisé dans la planification des chantiers.

B : Procédure d'utilisation

- Configuration du modèle META et préparation des données

La configuration consiste a faire la description physique du site à étudier selon les consignes du modèle META, tout en integrant les éléments liés aux travaux (nombre de voies neutralisées et leurs longueurs, début et fin de travaux etc.).

Les données historiques (6mn par exemple) seront utilisées pour calibrer et pour alimenter le modèle META Pour être significatif, il faut trouver une journée représentative des conditions de circulation ou faire la simulation sur plusieurs journées. La vérification de la fiabilité des donnees disponibles est une étape indispensable. Elle peut s'appuyer sur les methodes proposées dans le chapitre IV.

- Calibrage du modèle META et simulation

a). Calibrage des trois paramètres (V_f, C_{cr}, a) du diagramme fondamental pour chaque station avec des données historiques et selon la méthode proposée dans le chapitre V;

b). Calibrage des autres paramètres nécessaires pour la simulation avec le programme d'optimisation incorporé à modèle META en utilisant les données historiques et les paramètres du diagramme fondamental ci-dessus.

Une fois calibré, le modèle META sera utilisé pour simuler, section par section, l'écoulement du trafic en utilisant les données de l'entrée et de la sortie principales du tronçon ainsi que celles des bretelles d'entrée et de sortie (si elles existent).

- Résultats

Les résultats issus de la simulation seront présentés qualitativement (sous forme de cartographies de bouchons) et quantitativement (vitesse moyenne, temps de parcours...). La comparaison entre les resultats issus de la simulation et ceux obtenus avec des données historiques mesurées permet de faire ressortir l'influence des travaux sur l'écoulement du trafic. De la même façon, le modèle META peut aider à tester plusieurs stratégies d'exploitation sous chantier

IX.4. GESTION DES INCIDENTS

Rappelons que 33% des heures perdues sur le RVR d'Ile-de-France sont la conséquence des accidents et incidents et que 25% sont dues à une cinquantaine d'accidents graves annuels creant des perturbations de plusieurs heures. D'où l'intérêt d'une meilleure organisation des acteurs pour la gestion des incidents. Les délais d'observation et les délais d'intervention en sont deux éléments clés pour améliorer l'efficacité de la gestion des incidents

L'objectif d'exploitation est donc, en cas de perturbations, de rétablir rapidement un niveau de viabilite correct sur l'itinéraire, et de mettre en place des mesures de gestion du trafic en amont de la zone perturbée. Il est indispensable de disposer, pour les

événements les plus perturbateurs, de plans de gestion du trafic établis de façon cohérente au niveau local et régional.

Les fonctions à mettre en oeuvre sont un rétablissement rapide de la viabilité, avec notamment des capacités d'intervention immédiate, une harmonisation de la préparation des interventions, une information en temps réel de tous les partenaires et une information dynamique des usagers par les PMV.

IX.4.1. Organisation

L'organisation de la gestion des incidents conditionne directement l'efficacité de l'exploitation. La gestion des incidents couvre les trois missions de l'exploitation (viabilité, gestion du trafic et aide aux usagers). En principe, l'organisation des acteurs doit permettre :

- une détection complète et rapide des incidents survenus sur l'ensemble du réseau,
- une rapidité d'intervention,
- une efficacité de traitement des incidents.

Le caractère variable et aléatoire des incidents rend leur détection difficile, l'ensemble des moyens humains et matériels organisés (voir la Fig.9.2 ci-dessous) en permet la détection complète et rapide

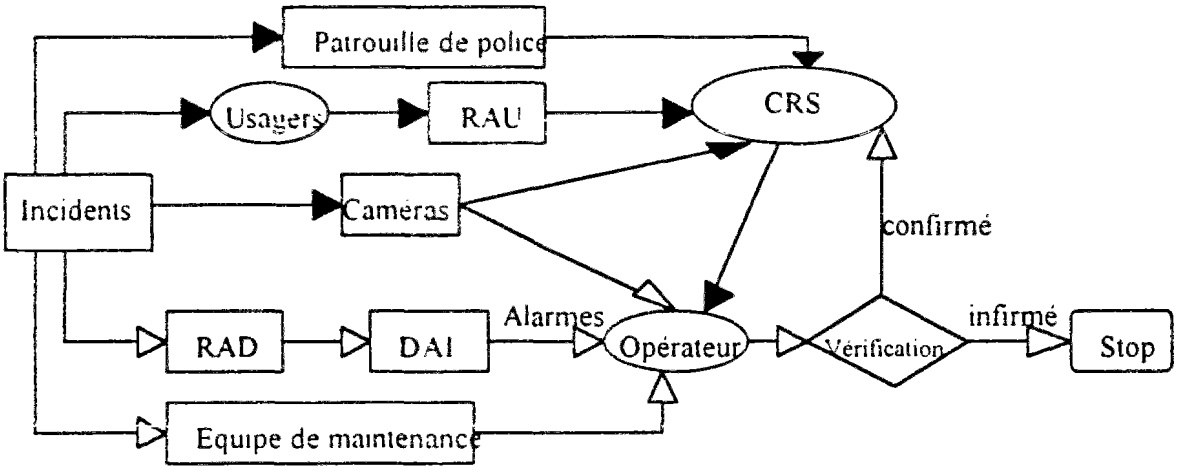


Fig.9.2 : détection des incidents sur le réseau principal

Les équipements du SIRIUS (RAU, RAD et caméras vidéo) permettent de raccourcir sensiblement les délais de détection des incidents et d'intervention. Selon une évaluation [SIER, 1994], grâce au système SIRIUS, on observe une accélération des interventions sur incidents de l'ordre de 10 minutes. Cette augmentation aura un double effet aussi bien sur la gravité de l'état des blessés ou par des décès évités que par la réduction des bouchons causés par l'accident.

Afin d'assurer l'efficacité de traitement des incidents, l'établissement des plans d'exploitation d'urgence s'avère indispensable. Ces plans prévoient la procédure d'intervention et la mise en oeuvre de mesures d'exploitation en cas de perturbation grave (coupure de la circulation par exemple) sur le réseau. Ces mesures, bien que de caractère tout à fait exceptionnel, représentent un enjeu certain pour l'exploitation du RVR en Ile-de-France. L'établissement de ces plans nécessite une concertation étroite entre les services départementaux (DDE, DDSP et Gendarmerie nationale) et interdépartementaux (SIER, CRS, Sociétés concessionnaires d'autoroutes).

Subordonnée a l'imbrication des réseaux et à l'imbrication des acteurs, celle-ci ne peut être que le résultat d'un travail collectif et coordonné, où l'échange entre partenaires débouchera sur une culture commune et solidaire au plan régional.

IX.4.2. Amélioration de la gestion des incidents par l'utilisation de l'outil de simulation

A : Gestion du trafic en cas d'incident

Une stratégie appropriée de l'exploitation des RVR consiste à développer des outils d'aide à la décision pour la mise en oeuvre des actions d'exploitation en cas d'incidents graves. Grâce au système SIRIUS, des actions d'exploitation (contrôle d'accès, information par PMV...) peuvent être mises en oeuvre afin d'éviter ou d'atténuer les conséquences de l'incident sur la circulation.

B : Utilisation du modèle META

Dans une telle optique, le modèle META peut être utilisé pour simuler l'influence de l'incident sur le reseau et il doit également avoir la capacité d'indiquer à l'opérateur (ou chef du PC) quelles seront les conséquences, à un horizon prédéfini, d'une stratégie

particulière qu'il se propose de mettre en oeuvre sur le terrain (information - conseil - guidage et contrôle d'accès).

Pour ce faire, le système informatique doit se doter des capacités suivantes :

- Reconfiguration automatique sur intervention de l'opérateur, pour tenir compte de la nouvelle géométrie due à l'incident;
- Possibilité de disposer des données historiques pour alimenter le modèle META (données de l'entrée principale du tronçon ainsi que concernant les bretelles d'entrée et de sortie).

C : Un scénario d'application

Pour illustrer cette fonction de prévision et d'aide à la décision en cas d'incident grave, nous proposons d'étudier un scénario tout à fait plausible sur le secteur Est de la région parisienne ou un grave accident vient de se produire (voir le schéma dans Fig.9.3) [MORIN, 1988] La fonction de prévision et d'aide à la décision dont l'essentiel est constitué par le modèle META intervient dans les opérations suivantes:

$t = t_0 = 7h$ accident sur le tronçon A4-A86 Un poids lourd obstrue 2 des 4 voies dans le sens Paris-Province, mais l'incident n'est pas encore connu du système.

$t_0 + 3$ mn L'incident est détecté par le système grâce au recueil de données et par un algorithme de DAI Une alarme est donnée automatiquement.

$t_0 + 8$ mn L'opérateur est informé par les CRS de la gravité de la situation: les deux voies neutralisées ne pourront être rendues à la circulation que dans un délai de 3 heures environ Celui-ci décide de communiquer l'information aux médias (radio, CRICR, MINITEL, etc.) et lance la fonction de prévision avec le modèle META en tenant compte des informations concernant l'accident Cette fonction utilise des données historiques donnant la demande habituelle dans cette période pour simuler l'évolution des caractéristiques d'écoulement (en particulier du temps de parcours). En prenant comme point de destination "Lille", le système compare les temps de parcours sur trois itinéraires principaux: itinéraire "normal" par l'A86, itinéraire 1 par l'A104 et itinéraire 2 par le BP et l'A3.

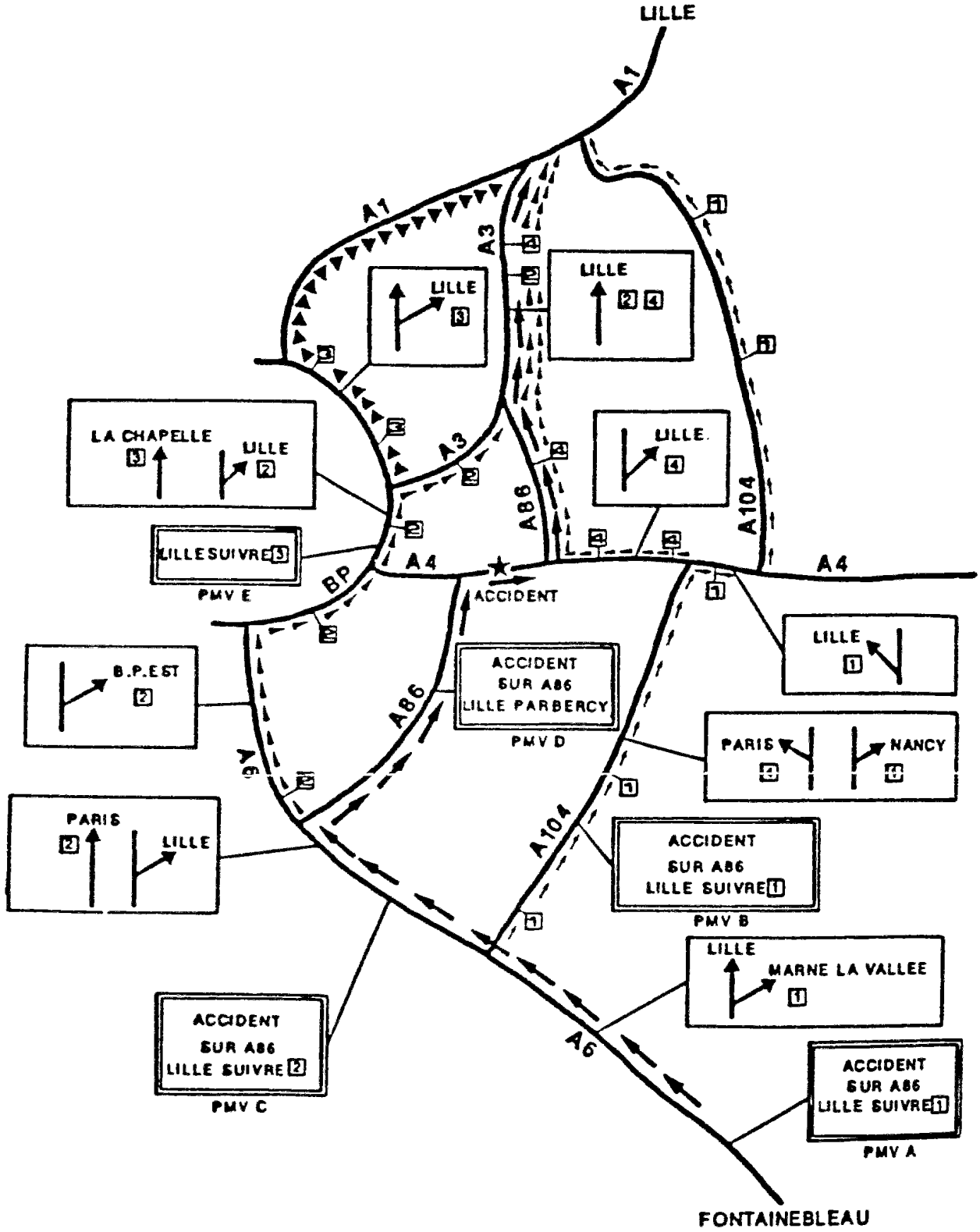


Fig.9.3 : Exemple de guidage par PMV

Il ressort de la simulation que, dans les 30 mn qui suivent, l'itinéraire Lyon-Lille par l'A104 va devenir plus rapide que l'itinéraire habituel par l'A86, et que cette situation va se prolonger pendant environ 2 heures si l'on n'effectue aucune action de régulation particulière. Pour pouvoir déterminer une stratégie de guidage, l'opérateur demande au système de faire deux simulations à l'horizon t + 2h 30 avec guidage par l'A104, l'une à partir de t, l'autre à partir de t + 30 mn.

t_0 + 15 mn Selon les résultats de simulation, l'opérateur active les différents PMV concernés

- Pour des usagers arrivant de l'amont :
  - PMV A: ACCIDENT SUR l'A86
  et PMV B: LILLE: SUIVRE 1 (guidage par l'A104)
- Pour les usagers déjà engagés sur l'A6:
  -PMV C ACCIDENT SUR A86
  LILLE: SUIVRE 2 (guidage par le BP et l'A3)
- Pour les usagers déjà engagés sur l'A86:
  - PMV D ACCIDENT SUR l'A86
  LILLE PAR BERCY (conseil de délestage)

t_0 + 30 mn Le suivi en temps réel de l'écoulement du trafic indique que les temps de parcours continuent à croître sur l'itinéraire par l'A86 (congestion grandissante) et sur l'itinéraire par l'A104, ce dernier étant devenu cependant plus rapide La fonction de prévision avec META, qui a recalé des données historiques en fonction des comptages actuels, indique que cette situation va durer environ une heure, mais au-delà, compte tenu de l'augmentation de congestion sur A104 dans sa partie entre l'A4 et l'A1, la variante 4 de cet itineraire va devenir plus rapide; Cependant, cette situation ne devant être que transitoire (pendant 30 minutes estime la prévision), l'opérateur décide de ne rien modifier dans ses affichages.

t_0 + 50 mn Un accident vient de se produire sur le Boulevard Périphérique extérieur, en amont de la porte d'Orléans; l'opérateur recale le modèle.

t_0 + 80 mn Cet accident a eu pour effet de rétablir la fluidité sur le BP entre la Porte Orléans et de Bagnolet, tendant à rendre l'itinéraire 2 plus rapide que l'itinéraire 1. Compte tenu des durées prévues des incidents et en faisant l'hypothèse sur la prise en compte des messages par les usagers (sous forme de pourcentage d'obéissance), le modèle de prévision avec le modèle META indique que, si aucune modification de guidage n'est effectuée, cet itinéraire va rester le plus rapide jusqu'à la fin de la période de pointe. L'opérateur modifie alors les PMV correspondants:

- PMV A = mise en neutre
- PMV B = mise au neutre avec un retard tenant compte du temps de parcours entre A et B
- PMV C = indication conservée
- PMV D = indication conservée

t_0 +120 mn Le suivi en temps réel indique que, suite à la manoeuvre précédente, la variante 3 (Bagnolet-Lille par La Chapelle) vient de devenir compétitive. L'operateur simule l'effet d'un basculement sur l'itinéraire 3 et constate une stabilité de la commande supérieure à 30 mn; il décide de l'appliquer sur le terrain

- PMV E LILLE SUIVRE 3

t_0 +150 mn Du fait de la diminution de la demande, le modèle de prévision indique que l'itinéraire 1 va redevenir compétitif. Cependant une information des CRS indique le prochain dégagement du PL accidenté sur le tronc commun. Ceci incite l'opérateur à conserver l'itinéraire 2 et à continuer d'optimiser le fuseau A1-A3-BP en jouant sur la variante 3.

t_0 +180 mn Le PL vient d'être dégagé (l'opérateur a rétabli la capacité normale de la section) L'itinéraire 1 et l'itinéraire normal désaturent ensemble; la prévision indique que l'itinéraire normal va redevenir compétitif dans 15 mn L'opérateur décide alors les actions suivantes:

- PMV D = mise au neutre
- PMV C = mise au neutre
- PMV E = mise au neutre un peu plus tard pour tenir compte du cheminement de C à E.

IX.4.3. L'exploitation sous accident

A : Les types d'accidents

Du point de vue de gestion de trafic, de part leurs conséquences sur la circulation deux types d'accidents sont définis [DREIF, 1] :

- Les accidents ordinaires. Ils se caractérisent par le fait qu'ils ne nécessitent pas l'ouverture d'itinéraires de délestage ou de déviation.

- Les accidents importants Ils nécessitent des opérations de déviation ou de délestage et, de ce fait, la mise en oeuvre d'un Plan d'Intervention d'Urgence (PIU), procédure qui a déjà fait l'objet d'un début de formalisation. Dans les cas exceptionnellement graves, ils peuvent déboucher sur la mise en place d'un plan ORSEC[2].

Statistiquement, les accidents ordinaires sont de très loin les plus nombreux. La fréquence des accidents importants sur une autoroute radiale comme l'A1 ou l'A6 peut être estimée à un cas tous les quinze jours. Il est donc nécessaire d'établir des plans d'intervention d'urgence

La notion de gravite de l'accident ne prend pas en ligne de compte directement les conséquences corporelles de l'accident. Cette classification est donc totalement indépendante de celle des forces de police indiquant le degré de gravité par les trois classes AI, AII et AIII

B : Le déroulement des opérations

Dans la pratique actuelle, le PC (CRS) est averti de l'accident par le RAU, une patrouille de police ou il détecte l'existence d'un accident par les caméras. Il envoie alors sur place une patrouille motocycliste (sauf si celle-ci y est déjà) pour avoir de plus amples d'informations. Les premières informations du terrain donnent les indications suivantes :

- La localisation de l'accident (sens, point de repère...),
- Une première évaluation des dégâts corporels et matériels,
- Les besoins en secours (SAMU, pompiers, dépanneurs, service de nettoyage...),

[2]Définis par la loi du 22 Juillet 1987, les plans ORSEC recensent les moyens publics et privés susceptibles d'être mis en oeuvre en cas de catastrophes et définissent les conditions de leur emploi par l'autorité compétente pour diriger les secours.

- Une première indication concernant l'incidence sur la circulation : nombre de voies neutralisées, état du trafic.

A partir de ce premier flot d'information, les CRS du PC effectuent les premiers appels (DDE, pompiers, dépanneurs, CRICR...). L'opérateur d'exploitation du SIER connaît instantanément l'accident car il se trouve dans la même salle d'exploitation que les CRS.

Le PC (CRS en concertation avec l'agent d'exploitation du SIER) décide de la mise en oeuvre du PIU. Afin de prendre cette décision, il peut être demandé au terrain des compléments d'informations (deuxième flot d'informations) :

- Evolution de l'état du trafic depuis le premier flot d'informations,
- Durée prévisible du dégagement et du nombre de voies restant neutralisées,
- Nouvelles données ou précisions concernant l'accident.

Si l'accident est considéré comme ordinaire, la procédure classique continue de s'appliquer.

Si l'accident nécessite la mise en oeuvre du PIU, les CRS et les agents d'exploitation du SIER gèrent ensemble les opérations, les tâches respectives étant bien déterminées au niveau de chaque service .

- Les CRS présents sur place coordonnent et suivent l'intervention des secours sur le terrain et prennent les mesures d'exploitation nécessaires au droit de l'accident (par exemple, fermeture temporaire de toute une chaussée afin d'améliorer la rapidité d'intervention des secours) Ils informent périodiquement le PC.
- L'operateur d'exploitation du SIER décide des mesures d'exploitation à prendre, après consultation du CRICR (fermeture d'accès, déviation et délestage sur le réseau secondaire). Il informe les usagers par les PMV et guide, en cas de besoin (délestage ou déviation), les usagers Il informe le CRICR des états du trafic sur le RVR.
- Le CRICR informe le PC de l'état du trafic sur le réseau secondaire associé, par l'intermédiaire de la police et de la gendarmerie. Il effectue l'information auprès des médias (par télex ou radio)

Le schéma suivant (Fig 9.4) résume globalement le déroulement des opérations.

C : Les documents constituant le PIU

Trois documents aideront à la mise en oeuvre du PIU [DREIF, 1] :

- Les fiches d'alerte (ou fiches de renseignement). Elles sont dans la salle d'exploitation du PC et comportent les noms et adresses de tous les services devant être éventuellement alertés en cas d'accident. Les fiches d'alertes doivent être établies par voie autoroutière linéaire.

- Les fiches de situation. A partir des caractéristiques de l'accident, elles indiquent des propositions de mesures d'exploitation à prendre. Il y aura une fiche par tronçon autoroutier. Ces fiches sont utilisées par les opérateurs d'exploitation du SIER.

- Les fiches d'exploitation. Elles indiquent toutes les dispositions à prendre afin que les mesures d'exploitation décidées soient gérées dans les meilleures conditions possibles. Il y aura une fiche par action[3] d'exploitation envisagée.

En procurant à tous les acteurs, quel que soit leur niveau d'intervention, un cadre de travail et un projet commun, le plan d'intervention d'urgence permet non seulement l'échange qui améliore la connaissance réciproque des partenaires, mais favorise aussi la prise en charge commune des actions et par là-même l'imbrication étroite des différentes actions.

[3]Un ensemble de mesures d'exploitation, définissant une fiche d'exploitation est appelée une action. Une action a donc pour objet d'indiquer les diverses mesures à prendre lors de la mise en place d'un itinéraire de déviation ou de delestage. Ces mesures sont principalement : fermeture des accès et information ou guidage des usagers par PMV.

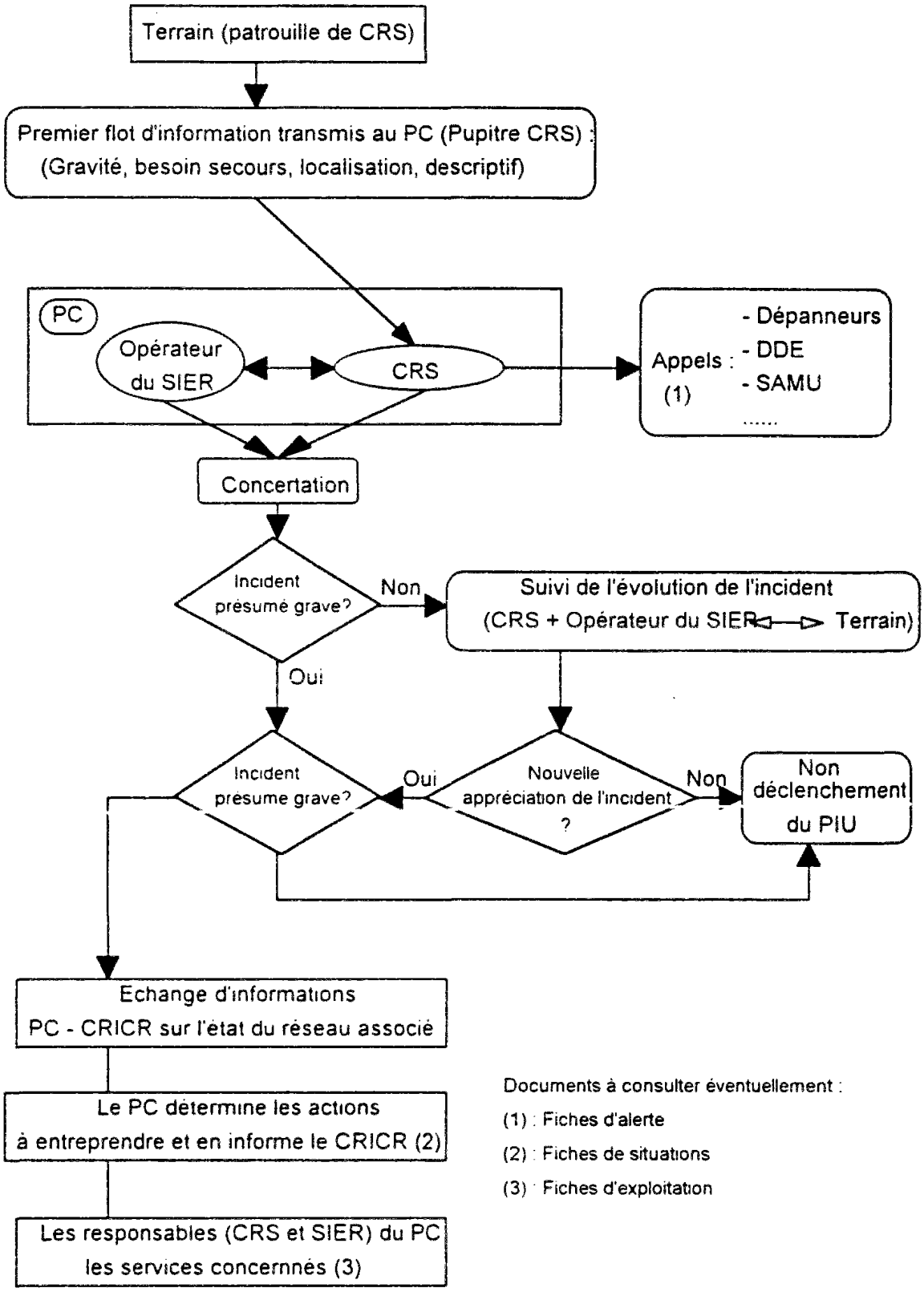


Fig.9.4 : Décision et mise en oeuvre éventuelle du PIU

Les documents doivent être analysés en commun par l'ensemble des partenaires, et les modes opératoires correspondants sont établis à partir du recensement des situations concrètes. Ils sont approuvés par chacune des autorités chargées de sa mise en oeuvre pour les actions qui la concerne et par le préfet coordonnateur. Concernant la mise en place des fiches d'exploitation, l'application du modèle META discutée dans la section précédente trouve tout son intérêt dans la mesure où elle permet d'évaluer les conséquences des accidents sur l'écoulement du trafic et d'évaluer les stratégies et les mesures envisageables.

Nous proposons donc de mettre en place, sous l'autorité des préfets des Départements et sous la coordination du SIER, les plans de gestion du trafic correspondant à des situations exceptionnelles pour l'ensemble du réseau.

Par ailleurs, il est nécessaire de renforcer la coopération entre les PC du SIER et les PC d'exploitation des réseaux associés pour le traitement des incidents (accidents, travaux...) nécessitant la mise en oeuvre de déviation ou de délestage sur les réseaux associés. Une des difficultés vient du fait que l'exploitation des réseaux associés ne fonctionne pas en permanence et d'autre part, que les systèmes d'exploitation sont indépendants. Mais le probleme technique n'est pas le plus difficile à résoudre, ce qui est plus difficile c'est une volonte politique. Dans la définition d'une nouvelle politique d'exploitation du RVR, il convient de prendre en considération la coopération avec les exploitants des réseaux associés (en général, les départements).

IX.5. CONCLUSION

L'exploitation des RVR est une activité complexe nécessitant l'intervention de plusieurs acteurs comme nous avons analysé dans le cas du RVR d'Ile-de-France. Il s'agit d'une organisation non formelle et non hiérarchisée où les divers services se relaient mutuellement, viennent se compléter dans une mission complexe qui est l'exploitation autoroutière et la gestion du trafic. Ces différents services ont un objectif commun : assurer le bon fonctionnement du réseau sous les aspects de sécurité, de fluidité et de confort. Leur logique de travail commune est le service public pour les usagers de la route.

En principe, les acteurs concernés doivent former un système cohérent, orienté vers la coopération et la coordination afin d'assurer collectivement l'efficacité des mesures

d'exploitation destinées à établir la viabilité, à assurer la gestion du trafic ou à aider les usagers dans leurs déplacements.

A travers le cas concret du RVR d'Ile-de-France, nous avons démontré les difficultés résidant dans la gestion du système d'acteurs. La résolution de certains problèmes d'organisation des acteurs est une source importante d'amélioration du fonctionnement du réseau. Dans un contexte multi-acteurs, il est nécessaire de favoriser au maximum la coopération, mais il faut également tenir compte des exigences d'autonomie de chaque acteur. L'efficacité du système d'acteurs attachés à des administrations différentes (différents ministères) ne repose pas sur son imposition mais sur l'adhésion des acteurs aux objectifs définis en commun. L'adhésion aux objectifs est la clé de voûte de la réalisation des tâches.

Ce bref détour sociologique doit nous permettre de mieux voir la dimension organisationnelle du problème de l'exploitation des RVR. L'amélioration des conditions de circulation passe non seulement par la mise au point de nouvelles méthodes de contrôle mais aussi par l'organisation des acteurs qui permet l'utilisation plus rationnelle des outils. Notre démarche considère qu'une meilleure gestion de la circulation passe par une meilleure coordination des interventions des différents acteurs.

L'exploitation des RVR ne doit pas se limiter à l'installation d'appareils de recueil et de traitement des données, à la régulation de la circulation et à l'information des automobilistes. Le souci de l'exploitation doit guider l'organisation du système d'acteurs. Elle doit prendre en compte les potentialités d'amélioration du fonctionnement du réseau par la mise en place des procédures, des plans de gestion du trafic, ainsi que les objectifs parfois contradictoires des divers acteurs concernés (par exemple l'intérêt régional et local du BP). Il s'agit en somme de gérer en temps réel un ensemble de facteurs multiples, qui évoluent constamment dans le temps et dans l'espace et réagissent les uns sur les autres. Plus que l'aspect technique, c'est l'aspect institutionnel qui va nécessiter le maximum d'efforts afin d'avoir un fonctionnement administratif souple et efficace.

Faut-il hiérarchiser les acteurs?

Principalement, en raison du nombre important des acteurs, il apparaît essentiel de coordonner les actions menées par chacun. Dès lors la fonction de coordination prend toute sa dimension. Pourtant, un problème difficile se pose: qui peut ou doit assurer cette fonction de coordination et comment? Cette question en commande une autre : "Faut-il hiérarchiser les acteurs?"

Le RVR, comme tout réseau maillé complexe, nécessite pour bien fonctionner, l'établissement entre ses divers acteurs d'une hiérarchie fonctionnelle. Dans l'état actuel des choses, cette hiérarchisation n'existe guère dans l'esprit de l'usager et les pouvoirs publics eux-mêmes se trouvent dans l'impossibilité de la formuler clairement.

Cette hiérarchisation des acteurs consiste à identifier un acteur central (ou des acteurs centraux) et des acteurs périphériques. L'acteur central doit assumer les tâches de coordination.

La hiérarchisation permet d'avoir une plus grande efficacité de l'organisation du système d'acteurs en facilitant la circulation des flux d'information et en assurant une concertation entre les différents niveaux. L'échange d'information et la concertation rendent possibles les efforts communs de tous les acteurs pour offrir un niveau supérieur de service aux usagers sur tout le réseau et dans toutes les circonstances. Mais la hiérarchisation des acteurs pose en même temps un problème incontournable : le problème du pouvoir et de la responsabilité (Nous avons vu la complexité et la difficulté des questions institutionnelles ici induites : problèmes de rapports entre administrations au sein d'un même ministere, problème de relation interministérielles, problèmes enfin de relation entre l'Etat et les collectivités territoriales, encore compliqués ici par le fait que la Ville-capitale fait partie de celles-ci) C'est la raison pour laquelle il semble quelque peu prématuré de parler de la hiérarchisation des acteurs. Pourtant plusieurs facteurs sont favorables à l'émergence d'un acteur central pour l'exploitation de ce réseau maillé.

Rappelons que le SIER mandaté par le Préfet de la Région est le gestionnaire du trafic sur le réseau principal à l'échelle de la région et qu'il assure la coordination des interventions des Services de l'Equipement En plus, il dispose des moyens importants de recueil, de traitement et de diffusion des informations à travers le système SIRIUS. Tout ceci lui permet d'être un éventuel acteur central. Les autres acteurs pourraient être en relation étroite avec lui pour partager les informations et surtout pour mener à bien des actions d'intervention

La sécurité est toujours une des préoccupations de l'exploitation de ce réseau comme dans tout le domaine de l'exploitation routière. Du fait de la forte proportion des encombrements ayant pour origine des accidents, la détection et le traitement rapide des accidents présente un enjeu essentiel pour l'amélioration des conditions de circulation sur ce réseau. Les CRS sont chargés principalement de la mission de sécurité. A ce titre, ils coordonnent l'intervention sur le terrain des services extérieurs et des DDE. Ils doivent

être l'acteur central dans les processus de gestion des accidents. Mais, en cas d'accident, le SIER est en coopération étroite avec les CRS en mettant en oeuvre des mesures adéquates de régulation (contrôle d'accès, affectation dynamique des voies, etc.) et d'information par PMV.

On peut dire par penser que, plutôt que de mettre en place une organisation et une hiérarchie rigides du système d'acteurs, la bonne démarche consiste d'une part à rechercher, à travers un processus négocié et itératif (où le retour d'expérience jouera un rôle important), la définition d'une politique commune d'exploitation des RVR, d'autre part, de définir pour chacun des domaines où s'exerce cette politique, des procédures d'échange d'information et d'intervention appropriées (le SIER étant "leader" en matière de régulation et de gestion des flux, les CRS en matière de sécurité...). Cela devrait permettre la mise en place d'une organisation plus souple et plus réactive, mieux adaptée à la nature des problèmes à traiter.

Chapitre X :

UTILISATION DES PMV ET COMMUNICATION AVEC LES USAGERS

X.1. CADRE GENERAL D'UTILISATION DES PMV

X.1.1. Les PMV et l'exploitation des RVR

A: PMV - Outil d'exploitation

Pour mettre en oeuvre une politique d'exploitation sur un RVR, le gestionnaire doit tout d'abord définir ses objectifs dans chacune des trois missions d'exploitation (viabilité, gestion du trafic et aide au déplacement) puis déterminer les organisations et les moyens propres à en assurer la realisation [CETE-LYON, 1994].

Les PMV contribuent à la réalisation des objectifs d'exploitation. Par exemple, sur les RVR, des PMV peuvent être implantés à l'amont immédiat d'une zone à visibilité réduite (virage) pour alerter les usagers en cas d'accident et prévenir ainsi les accidents en queue de bouchon

Agir sur la repartition des flux est possible dans un fonctionnement en réseau, quand un usager dispose de plusieurs itinéraires concurrents. Pour choisir l'itinéraire "optimum", il aura besoin de connaître l'état du trafic sur l'ensemble du réseau et bien entendu de connaître le reseau lui même. Une information comparative concernant les itinéraires alternatifs et délivrée par des PMV permet aux usagers de faire leur choix.

Ainsi, aujourd'hui les PMV constituent donc un outil essentiel de l'exploitation des RVR Ils permettent de délivrer une information variable et en temps réel. L'information en temps réel est donc un service à l'usager, face à des difficultés temporaires de circulation Elle constitue un moyen de communication entre l'exploitant et les usagers.

L'efficacité d'utilisation des systèmes de PMV implique par contre une coopération active des usagers. Il convient donc de prendre suffisamment en considération les besoins des usagers et des facteurs qui influencent leurs comportements lors de la définition et la mise en oeuvre d'une politique d'information dynamique des usagers par PMV.

B : utilisation des PMV

Les PMV peuvent aider l'exploitant à gérer diverses situations de circulation (bouchons récurrents, incidents...) en affichant des messages correspondant à chaque situation. Le tableau ci-dessous (Tableau 10.1) montre les fonctions possibles des PMV croisées avec les objectifs de l'exploitant.

Il convient de rappeler que sur le RVR d'Ile-de-France, jusqu'à maintenant, la fonction assignée aux PMV est essentiellement une fonction d'information, le conseil, le guidage et la prescription ne sont utilisés qu'exceptionnellement (en cas d'accident grave nécessitant la fermeture d'une chaussee, par exemple).

X.1.2. L'usager face à l'information dynamique délivrée par des PMV

A : Les attentes des usagers

Selon les diverses etudes[1] realisees en France [BATTE et al., 1992] [SETRA, 1989] et à l'étranger [STEVE, 1992] [BAXTER, 1989], pour toutes les personnes interrogées, l'information routiere dynamique constitue un droit et est le signe que l'exploitant se preoccupe de l'usager. Les attentes des usagers englobent la qualité, la nature et le contenu de l'information. Les usagers desirent toujours une information présentée simplement et un codage facile à saisir.

De façon generale, l'information en temps réel de trafic doit rassurer l'usager et lui donner le sentiment d'être pris en charge par l'exploitant, être vraie et donc à jour, être délivrée au bon endroit pour permettre a l'usager d'en tenir compte et être homogène sur l'ensemble du reseau.

[1]Les études sur les PMV sont generalement divisées en quatre domaines de recherche : 1) Caractéristiques du systeme, 2) Caractéristiques opérationnelles; 3). Opinions des usagers et 4). comportements des usagers. Les etudes ont été réalisées aux Etats-Unis, au Canada, en Australie et en France. A noter également l'etude realisee par Y.B. Yim, Jean-Luc Ygnace en décembre 1993, "The effects of variable message signs on traffic behaviour in the Paris region", qui en propose une intéressante synthese.

Tableau 10.1 : Les fonctions des PMV

Fonctions des PMV	Objectifs de l'exploitant			Exemples de situations traitées
	Sécurité	Gestion du trafic	Aide au déplacement	
INFORMATION				
. événement récurrent	X X	X	X	Bouchons journaliers ou saisonniers
. mesures d'exploitation	X	X X	X	Fermeture d'accès
ALERTE (danger immédiat)				
. événement inabituel affectant l'état du trafic	X X	X	X	Accidents, travaux, chaussée glissante, inondée
. conditions météorologiques défavorables	X X		X	Brouillard dense, vent violent
. comportement dangereux en fonction de l'environnement	X X		X	Points singuliers (virage, descente, passage supérieur, tunnel)
CONSEIL, GUIDAGE, INDICATION				
vitesse	X	X X		Perturbations récurrentes sur un axe à fort trafic
itineraire		X X	X	Axe perturbé doublé par un itinéraire parallèle ou un itinéraire associé jalonné de façon spécifique (itinéraire bis, itinéraire S)
sortie (ou déconseiller un accès)		X X	X	Axe très perturbé
autre mode de transport		X X	X	Très forte congestion du réseau
PRESCRIPTION				
affectation de voie		X X		Trafic pendulaire sur une chaussé à double sens
. vitesse limitée	X X X X	 X		Brouillard dense Perturbation récurrente sur un axe à fort trafic
sortie obligatoire		X X	X	Axe coupé ou totalement bloqué
accès interdit		X X	X	Axe coupé ou totalement bloqué

X X fonction dominante
X fonction secondaire

(Source : Guide des panneaux de signalisation à messages variables, CETE de Lyon, février 1994.)

Les enquêtes montrent que les usagers considèrent que le minimum absolu est d'être informé. Une information générale (disons de sécurité et de confort) sur les bouchons et accidents est assurement nécessaire.

Par ordre de priorité, l'usager souhaite que les messages affichés lui apportent les éléments d'information suivants

- la nature de perturbation (accidents, travaux, restriction de voies, ralentissement, bouchon, coupure, chaussée glissante...),
- la localisation de perturbation, pour savoir s'il est concerné ou non,
- la gravité de perturbation (étendue de la perturbation, durée de l'attente...) pour en apprécier les conséquences sur la suite de son trajet,
- éventuellement des conseils d'itinéraires.

B : Les facteurs pouvant influencer la réponse de l'usager face aux informations

Schématiquement, à la rencontre d'un PMV, les usagers effectuent des tâches successives de perception, lecture, compréhension, décision et action (ralentir, dévier...). Toutes ces actions doivent être effectuées dans un temps très court (quelques secondes).

Plusieurs facteurs interviennent dans ce processus "information - réaction", citons : le lieu et l'implantation des PMV, la lisibilité des messages, les vocabulaires utilisés et la composition des messages [DE BALINCOURT, 1989].

Le lieu physique ou l'usager acquiert l'information peut avoir une influence sur la nature de sa réponse, notamment en terme de comportement d'évitement. Il est important de déterminer si le message a ete acquis en amont d'une entrée sur le réseau (et à quelle distance), sur le réseau en pleine voie, en amont d'une sortie ou d'un divergent.

La compréhension d'un message est presque simultanée à la lecture. Elle dépend de la lisibilité et de la presentation du texte, et dans une large mesure de la composition des messages.

Le texte doit donc être concis et précis sans tomber dans un excès de simplicité. Il convient d'éviter un style trop telegraphique. La composition des messages et en particulier l'utilisation des vocabulaires est un sujet complexe et fondamental pour la bonne compréhension des messages. Nous y reviendrons plus loin.

X.1.3. Stratégies d'information par PMV

A : Les objectifs de l'exploitant

Dans le cadre d'une politique d'exploitation, l'objectif principal du gestionnaire de réseau peut être

- un objectif de sécurité : l'exploitant veut éviter l'occurrence d'un accident sur un obstacle (sur accident, accident en queue de bouchon...). La fonction du message sera d'alerter.

- un objectif de gestion du trafic : un événement ou la seule densité du trafic provoque une gêne d'une importance telle que l'exploitant veut détourner de l'axe perturbé tout ou partie des usagers ou au contraire, l'amener à patienter sans changer sa stratégie d'itinéraire (affichage des temps de parcours). La fonction du message sera de conseiller, de prescrire, ou d'inciter.

- un objectif d'aide au déplacement : le gestionnaire souhaite seulement informer l'usager d'une perturbation située en aval, dans le seul but d'améliorer le confort de celui-ci. La fonction du message sera d'informer.

Il est bien évident que dans de nombreuses situations ces objectifs se superposent. La frontière entre la gestion du trafic et l'aide au déplacement, en particulier, n'est pas toujours bien nette : un message affiché dans un but de régulation participe également au confort de l'usager; à l'inverse, l'annonce d'une perturbation peut pousser un certain nombre d'usagers à changer d'itinéraire et par là même avoir une conséquence sur la répartition des flux.

Une bonne politique d'exploitation et plus encore une utilisation efficace des PMV doit prendre en compte les attentes des usagers. Mais il convient de préciser que l'attente des usagers n'est pas le seul élément à définir la politique d'affichage; la bonne adéquation entre cette attente, les contraintes des PMV et les objectifs de l'exploitation[2] sont également à prendre en compte.

B : Les éléments d'information prioritaires

La quantité d'information délivrable est limitée d'une part par la taille des panneaux, d'autre part par le fait que l'usager qui conduit sur une voie rapide ne peut lire, comprendre et retenir qu'un nombre limité de messages.

Ceci implique que sur un axe donné, le message ne concernera qu'une seule perturbation : la première gêne rencontrée par l'usager (ou éventuellement, la plus

[2]Nous avons noté plus haut les attentes communes des usagers pour une prise en compte dans la définition de la politique d'affichage des PMV; bien que ces attentes soient communes à tous, la diversité des usagers, les différences d'acquis et de références individuels entraînent une grande variété de besoin quand à la nature et au contenu des messages. Il n'est pas possible de répondre à des besoins de chacun par l'affichage des messages sur PMV. Cependant, les besoins individuels en matière d'information ne pourraient être satisfaits que par des systèmes embarqués interactifs.

importante). Ainsi, dans le cas d'un bouchon provoqué par un accident, c'est la queue du bouchon et elle seule, qui sera signalée.

Les éléments d'information jugés prioritaires pour un message de sécurité sont :
- un conseil (ralentir ou faire attention)
- la raison du conseil (nature du danger ou de la perturbation).

Il est toutefois évident que la notion d'information prioritaire dépend des objectifs retenus en matière de politique d'exploitation. Pour l'objectif de gestion du trafic, selon les cas, la fonction du message peut être de:

- conseiller ou prescrire un itinéraire moins perturbé : les éléments d'information prioritaires sont alors :

1. le conseil d'itinéraire ou la prescription;
2. la raison du conseil ou de la prescription (nature de la perturbation);
3. selon les cas, la localisation ou l'importance de la perturbation.

- inciter l'usager à changer d'itinéraire en lui annonçant ce qu'il va rencontrer s'il reste sur l'axe :

1. la nature de la perturbation,
2. sa localisation,
3. son importance

Pour l'objectif d'aide au déplacement, les éléments d'information prioritaires sont les suivants :

1. la nature de la perturbation,
2. sa localisation,
3. son importance

On constate qu'un message d'incitation et un message d'information se présentent souvent de la même façon. En réalité, c'est l'importance de la gêne annoncée qui fait basculer le message de l'information à l'incitation.

L'étude faite par D. Moukhwas [MOUKHWAS, 1980] montre que dans le cas d'un encombrement sévère, les informations attendues par les usagers sont dans l'ordre : une information sur les causes de l'encombrement, puis sur la vitesse sur le secteur encombré et enfin sur la présence en un lieu donné d'un encombrement.

Une étude faite à la demande de la société des autoroutes Paris-Rhin-Rhone [SAPRR, 1988] corrobore ce désir d'information chez l'usager sur les causes de l'encombrement. Un conseil ne sera suivi que dans la mesure où l'automobiliste en connaîtra les raisons. Quand à donner un ordre, il faut être encore plus prudent : s'il est trop impératif, il peut être mal perçu, voire entraîner une réaction de rejet.

L'utilisation des PMV pour l'affichage de prescriptions reste donc difficile et encore relativement peu explorée.

C : Stratégie flexible : l'évolution des objectifs et des messages en fonction des événements

Les paragraphes precédents ont montré qu'à chaque objectif d'utilisation des PMV correspond une ou plusieurs fonctions et qu'à chaque fonction correspond un type de message (même si, à l'heure actuelle, cette dernière correspondance n'est pas toujours univoque).

Or si les PMVS[3] sont installés pour une raison précise et avec un objectif unique (pour signaler la queue de bouchon et répondre à un objectif de sécurité), les PMVD et PMVHA sont amenés à remplir des fonctions différentes selon les perturbations et leurs évolutions (informations comparatives sur deux itinéraires alternatifs, conseil de sortie ou dissuasion d'entree sur voies rapides...).

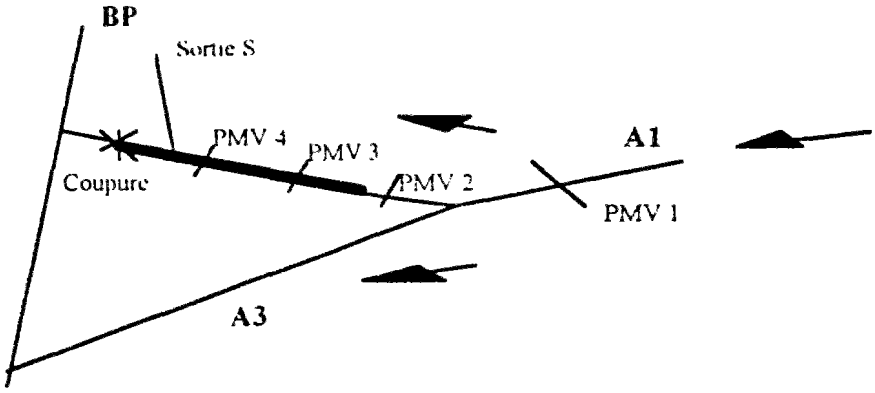
C'est ainsi qu'un seul évenement peut donner lieu successivement sur un même panneau à tous les types de messages précédemment définis en fonction de l'évolution des évènements et selon les stratégies de régulation choisies en temps réel par l'exploitant

D : la cohérence des objectifs et des messages sur un réseau

On voit que sur le RVR, la densité des PMV est relativement importante (250 PMV à terme) : les messages affichés lors d'un événement ne doivent pas être rédigés indépendamment mais en tant qu'éléments d'un ensemble cohérent.

[3]PMVS : Panneaux à Messages Variables situés sur les sections courantes de voies rapides; PMVD : ceux implantés en amont des divergents autoroutiers; PMVHA : panneaux sur le réseau associé (hors Autoroute)

Dans l'exemple ci-dessous :



- Le PMV 1 est un PMV de type PMVD. Il a une fonction d'information/incitation : le message affiche sera du genre "A1 coupure à 15 km, A3 > BP fluide";
- Le PMV 2 a une fonction d'alerte : le message sera du type "A1 à 1 km Bouchon = 12 km Accident".
- Le PMV 3 a une fonction d'information. Il affiche par exemple "Fin de bouchon à 5 km"
- Le PMV 4 a une fonction de prescription : le message sera du genre "Sortie S obligatoire, accident"

Si le PMV 4 est en panne, c'est le PMV 3 qui assurera la fonction de prescription, cette fonction étant prioritaire sur la fonction d'information.

X.1.4. Les problèmes de vocabulaires

L'un des avantages de l'utilisation des PMV reside dans la possibilité d'afficher des messages variés en fonction des evenements. Il existe naturellement plusieurs combinaisons susceptibles d'être affichees. Mais du fait de l'espace limité sur un PMV, les messages sont contraints d'être courts et precis. Cela pose des difficultés dans le choix des vocabulaires a utiliser pour l'exploitant et des problèmes de compréhension pour les usagers.

En rédigeant un message, l'exploitant doit avoir constamment le souci d'être compris par l'usager. Mais il n'est pas toujours evident qu'un message délivré par l'exploitant soit interprété par les usagers dans le sens qu'espère l'exploitant. Prenons l'exemple du terme "Bouchon", il est largement utilise pour signaler des conditions difficiles de circulation.

Comme expliqué au chapitre VI (cf. VI.1.), les usagers ne possèdent pas toujours la même notion que l'exploitant sur ce terme. De plus, la notion de bouchon est diversement interprétée d'un individu à l'autre (pour certains, le bouchon est plus fort que la saturation; pour d'autres, c'est le contraire).

Dans ce contexte, un effort de normalisation et un effort pédagogique restent à faire. Il s'agit de faire comprendre par les usagers la signification du mot "bouchon" dans les messages de PMV afin d'arriver à une interprétation similaire d'un maximum d'usagers.

En pratique, les vocabulaires utilisés sont aujourd'hui encore assez variés d'un exploitant à l'autre Par exemple, sur le BP, les termes choisis pour décrire l'état du trafic sont : Fluide, Ralenti et Saturé, tandis que sur le RVR, ce sont les mots "Fluide et bouchon" qui sont utilisés

Diverses enquêtes de compréhension, citons celles réalisée par le SIER [BATTE et al., 1992] et par la Société d'Autoroute Paris-Rhin-Rhone [SAPRR, 1988], ont permis de dégager quelques enseignements

A : Les termes équivoques

Certains termes ne semblent pas avoir une signification bien nette pour l'usager : c'est le cas de "congestion" ou "perturbé" (dans "trafic perturbé").

Il y a des termes qui revêtent des significations différentes pour l'usager et pour l'exploitant ou n'ont pas le même sens pour tous les usagers. C'est ainsi que :

- Pour les usagers, le terme "dense" (dans "trafic dense") semble induire la perception d'une circulation beaucoup plus difficile que le terme "ralenti"; cette graduation de la gêne est différente de celle de l'exploitant;
- Pour une majorité de conducteurs interrogés sur autoroute de liaison, le terme "bouchon" représente une circulation bloquée ou une perturbation plus grave que celles souvent désignées sous ce terme par les gestionnaires.
- Par contre, lors d'une enquête réalisée en région parisienne, le terme "bouchon" était majoritairement interprété comme une absence de fluidité, un ralentissement ou un embouteillage, il n'était cité que par plus d'un tiers des usagers pour exprimer un blocage; la situation de blocage total, elle, était décrite par plus d'un usager sur deux par le terme "saturé".

B : les vocabulaires de localisation des événements

Informer sur la localisation des événements pose un problème plus ardu qu'il n'y paraît à première vue.

Une distance exprimée en kilomètres est une notion précise et en principe signifiante pour tous, y compris pour l'usager empruntant l'axe pour la première fois. Elle semble cependant être relativement mal mémorisée ce qui pose problème dès lors que l'événement est éloigné de plus de quelques kilomètres.

Un nom de ville est mieux retenu; mais ce n'est pas pour autant qu'il permet nécessairement à l'usager de se situer par rapport à la perturbation annoncée. Ce mode de localisation est sans doute plus apprécié par des usagers locaux ou habitués que les usagers occasionnels

Il est important de faire remarquer que les possibilités de localisation par les usagers ne dépendent pas que des messages affichés par les PMV, mais également de l'ensemble d'une politique de signalisation (mise en place des cartouches et des panneaux de confirmation sur route) Les termes employés pour localiser un événement doivent être cohérents avec ceux utilisés par la signalisation directionnelle.

Nous allons montrer un autre problème lié aux vocabulaires de localisation. Il s'agit de la composition du message de bouchon sur PMV. Prenons un exemple de PMVS pour afficher des bouchons, deux cas de figure sont possibles :

- La queue de bouchon se situe en aval du panneau,
- Le panneau est à l'intérieur d'un bouchon.

Pour simplifier, prenons un PMVS sur la A86 comme exemple. Dans la pratique actuelle, les messages correspondant sont

- Pour le premier cas, "A86 A 2 km BOUCHON = 3 km",
- Pour le deuxième cas, "A86 BOUCHON = 4 km".

Dans le premier cas, le message ne pose pas de problème de compréhension. Les usagers passant devant le panneau doivent logiquement interpréter ce message comme : sur A86 à 2 km du panneau, il y a un bouchon de 3 km. Par contre, dans le deuxième cas, l'usager est dans le bouchon, le message lui donne une longueur totale du bouchon (4 km). Mais l'usager ne sait pas interpréter correctement ce message par rapport à la

situation réelle. Ce message n'est pas clair et est en fait peu utile pour les usagers car il crée un doute.

Dans un contexte pareil, l'usager cherche à savoir où est la tête du bouchon. On peut donc envisager de donner un message du type (supposons que la tête du bouchon est à 3 km du panneau) :

"FIN DE BOUCHON A 3 km" ou "TRAFIC FLUIDE A 3 km".

C : Les abréviations et les symboles

Les abréviations et les symboles sont utilisées dans les messages de PMV en raison principale de la contrainte physique des PMV. Il s'agit pour la plupart du temps de la localisation et du nom des voies rapides. Prenons un exemple sur la simple information "A4 > BP fluide"

D'abord le fait que "BP" puisse représenter non pas le boulevard périphérique de Paris, mais un certain distributeur de produits pétroliers. Ensuite le signe " > " risquerait d'être interprete comme le symbole mathématique de la supériorité, et non pas comme la signification d'une fleche voulant dire "jusqu'à" [DURAND-RAUCHER, 1990a].

Selon l'enquête réalisée auprès des usagers [BATTE, 1992], le BP utilisé pour désigner le boulevard périphérique de Paris n'est compris que par une minorité d'usagers (40% chez les habitues et 29% sur les usagers occasionnels) même si ce sigle est utilisé depuis plusieurs annees et même si les usagers sont des usagers réguliers.

La même enquête a fait ressortir que le sigle " > " signifiant " jusqu'à / vers " est compris par 50% des usagers si on tolère l'interprétation " vers " au lieu de " jusqu'à ".

D'ailleurs, il est étonnant de constater que le sigle " = " n'était pas toujours compris dans son sens littéral et conduisait, de façon marginale toutefois, à un contresens important. Le message "Bouchon = 3 km" était interprété comme "bouchon à 3 km" par certains usagers

Face à ces problèmes de compréhension, l'exploitant doit réfléchir et prendre des mesures nécessaires pour les résoudre. Nous pensons qu'une grande partie des problèmes liés aux vocabulaires peuvent être résolu par une politique plus systématique de communication. En même temps, l'exploitant doit chercher des termes faciles à

comprendre et sans ambiguïté. Nous reviendrons sur le sujet de la communication avec les usagers plus loin.

Tous ces problèmes liés aux vocabulaires font penser en outre qu'il est indispensable de standardiser les vocabulaires au niveau national voire international afin d'avoir une information homogène sur l'ensemble du territoire et faciliter la compréhension des informations par les usagers. La normalisation ne peut que renforcer l'impact des informations sur le comportement des usagers. On peut estimer que, dès lors que l'information routière se généralise, les codes des messages utilisées devront être aussi rigoureusement normalisée que l'est aujourd'hui la signalisation routière.

X.2. UTILISATION DES PMV EN EXPLOITATION DU RVR D'ILE-DE-FRANCE ET PREMIERS ENSEIGNEMENTS

X. 2.1. Politique d'utilisation des PMV

Pour la politique d'exploitation mise en oeuvre par le SIER, les PMV constituent en quelque sorte la partie visible du système SIRIUS. Ils tissent un lien entre l'exploitant et les usagers dont la solidarité est le garant du succès de l'exploitation. C'est pourquoi il est indispensable de délivrer une information parfaitement fiable et pertinente [DE BALINCOURT].

Lors de la mise en place de la politique d'affichage des PMV sur les voies rapides d'Ile-de-France, le SIER poursuivait trois objectifs :

- Améliorer le confort des usagers de la route, accroître le niveau de service,
- Améliorer la sécurité, en particulier en annonçant les queues de bouchon,
- Améliorer les conditions de circulation en optimisant le fonctionnement du réseau.

Rappelons que cette politique d'information en temps réel des usagers s'adresse en priorité aux habitués qui, tous les jours suivent le même itinéraire, et qui ont une bonne connaissance du réseau. Cette politique vise l'amélioration du fonctionnent du réseau par la modification du comportement des conducteurs. Au-delà des objectifs de sécurité, le but recherché est à terme d'amener les automobilistes à utiliser au mieux ce RVR en choisissant leurs itinéraires suivant les messages délivrés par les PMV.

La politique d'information telle qu'elle est définie sur le RVR d'Ile-de-France implique pour être efficace, une participation active des usagers. Dans ce sens, l'usager devient un acteur déterminant pour un meilleur fonctionnement du réseau.

En fait, le maillage du réseau offre aux automobilistes plusieurs possibilités d'itinéraire pour arriver à une même destination. L'automobiliste informé par les PMV peut théoriquement modifier son itinéraire tout en restant sur le réseau d'autoroutes, l'important pour lui étant de bien connaître ce réseau et de mémoriser les points de choix. Il est donc nécessaire d'apprendre aux automobilistes à déchiffrer les messages des PMV correctement et de leur faire connaître le réseau maillé.

Les PMV existants sur ce RVR diffusent, selon la situation du trafic quatre grands types de messages concernant :

- La fluidité de la circulation
- L'existence d'un bouchon
- La présence d'un accident
- La présence de travaux

Utilisation des PMV pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France

Dans le cadre du projet SIRIUS, 250 PMV sont ou vont être installés. L'annexe n°14 montre les regles d'affichage des PMV. En résumé, les messages s'adressent aux habitués qui representent pres de 90% des déplacement effectués. En situation normale (sans incidents majeurs), la politique d'information est une politique par renforcement de sécurité (affichage des messages de bouchons). Les panneaux ne donnent ni ordre, ni conseil, mais seulement une information factuelle, ce qui laisse la décision à chaque conducteur, selon la connaissance qu'il a du réseau et ses contraintes de déplacement.

De ce point de vue, on peut distinguer :

- en amont des points de choix autoroutiers, les PMVD (Divergent). Ils annoncent alors l'état global des axes situés en aval du panneau. Leur objectif est de permettre à l'usager de faire son choix entre deux itinéraires concurrents à partir des informations comparatives
- en section courante, les PMVS (en section courante) situés en amont des diffuseurs Ils annoncent l'état de l'axe sur lequel ils se trouvent ou le premier bouchon rencontré Ils permettent de renseigner l'usager pour qu'il sache s'il doit sortir ou s'il peut attendre la ou les sortie(s) suivante(s).

- sur le réseau associé, les PMV dit "PMVHA (Hors Autoroute)". Ils sont implantés en amont des principales entrées, alors qu'il est encore possible de faire un choix entre une autoroute et une autre route sur le réseau associé.

Les PMV fonctionnent depuis plus de 2 ans sur ce réseau. En raison principale de son caractère expérimental, des enquêtes d'évaluation sont systématiquement réalisées depuis le début de SIRIUS [BATTE et al., 1992]. Ces enquêtes permettent de vérifier les hypothèses liées à l'élaboration du projet SIRIUS et de connaître les attitudes des usagers vis à vis de la politique actuelle d'information. Les résultats de ces enquêtes vont être analysés dans les paragraphes suivants.

X.2.2 Résultats sur les comportements des automobilistes et l'efficacité du système SIRIUS.

A : Objectifs de l'évaluation

Depuis 1990, le SIER applique une certaine typologie d'affichage (cf. annexe n° 14) sur une trentaine de PMV de l'Est parisien. Lancer cet affichage, à titre de préfiguration, et avant même la généralisation des méthodes qui garantissent la fiabilité de ces messages, constituait un pari pour le SIER. En plus ceci permettait d'effectuer en vraie grandeur et en situation réelle, des mesures d'effet sur le comportement des usagers. C'est ainsi qu'avant même l'apparition d'un nombre beaucoup plus élevé de PMV et d'une gestion totalement centralisée et informatisée de l'affichage sur chaque secteur, le Service avait la préoccupation d'évaluer cette politique d'affichage. Il s'agissait de déterminer quels pourraient en être les points faibles, ce qu'il fallait modifier et quelle politique de communication devait être menée.

Les études menées avaient donc pour objectif :

a) D'évaluer l'impact des PMV en terme de satisfaction des usagers et en terme de modification des comportements (selon les déclarations des usagers), en cherchant en particulier à analyser cet impact au regard des trois objectifs précédemment cités.

b) D'évaluer le degré de compréhension des messages et de mieux appréhender les difficultés qui nuisent à cette compréhension.

c). De bâtir des indicateurs de satisfaction et de compréhension permettant un suivi dans le temps.

B : Méthodologie

Les études, terminées en 1992, se sont déroulées en trois phases d'enquête distinctes et consécutives [BATTE, 1992] :

- Une enquête de terrain face à face : 8229 automobilistes ont été interrogés pendant 5 minutes sur 23 entrées d'autoroutes (A1, A2, A86 et A4). Le questionnaire portait sur l'image globale des PMV auprès des usagers et était surtout orienté vers la compréhension de chaque terme des messages.
- Une enquête téléphone : 2557 personnes, formant un échantillon représentatif des 3426323 ménages franciliens, on été interrogées. Cette phase d'enquête avait pour but d'approfondir les résultats de la première phase.
- Une enquête qualitative : une centaine d'utilisateurs du RVR ont été interrogés individuellement et en profondeur pendant 30 mn. Cette phase était destinée à analyser de façon plus détaillée les mécanismes de compréhension des messages.

C : Principaux résultats

Plus de 10 000 automobilistes ont déjà été ainsi interrogés par l'Institut de sondage MV2. Les principaux résultats ont été les suivants :

Ces études ont permis de justifier le choix de l'exploitant de viser les habitués parmi les utilisateurs du RVR. En effet, parmi les conducteurs interrogés lors de l'enquête de terrain, 78% sont des utilisateurs réguliers (habitués)[4].

1) La quasi totalité des personnes interrogées apprécient la démarche d'information prise par l'exploitant.

2). Une majorité (76%) d'utilisateurs (réguliers et occasionnels) déclarent que les messages de PMV sont "**tout à fait compréhensibles**", malgré leur caractère très concis; 20% disent que les messages sont "**plutôt compréhensibles**" et 4% de conducteurs déclarent que les messages sont "**plutôt pas compréhensibles**"[5]; La compréhension mot à mot est meilleure chez les habitues que chez les occasionnels. L'effort pédagogique peut ainsi être concentre sur les termes les plus difficiles, ce qui est le gage de la poursuite de l'amélioration.

---

[4]utilisateurs empruntant au moins 2 fois par semaines le RVR.

[5]Ces résultats ne font que conforter l'image positive des PMV et non la compréhension réelle des messages. En effet, quel que soit le niveau réel de compréhension du message, pour un usager, il le trouve compréhensible [BATTE et al., 1992]

3). Les enquêtes démontrent que, parmi les utilisateurs réguliers, "suite aux informations lues sur les PMV implantés sur des divergents, 38% de conducteurs déclarent changer "**souvent**" d'itinéraire; 38.5% disent changer "**de temps en temps**" d'itinéraire; 23.5% disent qu'ils "**ne changent pas**" de route quoi qu'il arrive (dont 5% affirment que les messages des PMV sont toujours faux)".

Ce taux de 38% (pour les usagers réguliers déclarant changer "souvent" d'itinéraire) paraît être contradictoire avec l'expérience des exploitants qui constatent qu'à un moment donné et face à une information comparative sur les bouchons, entre 2 et 5% seulement du trafic se dévie effectivement, sauf en cas d'événement spécialement perturbant. La différence est due probablement à l'ambiguïté du mot "souvent" utilisé dans l'enquête. Ce taux de 38% représente plutôt les potentialités de changement d'itinéraire des automobilistes. Il ne permet pas d'évaluer précisément le pourcentage d'automobilistes qui changent réellement d'itinéraire à un moment donné suite à des informations fournies par les PMV.

X.2.3 Enseignements tirés

- L'appréciation des PMV par les conducteurs est bonne et continue de croître : 87% d'utilisateurs se disent satisfaits des PMV [DURAND-RAUCHER, 1993].

- Si les conducteurs connaissent et font l'effort de comprendre les messages concis, c'est bien la preuve qu'ils en attendent un avantage individuel.

En échange de cet avantage, une proportion significative (plus de 1 sur 3) des conducteurs disent modifier (ou sont prêts à modifier) "souvent" leur itinéraire. Mais pour les 18.5% d'interviewés qui disent ne pas changer d'itinéraire[6] parce qu'ils n'ont pas de véritable alternative ou ne connaissent pas très bien le réseau, certains d'entre eux sont susceptibles, après un effort de communication (sensibilisation), de changer leurs itinéraires selon les informations comparatives. Les potentialités d'information par les PMV sont donc bien reelles.

- L'image globale des PMV auprès des utilisateurs est une image positive. Cependant l'information transmise est jugée par 1/3 des utilisateurs relativement

[6]Ce chiffre (18.5%) est la différence entre le pourcentage total d'interviewés qui disent ne pas changer d'itinéraire (23.5%) et le pourcentage d'interviewés qui affirment que les messages sont toujours faux (5%).

insuffisante, ce qui traduit bien la limite de ce média qui s'adresse à une masse de véhicules et non à un individu en particulier.

- Le faible pourcentage de déviation (2 à 5%) induit par les messages de bouchon, constaté par l'exploitant, montre qu'il y a encore des incertitudes dans les stratégies d'affichage. Ce pourcentage est lié à des bouchons récurrents. En cas d'annonce d'événements graves (accidents par exemple), le taux de délestage est nettement supérieur. Selon une évaluation des potentialités de PMV [PANNETIER, 1991], le nombre d'usagers qui changent d'itinéraire, lorsque le message a un contenu plus impératif et plus inhabituel (message du type "accident" par exemple), est de l'ordre de 10 à 20%, ce qui corrobore l'appréciation des usagers et peut donner une "marge" suffisante à l'exploitant pour une meilleure utilisation "dynamique" du maillage du réseau[7].

- En tout cas, l'attitude de conduite de tous les conducteurs apparaît modifiée dans un sens favorable à la sécurité par l'annonce précoce des bouchons et des causes (accidents, travaux).

Il est d'ailleurs significatif de constater que l'impact de SIRIUS sur la sécurité est considéré comme important par une grande majorité de conducteurs (82%). L'information délivree par PMV améliore la vigilance des automobilistes. Pour 80% des personnes interrogées, les informations des PMV améliorent bien la sécurité, 9 sur 10 considèrent que l'information permet de ralentir à temps et donc de diminuer les accidents en queue de bouchon

- L'impact le plus important est que l'information des PMV permet de conduire différemment "Quand on est informé, on peur anticiper, on est moins stressé.", le Directeur du SIER resume ainsi l'impact des informations sur le confort de la conduite. Ce facteur est déterminant, car la conduite nerveuse, hachée est non seulement dangereuse, mais elle aggrave les bouchons.

- Le fait que 5% des usagers considèrent que les messages de PMV sont toujours faux, conduit à réfléchir sur la chaîne d'information de SIRIUS. Le problème du RAD étudié précédemment a un effet considérable sur la fiabilité des information. En parallèle, il convient de chercher à améliorer les outils (algorithmes) de la DAB. Et d'une manière

---

[7]On considère généralement qu'un délestage de 10% des véhicules peut suffire à passer d'un état saturé à un état fluide, ou inversement, d'un état fluide à un état saturé

générale, il est indispensable d'améliorer l'efficacité du système d'exploitation par une politique globale de communication.

X.3. QUELLES INFORMATIONS POUR LES USAGERS ?

A : A propos des informations sur les bouchons

Dans le cadre de la distribution des informations dynamiques pour les usagers des RVR, deux logiques se superposent et s'étayent mutuellement. D'abord une logique d'exploitant de réseaux intéressé à l'amélioration de leur fonctionnement. Mais aussi, une logique de service à l'usager, le plus complet possible, notamment pour mettre à la disposition des informations utiles et élaborées. Disposant de ces informations, le conducteur peut alors devenir, à son niveau individuel, un partenaire des actions générales d'amélioration des conditions de la circulation.

Comme nous l'avons montré précédemment, la stratégie d'information du système SIRIUS repose sur la notion de bouchon, les messages précisant la distance separant le panneau du prochain bouchon et la longueur de celui-ci (PMV de section courante) ou la somme des longueurs des bouchons existant sur un maille du réseau autoroutier (PMV en amont des divergents et des entrées autoroutières).

Les analyses faites plus haut ont montre que cette information est bien acceptée par les usagers, sans doute en raison de l'aspect physique et concret des bouchons. Elle répond essentiellement à l'objectif de sécurité.

Néanmoins, il apparaît clairement que ce type d'information est imparfaite, dans la mesure où la notion de bouchon est variable d'un individu à un autre, et que plus fondamentalement, elle recouvre des situations de trafic très différentes : il existe des bouchons qui ne sont que des ralentissements, alors que d'autres correspondent à un flot presque totalement arrêté [SIER, 1993c].

Il s'avère donc que l'information sur les bouchons devrait être complétée par une indication plus précise des conditions de la circulation.

B : Information sur les temps de parcours : une stratégie à développer

Il apparaît utile d'anticiper dès aujourd'hui sur l'évolution nécessaire de la politique d'information du système SIRIUS. La stratégie de l'affichage du temps de parcours paraît opportune, on peut en souligner deux qualités évidentes :

- La notion de temps de parcours s'applique à tous les types de réseau (sur réseau maillé à feux par exemple); il n'en est pas de même des bouchons.
- Elle est au coeur des préoccupations de l'usager de la route qui souhaite généralement minimiser son temps de parcours.

De nombreuses recherches ont été menées sur les temps de parcours en milieu urbain et autoroutier, qui ont permis de définir des algorithmes de calcul de temps de parcours à partir des données de capteur (débit, taux d'occupation et vitesse). Signalons par exemple l'étude de l'INRETS "Reconstitution des temps de parcours", méthodes empiriques liant les temps de parcours aux taux d'occupation" [JURVILLIER, 1982].

L'étude [SIER, 1993c] intitulée : "Mesures et analyse des temps de parcours sur autoroute" a montre que techniquement, les temps de parcours sur ce RVR peuvent être calculés avec une précision et une robustesse satisfaisante avec le RAD dont on dispose actuellement (des stations de mesure tous les 500 m environ, dont une partie en stations doubles, à l'exception de l'A104 dont la distance entre stations est de l'ordre de 2 km).

Ce type d'information apparaît donc tout à fait à la porté des exploitants de SIRIUS. Il reste à l'integrer dans une politique d'exploitation cohérente, de manière complémentaire avec l'annonce des bouchons.

C : Information de guidage - systèmes embarqués

Que ce soit sur les bouchons ou sur les temps de parcours, l'information délivrée par PMV présente toujours un caractère local. Ce caractère local d'information ne peut pas répondre au besoin de chaque conducteur concernant son propre trajet. On peut qualifier l'information délivrée par les PMV d'information de premier niveau, du fait de leur technologie sommaire ne permettant de délivrer qu'une information collective et générale, et celà, même si on pense que les PMV constituent une étape majeure d'information dynamique des usagers et sont appelés à se développer.

Pour mieux répondre aux besoins individuels, les systèmes de guidage devront compléter ce premier niveau d'information. Etape ultime de l'information avant son

utilisation par le conducteur, les systèmes embarqués dans les véhicules peuvent potentiellement permettre une liaison directe entre les exploitants et l'usager. Le système (CARMINAT) est d'ores et déjà en expérimentation sur le RVR d'Ile-de-France. Mais une utilisation massive des systèmes embarqués est une affaire de longue haleine pour des raisons à la fois techniques et financières. Il faut en outre souligner que plus les systèmes de transmission de l'information aux conducteurs sont sophistiqués et précis, et plus ils sont exigeants pour le RAD

X.4. LA COMMUNICATION AVEC LES USAGERS

X.4.1. Pourquoi faut-il communiquer avec les usagers?

Les analyses faites plus haut montrent que le système SIRIUS est par nature interactif L'objectif poursuivi est d'améliorer le fonctionnement du réseau par la modification des comportements des usagers. La modification des comportements des usagers observée constitue la réponse des usagers aux informations que leur donne l'exploitant Il est claire en même temps que cette interactivité est limitée à un champ relativement etroit d'informations et donc d'actions

Assurer le recueil des renseignements de toutes natures, centraliser et analyser ces renseignements, elaborer des politiques d'exploitation de la route et de la gestion du trafic, toutes ces actions ne trouvent leur plein "rendement" qu'à condition que circulent, entre les exploitants et les usagers, des informations perçues par ces derniers comme à la fois claires et fiables

Comme nous l'avons vu dans les resultats de sondage cité précédemment, la compréhension formelle par un large public des messages même très symbolisés est possible et cependant peut être ameliorée par des actions pédagogiques. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir avec les usagers une politique de communication au sens classique du terme afin de les amener a utiliser au mieux les informations délivrées par PMV dans leur déplacement et en même temps de contribuer à l'amélioration de la sécurité et de la fluidité du trafic

C'est a travers la communication que les incertitudes et les problèmes liés aux vocabulaires souleves precedemment seront éliminés. Celle-ci fait partie intégrante, au même titre que les efforts au niveau technique pour rendre les informations plus fiables et plus pertinentes, de la politique à mener pour améliorer les performances d'ensemble du système SIRIUS et rendre l'utilisation des PMV plus efficiente.

En fait, dès que les messages des PMV sont bien compris, les automobilistes devraient être capables de changer d'itinéraire. L'avantage principal que présente le réseau maillé est que le nombre d'itinéraires possible pour se rendre à une même destination est multiplié. Cependant pour profiter pleinement de cet avantage, l'automobiliste devra connaître parfaitement le réseau. Ce n'est pas vraiment le cas actuellement compte tenu des nombreuses modifications des infrastructures autoroutières ces dernières années en Ile-de-France. C'est là pour la politique de communication, un deuxième axe essentiel d'effort à mener.

X.4.2. Les actions de communication entreprises

Dès le début du projet SIRIUS, les responsables du projet ont pris conscience de ce problème de communication Ainsi, une série d'actions de communication ont été entreprises [JARDIN, 1994]

Dans un premier temps, afin de faire largement connaître le projet SIRIUS dont l'importance est fondamentale pour le bon fonctionnement des voies rapides de la région Ile-de-France, il a ete procedé a une campagne promotionnelle du système (fin 1988).

Tout d'abord, le projet SIRIUS a été présenté dans le cadre du Salon de l'Automobile 1988 (cible grand public, presse specialisée). Cet espace comprenait :

- Une maquette de demonstration illustrant le principe de mesures automatiques de trafic par capteurs,
- Deux logiciels sur micro-ordinateur expliquant la notion de maillage du réseau et le principe de l'information en temps réel par PMV,
- Des panneaux d'information resumant les grandes lignes du projet SIRIUS,
- Un montage video expliquant le principe général du système,
- Une plaquette d'information à l'attention du grand public (diffusée en 1000 exemplaires),
- Une carte simplifiee du RVR (diffusée en 50 000 exemplaires),
- Présentation de SIRIUS aux membres de la Commission des Transports du Conseil Régional d'Ile-de-France (décideurs politiques).

Les actions engagées plus récemment ont été faites sous forme de campagne de communication "grand-public". Il faut remarquer que ces actions de communication ont

été mises en place à la suite des conclusions du sondage du mai 1992 évoquées dans la deuxième section du présent chapitre. On distingue deux types d'actions pédagogiques :

- La pédagogie portant sur l'interprétation des messages forcément synthétiques, délivrés par les PMV.
- La pédagogie portant sur la connaissance du réseau et sur la notion même d'existence d'itinéraires alternatifs.

L'enquête citée plus haut a montré l'importance de ces actions de communication du fait de la connaissance de l'existence du projet SIRIUS par tous les usagers interviewés. Elle a montré aussi les potentialités de modification des comportements des usagers, mais aussi l'importance de l'effort de communication qui reste à conduire, en particulier pour les problèmes liés aux vocabulaires utilisés et plus généralement, à la sémantique des messages.

Désormais, la communication avec les usagers doit s'accentuer sur les thèmes précis de compréhension des messages afin d'accroître l'efficacité des informations. "Comment rendre les usagers plus coopératifs?" devient alors une préoccupation essentielle du Service.

X.4.3. Comment rendre les usagers plus coopératifs?

Comme nous l'avons vu precedemment, le projet SIRIUS, bien au delà des questions techniques, est avant tout un grand système de communication. Les actions de communication doivent être nombreuses et ne pas se limiter aux informations transmises par les PMV. Comme les actions entreprises ci-dessus, il est primordial de faire connaître toutes les possibilités et pour cela distribuer des cartes, des dépliants et tout faire pour qu'il aboutissent dans les véhicules, puisque c'est là, en situation réelle, qu'ils sont utiles. Suite à ces actions de communication entreprises, les usagers commencent à mieux approprier le système SIRIUS et a prendre en confiance les informations diffusées.

Pour se limiter au domaine de la communication avec les usagers, à partir des actions déjà entreprises et compte tenu des enseignements tirés lors des études précédentes, deux actions pour mener à bien la communication avec les usagers nous apparaissent aujourd'hui pertinentes :

- Etablir un circuit d'information entre l'exploitant et les usagers,
- Distribuer l'information dynamique dans les pôles générateurs de trafic.

A : Etablir un circuit d'information entre l'exploitant et les usagers

Il convient de mettre en place un circuit d'information ou de communication qui fonctionne régulièrement afin d'assurer un double rôle de communication. D'une part pour expliquer aux usagers de la politique d'information et en particulier sur les principes d'affichage des PMV. Dans l'immédiat deux efforts de communication sont à entreprendre afin d'améliorer la compréhension des messages : présentation des termes employés et explication de la notion de zone d'influence de chaque type de PMV. D'autre part, l'exploitant a besoin de communiquer avec les usagers sur leur appréciation de l'information et les difficultés dans l'utilisation des messages afin de faire évoluer les stratégies.

Cette mesure de communication a pour objectif de sensibiliser les usagers afin de participer activement à l'amélioration des conditions de circulation en modifiant leur comportement selon les informations données objectivement par les exploitants. On peut imaginer la participation des usagers pour le contrôle de la qualité et de la fiabilité des informations. L'idée serait d'inciter les usagers à signaler à l'exploitant les messages qui ne correspondent pas à la situation réelle. Un numéro téléphonique spécial peut être mis à la disposition des usagers. Ceux qui disposent d'un téléphone de voiture peuvent signaler les messages faux à l'exploitant via ce numéro pour que l'exploitant puisse vérifier et modifier rapidement les messages. Outre la participation directe à l'exploitation, ce genre d'action peut amener progressivement les usagers à se sentir plus responsables de la circulation

B : Distribuer l'information dynamique dans les pôles générateurs de trafic

Le système SIRIUS produit des informations de quantité importante. Les PMV ne restituent qu'une partie de ces informations. Ces informations peuvent influer sur la demande si l'on peut les faire connaître par les usagers avant leur départ.

L'idée serait de mettre dans les principaux pôles générateurs de trafic les écrans géants qui seront en connexion avec le système SIRIUS et qui afficherait le synoptique de trafic sur l'ensemble du RVR avec l'indication de différents niveaux de trafic. Les usagers peuvent différer leur départ s'ils constatent une difficulté majeure sur son itinéraire prévu ou décider de prendre un itinéraire alternatif soit par le RVR soit par le réseau associé

Avec le développement de la télécommunication et surtout "les autoroutes de l'informations", ce genre de projet est techniquement faisable. Il reste à résoudre les problèmes de financement. Une autre idée consiste à développer un service d'information payant comme des télévisions par câble. L'information produite par le système du type SIRIUS concernant les conditions de circulation serait transmise chez les abonnés. Les premiers intéressés seront les professionnels de transport car la route participe directement à leur activités économiques. Ils pourront mieux organiser leur moyen de transport en fonction des informations en temps réel sur l'état du trafic.

De manière plus générale, l'idée forte à retenir ici nous paraît être d'instaurer une politique continue et permanente de communication, en utilisant davantage les médias classiques, voire les messages radios.

Chapitre XI :

ELEMENTS DE REFLEXION POUR LA DEFINITION DE POLITIQUES D'EXPLOITATION DES RVR

Au terme de notre démarche, il nous semble intéressant de réfléchir, au delà des enseignements techniques et organisationnels, à la définition de politiques globales d'exploitation des RVR, ainsi que sur quelques éléments susceptibles d'influencer l'orientation de ces politiques d'exploitation. Ce sont notamment les liens qu'il peut y avoir entre les outils et l'organisation des acteurs d'une part, la politique d'exploitation d'autre part, que nous allons chercher ici à clarifier

XI.1. CONSTATS SUR LE CONTEXTE ACTUEL

XI.1.1. Une démarche pragmatique et empirique

La mise en fonctionnement opérationnel du système SIRIUS a marqué une avancée de l'exploitation du RVR en Ile-de-France. De l'exploitation en vraie grandeur du système SIRIUS, il ressort que l'information dynamique des usagers apporte la preuve qu'elle est une technique prometteuse pour agir sur les problèmes de circulation sur les RVR.

Celà étant, nous avons aussi constaté que les conditions d'exploitation des RVR souffrent, aujourd'hui, de nombreuses insuffisances, en particulier au niveau du RAD et au niveau des outils de simulation, de ce fait, l'exploitation des RVR se situe encore à un niveau essentiellement pragmatique et empirique.

Au fond, cette demarche pragmatique présente un caractère expérimental sur le plan de l'utilisation de l'information dynamique comme moyen de régulation. En particulier, on ne dispose pas de connaissances suffisantes sur l'efficacité de ce type de système, l'influence des informations sur le comportement des conducteurs étant notoirement délicate à évaluer. Peu d'études spécifiques existaient à ce sujet. Dans le domaine de l'information routiere, le champ de la recherche est à peine ouvert et il faut des études

approfondies qui s'appuient sur des sites comme SIRIUS pour progresser et être au-delà en mesure de définir des stratégies d'information plus ambitieuses.

En outre, il faut bien garder présent à l'esprit que c'est la crédibilité de l'ensemble du système qui est mise en jeux lors de l'expérimentation de nouvelle stratégie d'information. Par conséquent, il est indispensable d'assurer une cohérence dans l'ensemble des procédures d'information et d'avoir autant que possible une information homogène sur l'ensemble du réseau A cet égard, les gestionnaires de différents réseaux doivent travailler ensemble afin de mener une politique commune d'utilisation des PMV. Cette politique commune entre le SIER et le Ville de Paris devient de plus en plus nécessaire pour l'amélioration des conditions de circulation sur le RVR d'Ile-de-France. Nous avons vu en même temps qu'elle n'allait pas de soit. Là encore, une démarche pragmatique et progressive apparaît difficilement evitable.

On est également fondé a s'interroger sur le point de savoir si, compte tenu des connaissances et du savoir-faire actuel, on peut, pour l'exploitation des RVR, en faire autrement que de diffuser une information factuelle. De manière plus générale, on peut se demander d'ailleurs quel type d'information il faut afficher, et réfléchir au-delà au rôle que l'information dynamique pourrait jouer a l'avenir

XI.1.2. Cette démarche pragmatique doit associer une activité de recherche active

On voit que le système SIRIUS n'est qu'un pas dans le sens d'une évolution inéluctable dans le domaine de l'exploitation des RVR. Depuis son lancement opérationnel, le système SIRIUS a permis d'enregistrer, chaque jour, des millions d'informations Cette quantite de donnees permettra aux chercheurs de mieux comprendre les flux de circulation et aux exploitants de mieux les maîtriser [DURAND-RAUCHER, 1992]

La recherche d'une plus grande efficacité est donc un impératif pour le réseau et nous pouvons dire que l'on passe d'une periode d'exploitation extensive (la mise en place du réseau d'information) vers une periode intensive (la maîtrise de ce réseau). Explorer les potentialités de l'information routiere pour l'exploitation des voies rapides nécessite à notre sens, que soient combinees des démarches pragmatiques et une activité de recherche soutenue, s'appuyant sur des expériences acquises à l'étranger et dans le cadre de SIRIUS Cette demarche scientifique doit prendre davantage en considération le

comportement de l'usager comme une variable déterminante pour l'amélioration des conditions de circulation [LATERRASSE et al., 1994].

Du point de vue des outils d'exploitation, il s'avère utile de tirer les conséquences des outils développés dans le cadre de notre recherche.

A : Conséquences des efforts pour la maîtrise de RAD

La connaissance en temps réel des conditions de circulation sur l'ensemble du réseau est indispensable au choix et à la mise au point de toute action d'exploitation, que cette action soit automatique ou manuelle. En particulier, cette connaissance est fondamentale pour la délivrance d'une information de bonne qualité aux usagers du réseau.

Pour le systeme SIRIUS, des efforts doivent être faits pour la maîtrise du RAD afin d'accroître encore son efficacite en permettant la mise en place de nouvelles stratégies d'information et de régulation. En cette matière, les outils de vérification de données développés au chapitre IV offrent à l'exploitant une aide méthodologique. Sur le plan opérationnel, ils permettront d'une part de qualifier des données et d'autre part de faire le diagnostic rapide des pannes de capteurs (aide à la maintenance). L'intérêt de ces outils de vérification reside autant dans leur simplicité que dans leur facilité de mise en oeuvre. Ils représentent, pour l'exploitant, un moyen d'analyse et de mise au point indispensable à la mise en oeuvre operationnelle des actions d'exploitation

De maniere generale, les dispositifs de RAD installés, les outils de traitement des données et l'organisation des services pour la maîtrise du RAD abordés durant cette recherche ont ouvert une perspective de disposer d'une base de données fiable pour l'exploitation du reseau, et au-dela, une perspective raisonnable d'accès à une connaissance fine du fonctionnement en temps réel du réseau permettant à terme de guider les actions d'exploitation, même si c'est visiblement à des coûts (notamment pour la maintenance du reseau d'information) plus importants que les coûts initialement prévus

B : Conséquence de l'outil de la DAB

La rapidité de detection permet une information rapide des automobilistes sur les bouchons qu'ils vont rencontrer Tout ceci, est comme déjà noté, particulièrement important pour aider a réduire les accidents survenus en queues de bouchon. Les

informations données par PMV permettent aux conducteurs d'ajuster leur comportement (ralentir) au moment opportun.

Pour un système de la taille de SIRIUS, il faut être attentif à la qualité, à la disponibilité et à la régularité des informations telles qu'elles sont perçues par l'usager. Pour ce faire, un bon algorithme de DAB doit avoir le meilleur compromis entre le temps de détection et le nombre de fausses alarmes. De ce fait, on ne peut pas procéder à un mode de fonctionnement entièrement automatique. L'intervention des opérateurs reste indispensable pour valider des alarmes de bouchons avec des moyens disponibles et notamment avec des caméras.

Par rapport à la pratique actuelle (estimation approximative de la longueur des bouchons par les opérateurs), l'un des intérêts de l'approche de DAB proposée se situe toutefois dans l'amélioration de la rapidité et de la précision des informations, avec une localisation précise des bouchons. L'intégration de cette approche peut constituer une aide active à l'opérateur avec la localisation automatique des bouchons. L'opérateur n'a plus alors qu'à vérifier et puis confirmer ou infirmer des alarmes.

XI.2. REFLEXION RELATIVE A LA POLITIQUE D'INFORMATION

XI.2.1. La politique d'information dynamique par PMV

A : Le message de bouchon est-il pertinent?

Pour le RVR d'Ile-de-France, la politique actuelle d'utilisation des PMV consiste à afficher des informations de bouchon pour un objectif de sécurité. Si on limite le rôle de l'information dynamique a un aspect purement sécuritaire, l'affichage des messages de bouchon paraît pertinent vis-à-vis de l'effet recherché. C'est à dire que le message de bouchon assure une fonction d'alerte qui agit sur la vigilance des automobilistes en cas de congestion pour éviter les accidents.

En fait, on attache toujours, d'une manière implicite ou explicite, un objectif de fluidité à l'information dynamique des conducteurs. Dans ce contexte, l'affichage des messages de bouchon apparaît peu pertinent. Pour un objectif de fluidité, les flux d'information doivent être capables de piloter les flux de trafic. Concrètement, dans un réseau maillé autoroutier, les informations dynamiques doivent permettre aux automobilistes de faire leur choix entre deux itinéraires alternatifs.

Mais l'évaluation de SIRIUS [DURAND-RAUCHER, 1993] montre que, dans les conditions normales (sans incidents majeurs), les informations de bouchon ne provoquent pas de taux de délestage élevés (2 à 5%). Parmi les nombreuses explications possibles, la pertinence du message peut être la raison principale car la notion de bouchon, comme indiquée au chapitre VI couvre des états de trafic variables et est interprétée différemment par les usagers (voir aussi chapitre X). En conclusion, le message de bouchon n'est pas pertinent pour un objectif de fluidité dans la mesure où il n'est pas suffisant pour provoquer le changement du comportement des automobilistes. Il convient de s'appuyer sur d'autres types de messages pour renforcer l'influence des PMV sur la répartition du trafic dans le réseau.

Par contre, les messages de temps de parcours peuvent s'avérer plus pertinents pour répondre au besoin de répartition du trafic dans la mesure où ce type de messages aperçus avant une bifurcation autoroutière peut permettre aux usagers intéressés de choisir leur itinéraire en fonction du temps de déplacement, indicateur que chacun cherche à optimiser On peut donc envisager une diffusion des temps de parcours sur les PMV de SIRIUS

B : Faut-il diversifier les messages des différents types de PMV de SIRIUS?

Compte tenu les fonctions assignées aux trois types de PMV du système SIRIUS et à partir les considerations ci-dessus, il peut être nécessaire et judicieux de diversifier les messages affiches par chaque type de panneau. Au point actuel de notre réflexion, nous somme amené a donner des recommandations ci-dessous vis-à-vis de la politique d'utilisation des PMV

- Les PMV de sections courantes ayant une fonction fondamentale de sécurité vont continuer à afficher les messages de bouchon. Etant donné que les PMV ne peuvent pas délivrer des informations sur les réseaux associés, sauf en cas d'incidents majeurs (accidents graves et travaux importants), il est difficile d'imaginer une répartition du trafic entre voies rapides et les voiries associées. Il n'est donc pas utile de délivrer une information du type "temps de parcours" sur les PMV implantés aux sections courantes, sauf pour objectif de confort, et par souci d'homogénéité.

- Les PMV de divergent qui ont une fonction principale de régulation du flux de trafic doivent afficher les messages de temps de parcours sur les deux branches afin de guider le choix des automobilistes par une information factuelle. Supposons que le temps de parcours soit obtenu d'une manière convenable, on peut attendre un taux de délestage relativement important

- Les PMV installés sur les réseaux associés ayant une fonction de dissuasion auront l'intérêt à diffuser les messages de bouchon car les messages des PMVHA renseignent les automobilistes sur les conditions de circulation sur les voies rapides qu'ils vont prendre et ne comportent pas d'information comparative.

Ici, on se limite à donner l'orientation d'utilisation des PMV afin d'améliorer encore leur efficacité pour l'exploitation des RVR. La mise en oeuvre d'une telle politique nécessite encore des efforts conceptuels et pratiques concernant notamment la zone d'influence et la mise au point des algorithmes de calcul des temps de parcours. A propos de cet indicateur de temps de parcours, il convient toutefois de préciser que la prévision en temps réel des temps de parcours n'est pas possible dans l'état actuel des connaissances. Les seuls temps de parcours accessibles sont les temps de parcours réels (mesurés) pour les véhicules qui sortent du tronçon considéré. Ce sont donc des informations factuelles, qui n'ont pas de valeur prévisionnelle intrinsèque. Il est donc nécessaire de faire des efforts de recherche pour mettre au point des algorithmes de temps de parcours à un horizon donné de quelques minutes.

XI.2.2. Politique d'information individualisée : systèmes embarqués

A: Complémentarité des systèmes embarqués

L'information délivree sue les PMV a une portée géographique limitée par sa technique utilisée dans la mesure où elle s'adresse à une masse de conducteurs. Les systèmes embarqués se proposent de compléter ce premier niveau de service, gratuit et général, par un second niveau de service, payant et personnalisé, consultable à bord des véhicules lors du déplacement [SARIGNAC et al., 1993].

Les progrès importants réalisés dans les domaines du traitement, du stockage et de la transmission de l'information ouvrent en matière de système de guidage des perspectives tout à fait nouvelles, faisant actuellement l'objet de nombreux développements et expérimentations. L'application des technologies avancées d'information et de communication au transport routier révèle un potentiel d'amélioration de l'efficacité de l'exploitation du trafic, de renforcement de la sécurité routière, de la consommation d'énergie et de l'impact sur l'environnement.

Comme montré au chapitre II, tant au plan national qu'au plan international, plusieurs programmes de recherche et de développement se penchent sur ces

technologies. PROMETHEUS et DRIVE en Europe, RACS et AMTICS au Japon et IVHS aux Etats-Unis figurent parmi les programmes internationaux les plus connus dans ce domaine.

L'information individualisée peut être employée sous des formes diverses pour améliorer les conditions de circulation, c'est à dire la capacité, les flux, la sécurité et le confort.

La communication route-véhicule tient un rôle essentiel qui rend l'information routière flexible, dynamique et adaptable à des conditions changeantes. En examinant l'état actuel des connaissances, on convient que la conception des centres de gestion du trafic et les réactions des conducteurs constituent les problèmes fonctionnels les plus aigus dans le developpement des futurs systèmes d'information individualisée [OCDE, 1992].

B: Conséquences sur l'exploitation

Le développement et l'expérimentation en cours des systèmes embarqués apportent de nouveaux élements pour la définition de politique d'exploitation. Les nouvelles technologies de communication et de traitement des informations devraient permettre à terme l'intégration totale des systèmes d'information et des systèmes de gestion du trafic. Dès à présent, il est indispensable d'intégrer ces éléments dans la définition de nouvelle politique d'exploitation afin d'optimiser l'utilisation des réseaux existants.

Grâce à un système embarqué comme CARMINAT[1], les exploitants peuvent mettre en oeuvre de nouvelles strategies de gestion du trafic leur permettant de mieux réguler les flux de trafic sur l'ensemble du réseau (attribuer des impédances à certains tronçons autoroutiers, deconseiller des tronçons, recommander des vitesse, etc.).

Un objectif à long terme pour SIRIUS serait d'intégrer la gestion du trafic et le guidage des véhicules. En effet, une meilleure connaissance de l'état de trafic, tel que permet SIRIUS, offre par exemple la possibilité d'une répartition optimale des flux sur

[1]Les terminaux embarqués d'information et de guidage CARMINAT permettront aux conducteurs de recevoir les informations routières diffusées en temps réel sur la région parisienne depuis les PC de circulation (SIRIUS et PC du BP de Paris). CARMINAT assure la communication entre le véhicule et son environnement extérieur par le système de diffusion numérique de la bande FM ("Radio Data System" -RDS) déja opérationnel sur l'ensemble de l'Europe. Il s'agit d'un service d'information et de guidage proposé aux conducteurs dans l'agglomération parisienne.

l'ensemble du réseau a travers les systèmes embarqués, en permettant à l'ordinateur central la connaissance des matrices origine-destination des véhicules équipés.

D'autre part, le système embarqué interactif pourra émettre des informations relatives aux conditions de trafic rencontrées par le véhicule sur le tronçon où il se trouve. De la sorte, un véhicule équipé d'un système embarqué peut devenir un véritable "capteur flottant" de trafic Il fournit en permanence au centre de gestion de trafic des conditions de circulation (notamment la vitesse des flots), ce qui permet à l'exploitant de renforcer les dispositifs actuels de recueil des données du trafic.

Dans un système intégré de guidage et de gestion du trafic, l'élaboration des conseils de guidage doit se fonder sur les temps de parcours que va connaître le véhicule et non sur les temps de parcours observés, les durées des parcours déjà effectués doivent être actualisées en fonction de l'évolution du trafic, notamment lors de la saturation ou du retour à la normale

Les effets positifs des systèmes de guidage en matière de sécurité routière restent à être explorer concrètement pour pouvoir être réellement identifiés et éventuellement quantifiés L'argument selon lequel ces systèmes permettront une conduite plus décontractée semble aller dans le sens de la sécurité - le conducteur se trouvant libéré des tâches de navigation et d'orientation, mais d'autres effets secondaires de cette déconcentration pourraient se produire Plus directement, on peut donner aux systèmes de guidage des objectifs sécuritaires systèmes d'alarme/information en cas d'accidents, de travaux ou de conditions météo défavorables, recommandation d'itinéraires de moindre risque à condition bien sûr qu'il n'en résulte pas d'augmentation du niveau de risque (attentions du conducteur captée à certains moments par les informations transmises par le système embarqué)

Les systèmes embarqués (de guidage automatique) sont susceptibles d'accroître fortement l'efficacité de l'utilisation du réseau et ils constituent donc la prochaine génération d'outils de régulation de la circulation Toutefois, des progrès sont encore nécessaires pour rendre ces systèmes opérationnels, tant sur le plan de la fiabilité du RAD que sur celui des modèles de simulation Au-delà se pose un problème de stratégie, l'efficacité de ces systèmes étant a priori moindre si l'ensemble des véhicules sont équipés

XI.2.3. Améliorer l'efficacité de l'exploitation par une diffusion d'information qui agit sur la demande

Une attention particulière devrait être accordée aux effets d'information sur la demande, par le biais de modification d'itinéraire ou d'heure de départ. Ceci implique une politique d'information pour la préparation des déplacements. L'idée serait de diffuser par multimédias des informations dynamiques obtenues grâce au système SIRIUS pour que les utilisateurs potentiels des voies rapides connaissent les conditions générales de trafic avant de prendre le volant. L'objectif est d'offrir des services d'information pour aider l'automobiliste à choisir son horaire de départ et son itinéraire.

Avec les progres réalisés dans le domaine de la communication et de l'informatique, a priori, la diffusion des informations chez les automobilistes ne pose pas de problème technique majeur Par contre, le problème financier s'impose. L'exploitant sera amené à chercher commercialiser l'information routière. Pour commencer, on peut imaginer de transmettre la carte de bouchon (synoptique de bouchon) à travers des télévisons par câble ou le Minitel, etant entendu que là aussi, l'information la plus pertinente consisterait dans la comparaison des temps de parcours entre différents itinéraires, voire différents systèmes de transport

XI.3. INTEGRER LA POLITIQUE DE CONTROLE D'ACCES DANS LE SYSTEME SIRIUS

XI.3.1. Potentialité d'amélioration des conditions de circulations par le contrôle d'accès

Une bonne information sur les conditions de trafic peut permettre à l'usager de choisir le meilleur itineraire et au gestionnaire de trafic d'éviter l'engorgement complet de son réseau, cela aura donc une incontestable utilité. Si le système SIRIUS a présenté, pour le RVR d'Ile-de-France, une amélioration certaine en matière de fluidité, de confort et de sécurité en repondant a une nécessité d'information croissante et exigeante; il n'en demeure pas moins qu'il connaîtra prochainement ses limites, s'il n'est pas doté d'une approche intégrale de régulation et d'information. En réalité, ce système s'oriente particulièrement vers une régulation passive des flux de trafic et ne comporte pas de logique de régulation active sur la demande.

Il faut savoir que l'information dynamique des usagers ne pourra pas suffire à résoudre à elle seule le problème générale de la fluidité de la circulation et il ne faut donc pas négliger de perfectionner les autres méthodes et techniques de régulation du trafic, c'est à dire l'aménagement des points singuliers du réseau, la planification des chantiers, les délestages et contrôles d'accès. Parmi ces mesures, le contrôle d'accès sera une source d'amélioration notable des conditions de circulation sur ce réseau.

En raison des limites précitées, l'information dynamique par PMV telle qu'elle se présente aujourd'hui ne peut être que partiellement efficace par rapport à l'objectif de la réduction des encombrements dues aux congestions récurrentes.

Les expériences américaines de l'exploitation des RVR ont montré que le contrôle d'accès est efficace pour la gestion du trafic durant les heures de pointes. Le principe de ces systèmes de contrôle a fait l'objet de nombreuses études et expérimentations à travers le monde entier; citons en France, la recherche [BHOURI, 1991] sur les stratégies de contrôle d'accès du BP

XI.3.2. Objectifs de la politique de contrôle d'accès

La politique de regulation des acces sur le RVR d'Ile-de-France aurait pour objectifs:

- en situation normale : de retarder et limiter la congestion récurrente en heure de pointe du matin et du soir,
- en cas d'événement exceptionnel : d'éviter les engorgements excessifs du réseau en amont des perturbations : accidents, travaux, grandes migrations, etc.

L'analyse des deplacements en Ile-de-France fait ressortir une importante demande concernant des liaisons "inter-banlieues" a l'inverse des demandes fortement typées Paris-banlieues lors des décennies precedentes

Les itinéraires de rocades supportent de plus en plus de trafic et doivent en conséquence, être traites en priorité : Les équipements de contrôle d'accès devront être implantés sur les rocades, notamment l'A86 et l'A104 - RN 104 sur le sens intérieur et extérieur afin de mieux repondre aux besoins de pointes journalières du matin et du soir; ils favoriseraient ainsi l'ecoulement du trafic de grand transit et surtout les liaisons inter-banlieues.

A la limite de saturation, un excès de demande de l'ordre de 3 à 5% pendant plus d'une heure induit une chute de capacité de l'ordre de 10 à 20% et un accroissement des temps de parcours de 100 à 200% [DE BALINCOURT, 1989], ce qui grève lourdement le coût collectif global de l'ensemble des déplacements.

Au fond, les contrôles d'accès visent à augmenter, ou en tout cas à mieux utiliser, la capacité de traitement des flux des infrastructures existantes et à leur donner une plus grande souplesse d'exploitation, notamment pour mieux absorber les effets de pointe.

XI.3.3. Stratégies de contrôle d'accès

Plusieurs stratégies sont possibles pour réguler le débit d'entrée sur voies rapides : fermeture des accès, stratégie fixe de cycle de feux, stratégie adaptative locale et stratégie coordonnée pour un axe ou une zone. Pour pouvoir profiter le maillage du réseau, il s'avère nécessaire de développer des stratégies coordonnées incluant plusieurs accès sur un axe ou sur une zone où il y a effectivement des itinéraires alternatifs.

Dans sa recherche, BHOURI (1991) a utilisé le modèle META pour le développement de deux stratégies coordonnées (COMET, COSOP) et une stratégie locale (ALINEA)

La stratégie locale ALINEA est formulée sur la base de la théorie d'asservissement des systèmes linéaires Son objectif est de maintenir la densité du trafic principal au voisinage de l'accès, proche de la densité critique (correspondant à la capacité maximale de l'autoroute) Les deux stratégies coordonnées (COMET, COSOP) visent la minimisation du temps total passé par tous les véhicules sur l'autoroute et ses accès.

Les trois stratégies de contrôle ont été appliquées sur le B.P. intérieur de Paris en trafic dense et en cas d'incident Les résultats de COSOP ne sont pas satisfaisants. Les résultats d'ALINEA sont satisfaisants en l'absence d'incidents. Seul COMET est capable de bien gérer les situations de congestion et d'incidents. Le temps de calcul de COMET est plus long que celui d'ALINEA mais reste admissible pour une application en temps réel.

A priori, ces stratégies sont applicables sur le réseau SIRIUS. Avec la mise en oeuvre progressive des équipements, en particulier des stations de mesure, plusieurs sites (A4, A1, A3, A86 et A6) sont adaptés à l'application de stratégies de contrôle d'accès

comme ALINEA et COMET. Etant donné que COMET utilise des prévisions de la demande pour toute la période considérée, le meilleur fonctionnement des stratégies est d'utiliser une commande hiérarchisée. Celle-ci sera composée de la stratégie COMET au premier niveau et de la stratégie ALINEA au second. Ce type de commande permettra de profiter d'une part, des meilleurs résultats de COMET (notamment de sa connaissance de l'état du trafic sur la totalité de l'autoroute) d'autre part, de la rapidité d'ALINEA face aux changements qui peuvent affecter les conditions du trafic.

Toutefois, le développement des contrôles d'accès risque de dégrader les conditions de circulation sur les réseaux associés par la remontée des queues de bouchon dans ces réseaux associés ou bien par un retour important de trafic local sur les réseaux associés. Par conséquent, les élus locaux vont avoir tendance à s'opposer à la mise en oeuvre de la politique de régulation par contrôle d'accès. C'est d'ailleurs, une des raisons que les dispositifs de contrôle d'accès existants ne sont pas utilisés pour la régulation du trafic (à l'exception notable toutefois des systèmes fixes de réduction des flux d'entrée installés aux entrées du BP parisien)[2]

Des solutions devront être recherchées au niveau technique et au niveau organisationnel, ainsi qu'éventuellement à celui de la configuration des infrastructures. Au niveau technique, il convient de développer des stratégies adaptatives en prenant en compte les effets sur les reseaux associés, avec un bon compromis entre l'amélioration des conditions de circulation sur voies rapides et l'écoulement du trafic sur les réseaux de surface. Au niveau organisationnel, il convient de renforcer la communication entre les exploitants de ces différents réseaux afin de trouver des solutions pragmatiques aux conflits éventuels

XI.4. REFLEXION RELATIVE A L'ORGANISATION DE L'EXPLOITATION

XI.4.1. Faire évoluer l'organisation existante

Tous les acteurs (de l'équipements et de la forces de l'ordre), bien que dépendant de l'autorité unique du Prefet de la région, nécessitent à l'heure actuelle, une sérieuse coordination. Le principe fondamental de l'organisation du système d'acteurs est la gestion du RVR du point de vue "trafic", par des actions rapides, adaptées et coordonnées. Comme nous l'avons déjà vu, il est souhaitable d'avoir un système d'acteurs

[2]L'expérience du BP montre au demeurant que, en améliorant les conditions d'écoulement des flux sur le réseau principal, on diminue aussi de fait les stockages aux entrées du réseau.

mieux organisé, ce qui peut nécessiter une certaine hiérarchisation des acteurs, au moins en fonction de la nature des actions à mener..

Mais il ne nous paraît pas réaliste de tout vouloir ramener et traiter à partir d'un seul poste de gestion et de commandement compte tenu de la configuration du réseau, du nombre de maîtres d'ouvrage et des difficultés de transmission des données fines. Néanmoins la stratégie de gestion et l'élaboration des politiques d'actions dont les cohérences sur l'ensemble du réseau sont fondamentales doivent, elles, être mises en oeuvre autant que possible à un échelon central [DDE-RHONE, 1989].

Une des difficultés de l'organisation du système d'acteurs résulte de la multiplicité des exploitants et de la répartition des responsabilités. En réalité, l'automobiliste est indifférent au fait que l'itinéraire qu'il emprunte est géré par l'Etat, une société concessionnaire d'autoroute, un département ou une commune. L'un des objectifs de l'organisation du système d'acteurs serait donc de mettre en place les moyens et les procédures qui permettent la synergie des intervenants, pour une gestion globale et cohérente du reseau maillé

Dans le cas du RVR d'Ile-de-France, cet échelon central existe déjà pour le réseau principal géré par le SIER par la mise en place il y a 3 ans le PC régional (PCR). Mais, aujourd'hui cette unité n'est pas capable de coordonner en temps réel des actions de chaque PC faute de moyens (humains et matériels) de décision. De plus, cet échelon de coordination n'existe pas entre le réseau principal (géré par SIER), le BP de Paris (géré par les services techniques de la Ville de Paris) et les autoroutes concédées (gérées par les concessionnaires)

Le PCR semble pourtant bien placé pour effectuer les tâches de coordination entre les différents PC appartenant à des organismes divers, et faisant pourtant une partie intégrante du fonctionnement régional de RVR. Pour ce faire, il faut convaincre les partenaires et dégager des moyens humains et matériels nécessaires, et surtout d'accepter de déléguer à l'echelon regional les pouvoirs correspondant à sa mission mandatée par le Préfet de la Region

Avec la mise en place d'un tel échelon de coordination, le système d'acteurs pourrait fonctionner avec deux niveaux .

- Les mesures de gestion globale du trafic sur le réseau maillé sont déterminées et transmises par l'opérateur central qui est nanti du pouvoir de décision supérieur (préfet de la région)

- La surveillance du reseau et les interventions sont effectuées à l'échelon local.

Dans une telle structure organisationnelle, chaque exploitant (PC) aura donc une autonomie en situation dite normale (ou de routine), pour tout ce qui n'est pas de nature à influencer le fonctionnement d'ensemble du réseau. Dans le contexte d'une situation normale, les différents PC assureront la gestion locale de leur zone de compétence selon un principe défini en commun.

En présence d'une perturbation ou d'un événement particulier, le PCR décide l'application ou non d'une action globale. Si une action globale est jugée nécessaire, celle-ci s'inscrira dans un cadre prédéfini, conçu conjointement par tous les intervenants. De fait, le point crucial dans l'organisation du système d'acteurs sera d'assurer sa capacité à faire circuler l'information entre les acteurs, et à gérer les priorités entre les différents niveaux d'intervention

Un ensemble de procedures d'action et de concertation, validé et adopté par tous les intervenants permettra donc d'assurer une gestion cohérente du réseau, tenant compte à la fois des besoins propres aux voiries principales de l'agglomération, ainsi que du réseau d'autoroutes concedees qui leur est connexe Parmi elles, la mise à jour des informations liées aux travaux, bouchons, accidents, etc doit être communiquée systématiquement au PCR

Le PCR sera donc relie en permanence (voir Fig. 11.1) :
- aux PC du SIER,
- au PC du B P de Paris,
- aux PC des autoroutes concedees,
- au CRICR,
- à la Préfecture de la Region

XI.4.2. Intégration de l'exploitation du RVR avec celle des réseaux associés (opération "corridors")

Parmi les enseignements que l'on peut tirer de la politique actuelle d'exploitation du RVR d'Ile-de-France, on retiendrait plus particulièrement que les opérations corridors[3] ont eu un faible developpement car les gestionnaires du réseau principal et des réseaux associés n'avaient en fait ni les mêmes objectifs, ni des capacités comparables

[3]gestion d'un axe autoroutier et de son reseau associé

d'exploitation en temps réel. Le BP associé aux boulevards Maréchaux demeure la seule illustration d'une exploitation réellement coordonnée.

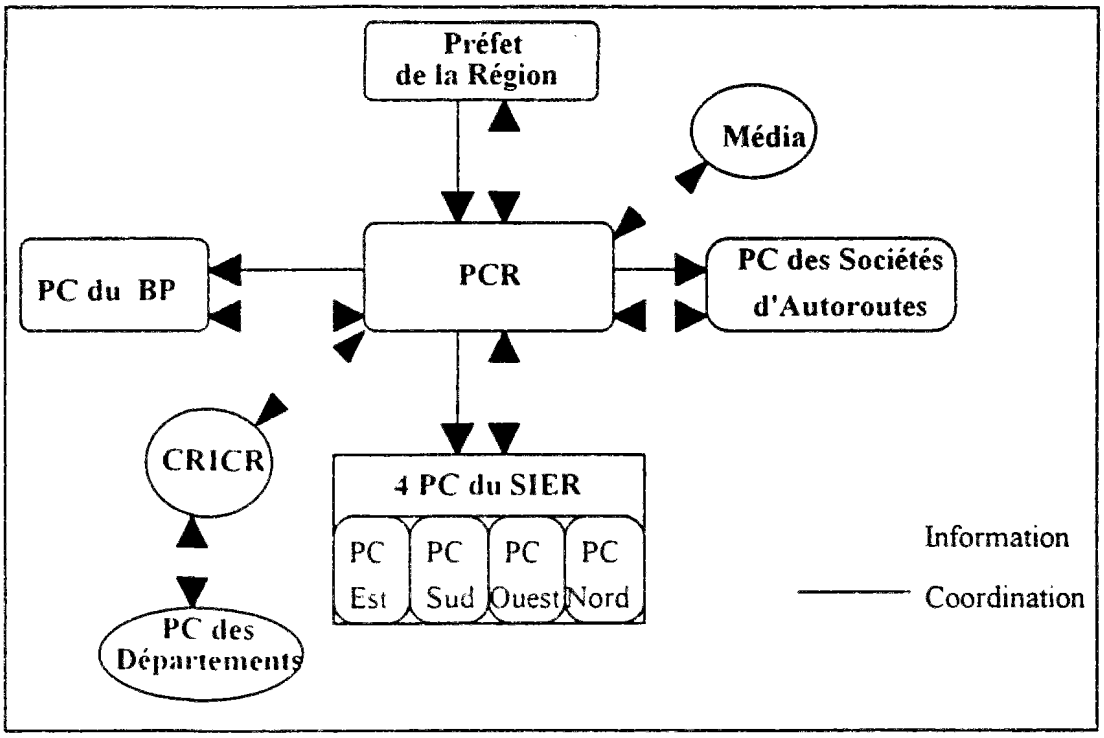


Fig 11.1 : Echange et communication entre les différents PC

Les opérations de corridors permettent une répartition du trafic entre les deux types de réseaux au niveau statique et au niveau dynamique. Le niveau statique peut s'appuyer sur des plans de gestion du trafic etablis en commun par les acteurs concernés. Le plan PALOMAR lors des grandes migrations exceptionnelles en est un exemple. D'autre part, en cas d'incident grave, le RVR peut s'appuyer sur les réseaux associés pour délester ou dévier certains flux de trafic Le niveau dynamique est un processus difficile qui consiste à répartir la demande en temps reel a l'intérieur d'un corridor et à guider collectivement les automobilistes d'une maniere presumée optimale.

La mise en place des operations de corridors implique une coopération étroite et une coordination efficace entre les gestionnaires concernés. L'effort organisationnel est un passage obligatoire pour la bonne conduite des opérations de corridors.

Dans un premier temps, l'exploitation en corridor serait de nature statique, et consisterait dans la réalisation d'actions portant essentiellement sur le traitement des

perturbations exceptionnelles (prévisibles ou non). Progressivement, les exploitants des corridors pourraient être appelés à coopérer en temps réel pour améliorer l'efficacité d'un corridor entier. Cette amélioration implique l'intégration des systèmes d'exploitation et le développement de stratégies coordonnées.

Concrètement, dans le cadre d'une nouvelle politique d'exploitation, il convient tout d'abord d'identifier (ou définir) des corridors sur l'ensemble du RVR. Pour chaque corridor identifié, il faut effectuer des études de trafic et mettre en place différents plans de gestion du trafic selon les circonstances et en fonction des dispositifs de gestion du trafic existants. Ensuite, il faut développer des stratégies pour la gestion du trafic dans chaque corridor après des études en profondeur sur son fonctionnement actuel, des outils de simulation étant ici indispensables.

Les opérations de corridors peuvent donc être fortement complémentaires des stratégies mises en oeuvre avec le système SIRIUS tout en valorisant au mieux les équipements dynamiques mis en place. En particulier, les contrôles d'accès peuvent être utilisés d'une manière plus rationnelle avec des stratégies coordonnées. Le contrôle d'accès peut avoir un effet d'incitation des usagers ayant un parcours court sur voies rapides à rester sur réseau associé. De manière plus générale, pour atteindre une efficacité maximum du système de circulation dans son ensemble, dont l'exploitation se caractérise souvent par des systèmes de régulation indépendants les uns des autres, il est nécessaire de mettre l'accent sur la mise au point de stratégies intégrées de gestion de la circulation.

Dans les grandes agglomérations, sans attendre une telle intégration, il serait très opportun d'envisager dès à présent une coordination des systèmes d'exploitation sur les différents réseaux. Une telle démarche devrait déjà permettre de coordonner ce qui est fait de façon éparse et d'homogénéiser sur l'ensemble du réseau les procédures et les services, de sorte que l'usager ait un réel sentiment de cohérence et de continuité d'itinéraire.

XI.5. LE PROBLEME DU PEAGE

Il paraît possible que pour conserver à la circulation une certaine fluidité, on soit amené à introduire la tarification d'usage de la voirie dans les grandes agglomérations pour dissuader les automobilistes de circuler dans certaines zones dense et financer l'amélioration des transports en commun.

Le recours à la tarification d'usage des RVR ou éventuellement d'autres politiques dissuasives d'utilisation des véhicules personnels peuvent s'avérer d'autant plus nécessaires que les techniques de régulation et d'information ne suffisent plus à améliorer les conditions de circulation sur ces RVR. Les spécialistes de trafic [KOSHI, 1991] [MAY et al., 1991] ont reconnu que pour des zones de forte demande, l'amélioration des conditions de circulation offerte par la gestion du trafic serait de courte durée en l'absence de mesures exogènes. Il s'agit donc d'agir sur la demande de déplacement. Le développement et la mise en place d'une politique de tarification suscite cependant des problèmes techniques, économiques, politiques et sociaux importants, qu'il n'est pas possible d'aborder ici [PAPON, 1992]. On peut seulement donner quelques points de réflexion.

Il convient d'abord de noter que, pour être efficace, la régulation de la demande doit être accompagnée d'une série de mesures qui incluent l'aménagement du territoire, la gestion du trafic et le développement des transports en commun.

Le péage sur RVR n'est pas un concept nouveau. On a vu au chapitre II, qu'au Japon, toutes les autoroutes urbaines sont à péage. Cette pratique conduit une certaine modulation de l'utilisation de véhicule particulier. Ainsi, 10% seulement des trajets domicile-travail se font en voiture dans Tokyo (25% dans le Grand Tokyo), 70% en transport en commun et le reste en bicyclette et à pied, tandis que les trajets professionnels se font à 60% en automobile. On peut y voir l'effet du prix élevé du péage, même si des enquêtes plus fines seraient nécessaires.

La conjonction d'une certaine prise de conscience et des moyens techniques d'y répondre peut laisser penser que la tarification d'usage de la voirie sera une réalité sur le RVR d'Ile-de-France d'ici quelques années, même si celà donne lieu aujourd'hui à un débat politique particulièrement vif, dans lequel les adversaires du péage ont beau jeu d'assurer que seule une amélioration significative des transports de banlieue peut permettre une utilisation moins intensive des véhicules personnels. De ce point de vue, les hausses successives du prix du carburant semblent bien leur donner en partie raison, dans la mesure où il n'a pas suffit à induire une évolution des comportements.

Il est clair en tout cas qu'il faut régler auparavant certains problèmes sociaux, techniques et financiers liés à la mise en oeuvre de tels systèmes. Le problème de l'équité sociale se pose en particulier, certaines catégories d'usagers dont les revenus sont faibles risquant d'être exclues de l'usage de voirie publique. Le problème technique consiste à

concevoir une politique de tarification efficace, rapide et sans atteindre l'anonymat des déplacements des individus. Le problème financier concerne l'investissement public lié à l'installation des équipements au sol et l'équipement de chaque automobiliste au "télépéage" car il est a priori exclu d'arrêter l'usager ou de construire en zone urbaine d'encombrantes barrières.

Il serait donc tout à fait possible et judicieux de jumeler télépéage et information sur le trafic, en utilisant pour les deux fonctions les mêmes appareils embarqués, cette intégration permettant en outre [BIEBER et al., 1993] d'ouvrir des perspectives nouvelles en matière de contrôle et de régulation du trafic en zone urbaine. Le service de guidage dynamique, rendu possible par la connaissance de l'origine et la destination du véhicule, constituerait une justification du péage, présenté comme une redevance d'accès à ce service.

CONCLUSION GENERALE

1. Emergence de l'exploitation des réseaux de voies rapides urbaines et périurbaines

Après s'être longtemps limitée à la construction et à l'entretien de la route, l'exploitation des RVR a connu un essor considérable depuis quelques années dans les grandes agglomérations des pays les plus industrialisés. Cette évolution est le résultat direct de la prise de conscience des problèmes liés au fonctionnement de ces réseaux avec la forte croissance de la demande et la multiplication des incidents conduisant à une augmentation spectaculaire des encombrements.

Une des caractéristiques des voies rapides urbaines et périurbaines est qu'elles supportent un trafic qui atteint ou approche leur capacité théorique. Elles ne fonctionnement pas spontanément de façon optimale: les perturbations y sont fréquentes et prennent rapidement une dimension importante. Elles nécessitent une optimisation permanente de leurs conditions de fonctionnement. C'est là le principal objectif de leur exploitation. D'importants bénéfices, pour les individus comme pour la collectivité, sont à attendre d'amélioration dans ce domaine : ce sont principalement la réduction de la congestion, et donc des temps de parcours ainsi que des coûts induits, notamment au plan de la sécurité et de l'environnement.

Notre démarche bibliographique a montré que la pratique actuelle de l'exploitation des RVR est marquée par le développement de systèmes sophistiqués d'exploitation. Toutefois, l'exploitation des RVR et singulièrement le traitement des perturbations constitue un domaine nouveau et complexe, aux concepts parfois mal définis, faisant intervenir de nombreux acteurs et nécessitant des organisations, des méthodes et des moyens souvent peu compatibles avec les contraintes organisationnelles ou financières actuelles.

2. Contribution de notre recherche

A : Concernant les outils mis au point

Notre approche des problèmes d'exploitation des RVR urbaines et périurbaines s'appuie sur le cas concret de l'exploitation du RVR d'Ile-de-France. Les études menées dans ce cadre ont permis d'identifier les problèmes rencontrés lors du développement et de l'exploitation de systèmes d'exploitation comme SIRIUS : celui du manque d'outils adaptés et celui de l'organisation des acteurs. Ces deux problèmes conditionnent largement la mise en oeuvre opérationnelle des systèmes d'information routière et le développement de nouvelles politiques d'exploitation.

Partant de ces deux constats, notre recherche s'est focalisée sur ces deux problèmes. S'agissant du premier problème, il convient de noter que l'exploitation des potentialités liées au maillage des réseaux implique la mise à la disposition des exploitants d'outils de simulation capables d'affecter en temps réel les flux de trafic et de simuler les conséquences des mesures d'exploitation en se basant sur un principe d'optimisation de l'utilisation du réseau. Or l'inventaire et l'analyse des outils de simulation existants montre qu'il n'y a pas d'outil correspondant aujourd'hui à cet objectif. Cependant deux modèles METANET et SIMRES sont susceptibles d'être utilisés à condition de mener des recherches et des développements complémentaires. Parmi les nombreuses causes de l'absence de modèles de simulation dans l'exploitation du RVR d'Ile-de-France comme dans tous les autres systèmes d'exploitation, l'insuffisance de données en terme de qualité et en terme de quantité semble être une cause essentielle. Ainsi notre démarche des problèmes d'exploitation des RVR a consacré beaucoup d'effort au développement des outils et à l'élaboration des procédures pour la maîtrise du RAD.

a). Outils de vérification des données

Un enseignement de notre travail est d'avoir montré que, pour les systèmes d'exploitation comme SIRIUS, un aspect essentiel réside dans la mise en place et dans la maîtrise du recueil automatique des données. Tout conduit en effet à penser qu'on a jusqu'ici beaucoup sous-estimé la difficulté de disposer d'un réseau d'information fiable sur une grande échelle, tant au plan du fonctionnement même de ce réseau et de sa maintenance, qu'au plan de l'utilisation et de l'interprétation des données. Sur ce dernier plan, les trois moyens proposés et leurs applications donnent un aperçu des possibilités pour aider l'exploitant à analyser et à diagnostiquer facilement les erreurs dans les données. Avec les outils de vérification des données mis en oeuvre et les procédures de

la maintenance proposées, on attend une amélioration sensible de la performance du RAD permettant au SIER de se doter rapidement d'une base de données statistique et dans l'avenir d'une base de données en temps réel avec lesquelles les outils de simulation pourraient être testés, validés et appliqués dans la pratique d'exploitation opérationnelle. Plus fondamentalement, un RAD performant permettra l'interprétation correcte et précise des conditions de circulation (notamment la DAI et la DAB) pour mieux guider les actions d'exploitation à entreprendre et l'information en temps réel des usagers.

Au delà de ces enseignements méthodologiques qu'apportent ces outils de vérification de données, ce sont les enseignements sur leurs applications en exploitation des RVR qui nous paraissent ici devoir être soulignés. En pratique, ce soutien se traduit par l'application de ces outils dans différentes approches menées par le SIER en vue du contrôle et de la maîtrise du RAD.

D'une part, ces outils seront utilisés pour qualifier en temps différé les données dans la constitution d'une base de données statistique; ils permettront en même temps d'identifier de manière systématique les dysfonctionnements du RAD.

D'autre part, ces outils pourraient être introduits progressivement au sein du système informatique de SIRIUS pour qualifier en temps réel les données afin d'assurer leur fiabilité dans la phase suivante de leur traitement, ayant pour objectif l'interprétation des conditions de circulation.

b). Outil de calibrage des paramètres du diagramme fondamental

Au cours de cette recherche, on a également mis au point une méthode de calibrage des paramètres du diagramme fondamental. L'idée est de calculer ces paramètres largement utilisés par l'exploitation des RVR à partir des données mesurées selon les caractéristiques connues du diagramme fondamental. L'originalité de cette méthode est la combinaison de deux lois: celle proposée par May et celle proposée par Underwood.

Outre l'apport méthodologique qui consiste dans la déduction directe des paramètres du diagramme fondamental à partir des données mesurées, la méthode proposée au chapitre V constitue un outil facile, rapide et pertinent mis à la disposition de l'exploitant. A l'aide de cet outil, celui-ci peut obtenir facilement les caractères de l'écoulement du trafic à chaque section d'autoroute (vitesse libre, capacité, concentration critique).

C). Approche de la DAB

L'approche de la DAB développée dans la présente recherche permet une détection systématique et quasi-instantanée des bouchons, avec un taux de fausses alarmes raisonnable (30%). L'application de cette approche de DAB devrait donc assurer une information fiable sur les encombrements. L'inventaire des modèles de simulation et surtout le test de META laissent en outre penser qu'une amélioration des performances du RAD ouvre une bonne perspective d'utilisation de la simulation dans les activités d'exploitation en temps différé (simulation des travaux, des aménagements du réseau et des contrôles d'accès etc.) et en temps réel (DAI et DAB pour des sections peu équipées ou en cas de panne de capteurs, reconstitution des données etc.).

Au total, ces outils doivent non seulement permettre la mise en oeuvre opérationnelle de la politique actuelle d'exploitation basée essentiellement sur l'information en temps réel des usagers par PMV, mais aussi, par la suite, de définir et de tester de nouvelles politiques d'exploitation en intégrant notamment le contrôle d'accès d'une manière scientifique et efficace.

Avec une bonne RAD, on peut de manière plus générale envisager différents niveaux de services, avec des systèmes de transmission de l'information plus ou moins sophistiqués, allant des PMV aux systèmes embarqués, en passant par différents types de média. Plus les systèmes de transmission sont sophistiqués et se veulent précis et performants, plus le RAD doit être lui-même fiable et performant.

B : Sur les aspects organisationnels

Le SIER a été créé pour l'exploitation du RVR d'Ile-de-France à travers notamment le développement et l'exploitation du système SIRIUS. La structure ici proposée pour l'organisation du SIER pourrait servir d'exemple pour les services d'exploitations des RVR des grandes agglomérations nécessitant la mise en place de systèmes modernes d'aide à l'exploitation. Une structure stable pourrait être constituée de trois groupes (divisions) : Système, Exploitation et Etudes, en mettant l'accent à la fois sur l'importance de la fonction Exploitation autour de laquelle les autres fonctions tendent à se réorganiser, ainsi que sur l'importance des interfaces fonctionnelles entre les divisions du Service, qui deviennent un élément essentiel pour toute la maîtrise de la chaîne d'information. L'évolution des pratiques et de l'organisation de la maintenance, tout

comme le renforcement de la liaison entre la fonction Etudes et la fonction Exploitation sont tout à fait illustratifs à ce sujet.

La complexité d'exploitation des RVR provient pour partie de la diversité des acteurs et des partenaires impliqués à laquelle il convient d'ajouter l'usager de la route. L'efficacité de l'exploitation dépend de l'ensemble des acteurs dont une structure cohérente n'existe pas encore. Ainsi, la définition de la politique d'exploitation doit faire l'objet de réflexions croisées et itératives. Ces réflexions doivent s'appuyer sur la participation de l'ensemble des partenaires et des acteurs concernés, où l'on retrouve pour le RVR d'Ile-de-France, le SIER, les DDE, les CRS, la Ville de Paris, les sociétés d'autoroutes, les collectivités locales...

Nous avons démontré que la résolution de certains problèmes d'organisation des acteurs est une source importante d'amélioration du fonctionnement du réseau. Dans un tel contexte multi-acteurs, il est nécessaire de favoriser au maximum la coopération, mais il faut également tenir compte des exigences d'autonomie de chaque acteur. L'efficacité du système d'acteurs attachés à des administrations différentes ne peut reposer sur de simples décrets mais sur l'adhésion des acteurs aux objectifs définis en commun, ainsi que sur la mise au point de procédures d'information et d'intervention bien adaptées à chaque situation.

Pour bien clarifier la démarche intégrée, il est donc indispensable de reconnaître que chaque acteur a ses propres objectifs. Ils peuvent être communs, mais il n'est pas impossible d'en trouver des divergents, pour lesquels des compromis seront nécessaires.

Pour la pratique de définition de la politique d'exploitation des RVR, il convient de s'attacher à considérer l'ensemble des intervenants de plus en plus nombreux à être concernés par l'exploitation d'un réseau donné comme constituant un système, et considérer comme déterminant de travailler sur une meilleure organisation de ce système complexe d'acteurs. Il est clair en effet que tout ne sera pas réglé le jour où on aura une parfaite maîtrise technique des systèmes d'exploitation du type SIRIUS. Son étude montre au contraire qu'à l'évidence, les paramètres d'organisation des acteurs externes au Service constituent un élément essentiel, qu'il s'agisse de la coordination des calendriers de chantiers, de la gestion des interventions en cas d'accidents, ou encore de l'installation de dispositifs de régulation comme les contrôle d'accès.

Aux termes de cette recherche, on peut considérer que ces aspects organisationnels, trop souvent sous-estimés voire ignorés, sont au contraire aussi importants à maîtriser

que le sont les innovations technologiques. A vrai dire, l'un ne pourra pas aller sans l'autre : plus on progressera dans la maîtrise de l'information en temps réel, et plus seront exigeants les facteurs d'organisation permettant de tirer parti de cette information en termes d'exploitation des RVR; en retour, ces facteurs organisationnels conditionnent pour une bonne part les progrès technologiques eux-mêmes, tant il est vrai que dans ce domaine de l'exploitation des RVR, les recherches, fussent-elles technologiques, ne peuvent réellement avancer que dans leur contexte concret.

C : Communication avec les usagers

L'information dynamique des automobilistes constitue une politique appropriée de l'exploitation des RVR. Pour être efficace, l'information dynamique implique une réaction de la part des automobilistes. De ce fait, la communication avec les usagers de la route devient primordiale pour l'amélioration des conditions de la circulation. L'un des enseignements du présent travail est de montrer que des systèmes d'information du type de SIRIUS impliquent, de la part du Service chargé de les mettre en oeuvre, une approche plus globale des problèmes de communication avec les usagers, pour que ceux-ci s'approprient aussi bien les potentialités du système d'information que celles liées au maillage du réseau. Nous avons été par ailleurs amenés à souligner l'importance de l'effort qui reste à conduire tant sur la sémantique des messages diffusés que sur la normalisation des vocabulaires et des codes utilisés par ces exploitants.

3. Perspectives et besoin de recherche

L'état actuel du développement des systèmes d'exploitation des RVR et l'examen des nouvelles technologies montrent qu'un potentiel énorme existe pour le développement d'une nouvelle génération de système et de stratégies de gestion dynamique de la circulation sur les RVR. Pour atteindre une efficacité maximum des RVR et d'une manière générale du système de transport routier dans son ensemble, dont l'exploitation se caractérise souvent par des systèmes de régulations indépendants les uns des autres, il est nécessaire de mettre accent sur la mise au point de stratégies intégrées de régulation et d'information des automobilistes. Ceci amène également à souligner la nécessité d'avoir des outils d'évaluation efficaces pour ces politiques d'exploitation : évaluation en temps différé afin de définir des stratégies de gestion de la circulation, et évaluation en temps réel pour vérifier les changements survenus dans les caractéristiques de la

circulation et d'identifier éventuellement toute modification à apporter à la stratégie adoptée.

Pour l'exploitation des RVR de demain, l'une des difficultés majeures auxquelles sont confrontés les responsables de la circulation, et les chercheurs, réside en effet dans la difficulté d'évaluer précisément l'efficacité des techniques choisies et des politiques d'exploitation mises en oeuvre. Plusieurs éléments doivent ici à notre sens être gardés à l'esprit :

- le premier, c'est qu'il importe d'aller vers la définition de politiques globales d'exploitation, ce qui implique la recherche d'une cohérence entre les choix technologiques pour l'infrastructure de RAD, les supports et les médias pour la diffusion de l'information, le contenu des messages, l'organisation et les procédures d'implication des différents acteurs concernés. Par exemple, un objectif organisé autour du maintien de la fluidité sur le réseau principal implique non seulement la diffusion d'information de sécurité et la gestion coordonnée des chantiers, mais une politique appropriée de contrôle d'accès.

- le deuxième élément est que de telles politiques globales d'exploitation ne peuvent, tant du fait des problèmes théoriques et techniques restant à résoudre que des difficultés organisationnelles, être définies et mises en oeuvre qu'à travers une démarche faite de pragmatisme et de progressivité, et s'appuyant sur une activité soutenue d'études et de recherches théoriques.

C'est à notre sens à ce prix, et à ce prix seulement, que l'exploitation des RVR pourra réellement, dans les années qui viennent, devenir une science et relever les défis auxquels elle se trouve aujourd'hui confrontée.

GLOSSAIRE

AMTICS : Advanced Mobile Traffic and Communication System

BP : Boulevard Périphérique

CACS : Comprehensive Automobile Traffic Control System
CD : Chemin Départemental
CETUR : Centre d'Etudes des Transports Urbains
CNIR : Centre National d'Information Routière
CRICR : Centre Régional d'Information et de Coordination Routière
CRS : Compagnies Républicaines de Sécurité
CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement

DAB : Détection Automatique des Bouchons
DAI : Détection Automatique des Incidents
DDE : Direction Departementale de l'Equipement
DDSP : Direction Departementale de la Sécurité Publique
DREIF : Direction Regionale de l'Equipement d'Ile-de-France
DRIVE : Dedicated Road infrastructure for Vehicle Safety in Europe
DSCR : Direction de la Securite et de la Circulation Routière

EEE : Etudes d'Exploitation et d'Equipement
ENPC : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
ETR : Etudes et Travaux de Régulation

FHWA : Federal Highway Administration
Fig : Figure

GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur

HAR : Highway Advisory Radio
HOV : High Occupancy Vehicle

INFORM : INformation FOR Motorists
INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
IVHS : Intelligent Vehicle Highway Systems

META : Modèle d'Ecoulement du Trafic sur Autoroute

Nb : Nombre
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
O/D : Origine / Destination

PATH : Program on Advanced Technology for Highway
PC : Poste de Commandement
PCR : Poste de Commandement Régional
PIB : Produit Intérieur Bruit
PIU : Plan d'Intervention d'Urgence
PMV : Panneaux à Messages Variables
PMVD : Panneaux à Messages Variables de Divergents
PMVS : Panneaux à Messages Variables de Sections courantes
PMVHS : Panneaux a Messages Variables Hors Autoroutes
PROMETHEUS Program for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety

Q-TO : Débit - Taux d'Occupation
Q-V : Débit-Vitesse

RACS : Road Automobile Communication System
RAD : Recueil Automatique de donnees
RAU : Réseau d'Appel d'Urgence
RN : Route Nationale
RTS : Recherche Transport Sécurite
RVR : Réseau de Voies Rapides

SAMU : Service d'Aide Medicale d'Urgence
SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
SERMIF : Stratégie d'Exploitation du Réseau Maillé d'Ile-de-France
SIER : Service Interdépartemental d'Exploitation Routière
SIRIUS : Système Integré de Régulation et d'Information des Usagers ou Système d'Information pour un Réseau Intelligible aux Usagers

TEC : Transport Environnement Circulation
TER : Techniques et Equipements de la Route
TO : Taux d'Occupation
TRB : Transportation Research Board
TRL : Transport Research Laboratory
TRR : Transportation Research Record

véh : véhicules
V-TO : Vitesse-Taux d'Occupation

1mn : 1 minute
6mn : 6 minutes
20s : 20 secondes

BIBLIOGRAPHIE

- ABOURS S. et al. (1988), ***Les modèles INRETS de simulation***, synthèse INRETS n°12, juillet 1988, INRETS, 136p.

- ABOURS S. (1985), ***Estimation de temps de parcours sur un axe urbain à partir de taux d'occupation***, Rapport IRT (INRETS) n°76, 1985.

- AIPCR (1991), ***Exploitation et gestion -Question III-***, XIXè Congres Mondial de la Route, MARRAKECH, Septembre 1991.

- ARON M et FERRY B.(1990), ***Le guidage des véhicules : une direction à suivre ou un détour de la technique?*** Recherche-Transport-Sécurité, N°28, Décembre 1990.

- BARADEL B (1992), ***Modélisation du trafic sur autoroutes maillées en milieu périurbaine et gestion du trafic par des Panneaux à Messages Variables***, Séminaire de recherche sur Modélisation des réseaux et des flux, ENPC, Paris, le 22 Septembre 1992

- BATTE C et LACAZE D (1992), ***Evaluation des Panneaux à Message Variable auprès des usagers***, Rapport final, Ministère de l'Equipement/DREIF/SIER/MV2, juillet 1992

- BAXTER D H (1989), Changeable Message Signs for Freeway Operations - Preliminary Results of Sign Usage in the Long Island Freeway Corridor", ITE 1989 Compendium of Technical Papers

- BERNAD J et PAKER M (1985), ***Les plannings***, Les éditions d'organisation, 1985

- BERNARD J P et al (1992), ***Dossier de spécification de SIRIUS : Système d'aide à l'exploitation***, version 2, document interne du SIER, 1992.

- BESNARD S (1986), ***Les équipements d'exploitation de la route : conception et maintenance***, Revue Travaux N°616, Décembre 1986.

- BHOURI Neila (1991), ***Commande d'un système de trafic autoroutier : application au Boulevard Périphérique de Paris***, Thèse de l'Université de Paris-Sud, 1991, 176p

- BIEBER A, FERRY B et TEXIER P.Y. (1993), ***Conséquences pour l'aménagement des innovations routières attendues vers 2000-2020 : Essai de prospective***, Synthèse de l'INRETS N°20, janvier 1993.

- BLOSSEVILLE J M (1991), ***Modèles de trafic sur autoroute : lois de contrôle***, Notes de cours, INRETS, Mars 1991.

- BLOSSEVILLE J.M., HAJ SALEM H. et GUICHARD D. (1990), ***Gestion du trafic sur autoroute: pratiques actuelles et futures***, Revues générale des routes et des aérodromes N°674, Mai 1990.

- BLOSSEVILLE J.M et al (1989), ***a traffic measurement system using image processing techniques***, IEE Second International Conference on road traffic monitoring, pp 84-88, London, 1989.

- BLOSSEVILLE J M, HAJ SALEM H. et PAPAGEORGIOU M. (1988), ***Modélisation et contrôle du Boulevard Périphérique de Paris***, Second Congrès Technique de l'ATEC, 15-17 Novembre 1988, Paris.

- BOISVERT M (1986), ***L'Organisation et la Décision : les grands théoriciens de l'organisation***, Les editions d'organisation, 1986, 2ème édition.

- BONSALL P and BELL M (1987), ***Information Technology Application in Transport***, VNU science press, The Netherlands, 1987.

- BONVALET F et ROBIN-PREVALLEE Y (1990), ***Indicateurs globaux de la circulation sur réseau construits à partir des données centralisées d'un système d'exploitation***, Recherche Transports Securité N°28, Décembre 1990.

- BOUCHE M et al (1986), ***Les nouveaux enjeux de la maintenance***, Revue Française de Gestion n 59, septembre-octobre, 1986, pp.6-16.

- BRIGGS DWIGH W and CHATFIELD BENJAMIN V. (1988), ***Integrated highway information systems***, Transportation Research Board, Washington D.C., October 1987

- BRIGNON J M (1991), ***Le modèle de trafic autoroutier META: application à deux cas concrets sur autoroutes A1 et A86***, Projet de fin d'études, ENPC, 1991.

- BUISSON C (1994) ***Première tentative de bibliographie complète sur les modèles de simulation***, Documents de travail, INRETS - LICIT, Mars 1994.

- BUSCH F (1991),***Incident detection***, Concise encyclopaedia of traffic and transportation systems (M Papageorgiou Ed.), Pergamon Press, Oxford, 1991, pp.219-225

- BUHR J H, MERSEROLE T C and DREW D.R. (1968), ***A digital simulation program of a section freeway with entrance and exit ramps***, TRB Record N°230, 1968, pp 15-31

- ***Capacité des routes (Highway capacity manual)***, Service d'Etudes Techniques des Routes et des Autoroutes, version 1966

- CASE R., BARRE N., EIGER A., and ALLEN D. (1981), ***Technical issues in simulation modelling and application : Workshop 10 : Promotion and implementation and workshop 11 : user interface***, Special Report 194, Transportation Research Board / National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1981, pp.75-76.

- CAUBET C (1988), ***Que peut-on afficher sur les panneaux à messages variables***, TEC N°90-91, 1988, pp. 27-28.

- CETE-LYON (1994), ***Guide des panneaux de signalisation à messages variables***, Préparé par le CETE de Lyon, Février 1994.

- CETE M. (1991), ***L'exploitation des autoroutes de Marseille en 1990***, CETE Méditerranée DIT, Avril 1991

- CETUR (1990), ***Mise en oeuvre d'une politique locale de sécurité routière***, Septembre 1990, CETUR

- CETUR (1989), ***Les études de prévision de trafic en milieu urbain : pourquoi? Comment?*** CETUR 1989

- CETUR (1988), ***Les transports publics: Systèmes automatiques d'informations - Guide 89***, CETUR , 1988

- CETUR/Ministere de transport (1981), ***Traitement de la saturation -- Approche théorique et applications pratiques***, CETUR, Février 1981, 125p.

- CHARBIT F (1991), ***La gestion des technologies émergentes : organisation et apprentissage***, These de doctorat de l'Ecole polytechnique, 1991.

- CHATZIS K et LATERRASSE J (1992), ***Des infrastructures normalisées à la régulation des flux - le cas de l'automatisation d'un réseau d'assainissement***, Culture Technique, Dec 1992, PUK, Paris.

- CHRISOULAKIS J (1992), ***Review and assessment of urban, interurban & corridor modelling & control tools***, DRIVE II Project V2017, Deliverable N° 1, Workpackages N° 1 1 & 1 2, June 30, 1992.

- CLEGHORN D., F L HALL, and DAVID GARBUIO (1991), ***Improved data screening techniques for freeway traffic management systems***, In Transportation Research Record N°1320, TRB, National Research Council, Washington D.C., 1991, pp 17-23

- COHEN S (1993), ***Surveillance du trafic autoroutier : Tests en Ile-de-France avec le logiciel DAISI***, Recherche Transport Sécurité (RTS) N°37, Mars 1993.

- COHEN S (1990), ***Ingénierie du trafic routier - Eléments de théorie du trafic et applications***, Paris, Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, 1990, 243p.

- COHEN S., ARON M. et PIERRELEE J.C.(1990), ***Une comparaison de deux outils de simulation du trafic autoroutier***, Recherche Transports Sécurité N°28, Décembre 1990.

- COHEN S. (1989), ***SIMAUT, META : deux outils de simulation du trafic autoroutier***, Rapport de l'INRETS, N° 108, décembre, 1989.

- COHEN S., LONGEON R., ARON M. et PIERRELEE J.C. (1989), ***Simulation du trafic autoroutier -- Calibrage et validation des modèles SIMAUT et META sur l'autoroute A 13***, Rapport de recherche, INRETS, Mai 1989, 59p + annexes.

- COHEN S. (1988), ***Cartographie automatique des bouchons et surveillance des voies rapides et des autoroutes urbaines***, TEC N°90-91, 1988, pp. 23-26.

- COHEN C.(1988a), ***La régulation du trafic, hier, aujourd'hui, demain***, RTS n°20, PP 13-18, 1988

- COOK A.R., and CLEVELAND D.E. (1974), ***Detection of freeway capacity-reducing incidents by traffic-stream measurements***, In Transportation Research Record N°495, pp 1-11 TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1974.

- COURAGE K.G., BAUER C.S., and ROSS D.W. (1976), ***Operating Parameters for Main-Line Sensors in Freeway Surveillance Systems***, In Transportation Research Record N° 601, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1976, pp. 19-26

- DAVID Y. (1993), ***Intérêt, faisabilité et perspectives de l'autoroute électronique***, RTS, N°40, Septembre 1993, pp.51-57.

- DAVID Y. et HANE B (1990), ***Les perspectives de développement des aides à la conduite et à la régulation du trafic***, RTS N°26, 1990.

- DDE-RHONE (1989), ***CORALY : Coordination et Régulation du Trafic sur les Voies rapides de l'agglomération Lyonnaise***, Dossier de présentation, Avril 1989.

- DE BALINCOURT E (1989), ***Exploitation du réseau de voies rapides de l'Ile-de-France -- Proposition d'une stratégie d'utilisation des panneaux à message variable***, Mémoire de DEA, ENPC, 1989, 60p + annexes.

- DEHOUX Ph and TOINT PH L (1991), ***Some comment on dynamic traffic modelling in the presence of advanced driver information systems***, *Advanced telematics in road transport* -- Proceeding of the DRIVE conference, Volume II, Brussels, February 4-6, 1991, ELSEVIER, pp.964-980.

- DELARBRE Th (1987), ***L'intégration de la mesure en GMAO pour une maintenance prédictive***, in AFCET-UAME Actes des 1ères journées nationales sur l'Electronique et l'informatique du service de la maintenance, Paris 13 et 14 octobre 1987.

- DELHOMME P., FERRY B. et FORESTIER M. (1990), ***Aides aux choix d'itinéraires: qu'en disent les conducteurs?*** TEC N°98/99, 1990.

- DEMEURE N. (1991), ***Les systèmes d'information géographique et les réseaux techniques urbains: acteurs, enjeux, stratégies***, Mémoire de DEA en Urbanisme et aménagement, Institut d'Urbanisme de Paris, 1991.

- DREIF et Ville de Paris (1984), ***Information des usagers de la route par panneau à message variable -- éléments de réflexion pour l'établissement d'un schéma directeur***, Avril 1984, 6p + annexes.

- ***Dossier intercirculation 91***, TEC N°105, Mars-Avril 1991.

- DREIF (1988), ***SIRIUS-Dossier programme***, Décembre 1988.

- DREIF/INRETS/DDE 94 (1987), ***Exploitation des voies rapides***, Rapport de mission:
  Première partie: Etats-Unis-RFA, avril 1987.
  Deuxième partie : Japon-ANGLETERRE, novembre 1987.

- DREIF/Division Exploitation et Sécurité Routière (1), ***Plan d'Intervention d'Urgence - Principes généraux d'élaboration***, Document interne de la DREIF/Arrondissement Exploitation des Voies Rapides, non daté.

- DRIVE (1991), ***Advanced telematics in road transport***, Proceeding of the DRIVE conference, Volume I and Volume II, ELSEVIER, 1991.

- DRIVE (1990), ***Les pratiques de régulation du trafic en milieu urbain***, Consortium DRIVE V1015, RTS n°28 PP. 17-30, 1990.

- DRIVE (1990a), ***Software for traffic flow modelling on linear motorway: META & SIMAUT***, DRIVE project (V1035) - "Christiane", 30, October 1990, INRETS.

- DRIVE (1990b), ***Software for traffic flow modelling on network motorway / Network modelling and control***, DRIVE Project (V 1035)/"CRISTIANE", November 1990

- DSCR (1993), ***Circulaire relative à l'exploitation sous chantier***, Ministère de l'Equipement/Direction de la sécurité et de la circulation routière(DSCR)/Sous-direction de l'exploitation et de la sécurité de la route, référence : R3/93/DB/OG/.

- DSCR (1), ***Exploiter la route : cadre de réflexion***, document publié par la Direction de la Sécurite et de la Circulation Routière du Ministère de l'Equipement et Secrétariat d'Etat aux transports routiers et fluviaux, non daté.

- DUDEK C.L et al (1974), ***Study of Detector Reliability for a Motorist Information System on the Gulf Freeway***, In Transportation Research Record N° 495, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1974, pp. 35-43.

- DUDEK C.L. and MESSER C.j. (1974a), ***Incident detection on urban freeways***, In Transportation Research Record N°495, pp.12-24. TRB, Nation Research Council, Washington, D.C., 1974.

- DUDEK,C.L. and AL. (1971), ***Study of design consideration for Real-time Freeway information systems***, Highway Research Record N°368, 1971.

- DUPUY G. (1985), ***Systèmes, réseaux et territoires : principe de réseautique territoriale***, Presses Ponts et Chaussées, 1985.

- DURAND-RAUCHER Y.(1993),***Variabilité comportementale en matière de pratique des déplacements : l'exemple de l'information routière en région Ile-de-France***, TEC N°121, Novembre-Décembre 1993.

- DURAND-RAUCHER Y.(1992), ***L'information, vitrine du niveau de service***, TEC N°115, Novembre-Décembre 1992.

- DURAND-RAUCHER Y.(1990), ***L'autoroute intelligible - le pari de l'information routière comparative en région parisienne***, Revue Travaux, décembre 1990, 6 pages.

- DURAND-RAUCHER Y.(1990a), ***SIRIUS, le pari de l'information routière comparative dans la gestion du trafic: enjeux et réalité en Ile-de-FRance***, TEC N°98, 1990.

- DWIGHT W. BRIGGS COMSIS, BENJAMIN V.CHATFIELD (1987), ***Integrated highway information systems***, Transportation Research Board, October 1987, NCH SNY133.

- ELLOUMI N., HAJ-SALEM H and PAPAGEORGIOU M. (1994), ***METACOR : A macroscopic Modelling Tool for Urban Corridor***, Preprints of TRIennal Symposium on Transportation ANalysis (TRISTAN II), vol.I, Capri (ITALY), June, 23-28 1994.

- ENPC-ENSMP, ***Actes du cycle de formation continue sur les systèmes de production : La maintenance industrielle, une nouvelle façon de produire***, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, le 27 et 28 octobre 1987.

- ENR A (1989), ***Etude de l'algorithme de DAB***, Document interne du SIER, Octobre 1989

- ESPIE S. et LENOIR F. (1990), ***Le trafic routier et sa mesure***, Revue générale des routes et des aérodromes N°674, Mai 1990.

- FHWA (1987), ***Working paper No. 10 : Urban and suburban highway congestion, The national highway program 1991 and beyond***, Federal highway administration, Washing D.C., December 1987.

- FHWA (1983), ***A freeway management handbook - Volume 1: Overview***, US Department of Transportation/Federal highway administration, May 1983.

- FONTAINE H. ET MALATERRE G. (1992), ***La voiture intelligente et la sécurité routière***, TEC N°111, Mars-Avril 1992.

- FOURNIER P. (1992), ***Perspectives du réseau autoroutier communautaire horizon 2010***, Revue Transport N°353, mai-juin 1992, pp.150-158.

- GABRIEL M et PIMOR Y.(1987), ***Maintenance assistée par ordinateur***, 2ème édition, Ed. Masson, Paris, 1987.

- GAO (1989), ***Traffic congestion : Federal efforts to improve mobility***, United States General Accounting Office, GAO/PEME-90-1, December 1989.

- GAO (1989a), ***Traffic congestion: Trends, Measures, and Effects***, United States General Accounting Office, GAO/PEME-90-1, November 1989.

- GARDES Y et RICHARD F. (1991), ***Modèles de guidage dynamique des véhicules : deux exemples américains***, TEC N°109, Novembre-Décembre 1991.

- GARDES Y and MAY A.D. (1990), ***Traffic modelling to evaluate potential benefits of advanced traffic management and in-vehicle information systems in a freeway/arterial corridor***, UCB-ITS-PRR-90-3, June 1990.

- GIFFORT J L , ***Standards for intelligent vehicle-highway system technologies***, Transportation Research Record N°1358, TRB/NRC, Washington D.C.

- GOODWIN P B (1989), ***Comprendre la congestion***, Revue Recherche Transports Sécurité N°24, Decembre 1989

- GRANIER J F (1990), ***Etude comparative de modèles de prévision de trafic à une heure***, Autoroute du Sud de la France, été 1990.

- GRIMALDI J C (1989), ***La recherche et le développement à la société des autoroutes Paris-Rhin-Rhône***, Revue générale des autoroutes et des aérodromes, N°666, sept 1989

- Groupe d'experts de l'OCDE (1987), ***Gestion dynamique de la circulation dans les systèmes routiers urbains et suburbains***, Paris, OCDE, 97p + annexes.

- GUPTA and al (1992), ***Development of Prototype Knowledge-Based Expert System for Managing Congestion on Massachusetts Turnpike***, Transportation Research Record N°1358, Washington, D.C., 1992.

- HAJ-SALEM H and al (1993), Integrated model development : application to the corridor Peripherique test site, DRIVE II Project V2017, Deliverable 4, Workpackage N° 3 3, September 30, 1993.

- HAJ-SALEM H (1984), ***Gestion dynamique d'itinéraires urbains : reconstitution et prévision des temps de parcours***, Thèse d'Université de Paris-Sud/Centre d'Orsay, Mars 1984

- HALL F.L., SHI Y and ATALA G. (1993), ***On-line testing of the McMaster incident detection algorithm under recurrent congestion***, In: Transportation Research Record 1394, pp. 1-7. TRB, Nation Research Council, Washington, D.C., 1993.

- HALL R.W.(1991), ***A simple model for route guidance benefits***, Transportation Research, volume 25B, N°4, August 1991.

- HEITZ F. (1993), ***Expérience d'une ville en gestion du trafic: Strasbourg***, TEC, N°116, Janvier-Février 1993.

- HERSENT H. (1993), ***Cahier des charges de l'outil de contrôle du recueil automatique de données de SIRIUS***, DREIF/SIER, Novembre 1993.

- HOFFMANN GUNTER (1991), ***Up-to-time information as we drive - How it can help road users and traffic management***, Transport Reviews, 1991, Vol. 11, N° 1, pp.41-61.

- HUMBERT B (1993), ***Typologie des modèles de flux en génie urbain***, Mémoire de DEA STE, ENPC, Septembre 1993

- INRETS (1990), ***Eléments méthodologiques pour mesurer l'impact de la communication : exploitants - usagers***, Note de synthèse, INRETS, Janvier 1990.

- INRETS (1989), ***Evaluation de l'efficacité potentielle des aides à la conduite***, Rapport INRETS n 85, janvier 1989

- INRETS (1989a), ***La gestion du trafic. Quelles pratiques? Quels besoins exprimés?*** Synthese de l'INRETS, Nov 1989

- IVHS AMERICAN (1992), ***Strategic plan for IVHS in the U.S.***, DRAFT B, January 1992

- JACOBSON L.N., NIHAN N.L and BANDER J.D (1990), ***Detecting Erroneous. Loop Detector Data in a Freeway Traffic Management system***, In Transportation Research Record 1287, TRB, National Research Council, Washington D.C., 1990, pp 151-166

- JARDIN P (1994), ***La communication de SIRIUS***, Synthèse pour le court : Transport, Télecommunication, Territoire du DEA de Transport, ENPC, Mars 1994.

- JENG C Y and A D MAY (1984), ***Monitoring Traffic Detector Information and Incident Control Strategies : A survey***, Working Paper UCB-ITS-WP-84-2, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, June 1984.

- JURVILLIER J C (1982), ***Simulation de temps de parcours et modèle de consommation sur une autoroute urbaine, Tome I : Résultats d'ensemble, Tome II : Programme et détail de la simulation***, IRT (INRETS), Septembre 1982.

- KANAFANI A and AL-DEEK H. (1991), ***A simple model for route guidance benefits***, Transportation Research, Vol. 25B, N°4, August 1991, pp. 191-201.

- KEVIN N. BALKE (1993, ***An evaluation of existing incident detection algorithms***, Research Report 1232-20 of Texas Transportation Institute, November 1993.

- KHAN A.M. (1992), ***Technological responses to urban traffic congestion***, The journal of Urban Technology, Vol. N°1, Fall 1992, Published at New York City Technical College.

- KOSHI M. (1991), ***Road Transport Problèmes in Urban Areas and Future Perspectives in Japan***, IATSS Research : The Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, 1991.

- LABIALE G (1988), ***Compréhension et mémorisation des messages visuels et auditifs d'informations routières***, Rapport l'INRETS N°66, Mai 1988.

- LASSARRE S.(1989), ***Le véhicule futur et les aides à la conduite***, RTS N°23 1989.

- LATERRASSE J et ZHANG M.Y. (1994), ***Mise en oeuvre opérationnelle de SIRIUS: Analyse des aspects organisationnels et humains***, Rapport réalisé pour SERT/Ministere de l'Equipement, du Logement et des Transports, juillet 1994.

- LATERRASSE J (1991), ***Le concept de réseau : un outil pour la modélisation de la complexité***, texte pour le seminaire du GDR-CNRS Réseaux, Mai 1991.

- LATERRASSE J (1991a), ***La ville intelligente : utopie ou réalité de demain?*** Séminaire de l'ENPC sur le thème : Réseaux urbains et nouvelles technologies de communications, Paris, mai 1991

- LATERRASSE J., CHATZIS K et COUTARD O.(1990), ***Information et gestion dynamique ou: quand les réseaux deviennent intelligents***, Flux N°2, automne 1990.

- LATERRASSE J et CHATZIS K (1989): ***Les effets induits de l'automatisation dans les réseaux techniques urbains***, in "Génie urbain : acteurs, technologies, et territoires", B DUHEM et J LATERRASSE Ed., Paris, Plan urbain. 1989.

- LEIMAN L., BOUAOUINA M., and MAY A.D. (1991), ***Integrated system of freeway corridor simulation models***, Transportation Research Record N°1320, TRB/NRC, Washington, D C., 1991, pp.177-189.

- LEMAITRE G (1993), ***Un espéranto pour les équipements dynamiques***, TEC N°118, Mai-Juin 1993, pp 8-13

- LE MOIGNE J L (1986), ***Vers un système d'information organisationnel? Revue française de Gestion***, N°60, Novembre-Décembre 1986.

- LE NY J. (1992), ***Etude pour l'optimisation de la détection des pannes du système SIRIUS***, Synthèse, SIER, Mai 1992.

- LESCA H. (1992), ***Pour un management stratégique de l'information***, Revue française de gestion, septembre-octobre 1992, p.54-63.

- LESORT J.B. (1989), ***La régulation du trafic***, Revue La Recherche, N°214, Octobre 1989.

- LEUTZBACH W. (1988),***Introduction to the Theory of Traffic Flow***, Springer-Verlag, Germany 1988.

- LINDIEY J.A. (1989), ***Urban freeway congestion, problems and solutions : an update***, ITE Journal, December 1989, pp.21-23.

- LINDIEY J.A. (1987), ***Urban freeway congestion: quantification of the problem and effectiveness of potential solutions***, ITE Journal, January 1987, pp. 27-32.

- LOZADA-ISLAS F (1991), ***Les rapports exploitation-maintenance et la gestion de l'innovation technique à la RATP***, Thèse de l'ENPC, Octobre 1991.

- MALATERRE M G (1989), ***Ergonomie routière***, Synthèse INRETS, n°13, Avril 1989.

- MALECK T., CASE R., MCSHANE W., and MESSER C.J. (1981), ***Application of simulation models by different user groups***, Special Report 194, Transportation Research Board / National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1981, pp.64-68.

- MARCH I.G. et SIMON H A (1979), ***Les organisations***, Dunod, Paris, 1979.

- MATHIEU S (1991), ***Système de supervision pour une gestion globale des déplacements***, Note de cours de l'ENPC, Juin 1991.

- MAY A.D. and ROBERTS (1991), ***Demande Management for Urban Road Traffic in the United Kingdom : Towards a Sustainable Transport Policy for Urban Areas***, IATSS Research The Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, 1991

- MAY A.D (1990), ***Traffic flow fundaments***, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New-Jersay, 1990

- MAY A.D.(1987), ***Freeway simulation models - Revisited***, Transportation Research Record N°1132, TRB/NRC, Washington, D.C., 1987, pp.94-99.

- MAY A.D.(1981), ***Models for freeway corridor analysis***, TRB Special Report 194, 1981, pp.18-32

- MAYER R (1989), ***Gagner du temps sur le temps : le développement de l'information routière***, La documentation française, Paris, 1989.

- MCSHANE W.R. and ROESS R.P. (1990), ***Traffic engineering***, New Jersey - USA, Prentice-Hall int., 1990, 657p.

- MERLIN P. et CHOAY F. (1988), ***Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement***, Presse Université de France, Mars, 1988.

- MESSMER ET PAPAGEORGIOU (1990), ***METANET - macroscopic simulation programme for motorway networks***, Traffic Engineering and Control, Aug./Sept. 1990, Vol.31, N°8/9, pp.466-470.

- ***Metropolitan Expressway***, Review of Metropolitan Expressway Public Corporation, Tokyo 1991.

- MEYERE A (1989), ***Information for passengers and new technology***, ECMT(European Conference of Ministers of Transport), 1989.

- MICHALOPOULOS P.G. (1993), ***Automatic incident detection through video image processing***, Traffic Engineering and Control, February 1993.

- MICHALOPOULOS P., KWON E., and KANG J.G. (1991), ***Enhancement and field testing of a dynamic freeway simulation program***, Transportation Research Record N°1320, TRB/NRC, Washington, D.C., 1991, pp.203-215.

- MILLE Ch (1991), ***Cartographie dynamique des bouchons récurrents autour de Paris***, Rapport du stage de l'ENPC, 30p + annexes.

- MINGOTAUD M.J. SCEMAMA G. et ABOURS S. (1990), ***Les pratiques de régulation du trafic en milieu urbain***, Recherche Transport Sécurité N°28, Décembre 1990

- Ministère de l'Equipement (1992), ***La route au quotidien, Thème 3: Traitement des perturbations de Trafic***, Cycle d'étude 1989-91, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de l'Espace, Février 1992.

- Ministère de l'Equipement (1989), ***Gestion du trafic et information routière: situation et perspective de la Direction de la Sécurité et de la Circulation Routière***, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer(MELTM), Octobre 1989

- Ministère de l'Equipement (1989a), ***Prospective de l'exploitation de la route***, UTH 2001, Délégation à la recherche et à l'innovation/Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer, Novembre 1989.

- MINTZBERG H (1982), ***Structure et dynamique des organisations***, Traduit de l'américain par ROMELAER P., Les Editions d'Organisation, Paris, 1982.

- MORIN J.M., GOWER P., PAPAGEORGIOU, and MESSMER A. (1991), ***Motorway networks : modelling and control***, Advanced telematics in road transport

-- Proceeding of the DRIVE conference, Volume I, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., 1991.

- MORIN J.M. (1988), ***La régulation du trafic dans un réseau maillé autoroutier urbain et périurbain -- le cas de l'Ile-de-France***, Rapport INRETS n°63, Avril 1988, 83p.

- MORIN J.M. (1987), ***Etat de l'art de l'exploitation des autoroutes urbaines à l'étranger***, Note de synthèse, INRETS/DART, Juin 1987.

- MORIN J.M. (1984), ***SIMAUT - un programme de simulation du trafic autoroutier***, Recherche-Transport-Securité n°4, Décembre 1984, pp.15-20.

- MOUKHWAS D. (1980), ***Procédés et performances de la signalisation variable***, Convention ORCRIONSER n°79-41-033, Rapport fin d'objectif, Avril 1980.

- MOULIN B. (1978-79), ***Modèle et modélisation du système d'information dans l'entreprise***, Revue Analyse de Systèmes Volume double IV et V, 1978-1979.

- MRT (1991), ***Services urbains en réseaux et nouvelles technologies de communication : vers une nouvelle ingénierie de la ville?*** Synthèse des journées d'étude, Ministère de la Recherche et de la Technologie (MRT), Paris 14 et 15 mai 1991.

- MUHLRAD N et FAURE A (1988), ***Politique locale de sécurité routière : élaboration d'un modèle didactique***, Rapport INRETS n°77, Septembre 1988.

- NOEL (1991), ***Régulation du trafic par feux et information dynamique : Evolution du savoir-faire française***, Note du cycle de formation continue de l'ENPC, Juin 1991

- OCDE (1992), ***Evaluation des recherches sur les systèmes de communication Route - Véhicule***, Rapport Final, OCDE, Paris, Mai 1992.

- OCDE (1987), ***Gestion dynamique de la circulation dans les systèmes routiers urbains et suburbains***, Rapport OCDE - Recherche routière, Avril 1987.

- OECD (1991), ***ROAD TRANSPORT RESEARCH PROGRAMME / Seminar on future road transport systems and infrastructures in urban areas***, Proceedings, Chiba, Japan, June 4-6, 1991.

- OPEFORM (1991), ***Projet pilote POLIS pour l'Ile-de-France - Phase 1 : Etude de faisabilité de l'interconnexion des bases de données des exploitants de la région "Ile-de-France"***, Rapport final, Mairie de Paris/Direction de la voirie, Juin 1991.

- ORFEUIL J.P. (1991), ***La dynamique de la mobilité quotidienne et l'évolution des réponses techniques et institutionnelles***, Revue Transports N°347, Mai-juin 1991, pp.166-172.

- ORFEUIL J.P. (1989), ***Un milliard de déplacements par mois en région***, Rapport de l'INRETS, N° 107, décembre, 1989.

- ORNE D.E. (1981), ***Role of simulation in traffic engineering (Thoughts on accepting and using new analysis techniques)***, TRB Special Report 194, TRB/National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1981, pp.2-3.

- ORSELLI J. (1989), ***Les fonctions nouvelles dans l'aide au déplacement routier et leur place dans la gestion du trafic***, TEC N°95, 1989.

- PANOS G. and PING YI (1993), ***Continuum modelling of traffic dynamics for congested freeways***, Transportation Research Board, Vol. 27B, N°4, pp. 315-332, 1993

- PAPAGEORGIOU Markos (1991), ***Concise encyclopaedia of Traffic & transportation systems***, UK, Pergamon Press, 1991, 633p.

- PAPAGEORGIOU Markos (1988), ***Modelling and real time control of traffic flow on the southern part of boulevard périphérique de Paris***, rapport de contrat INRETS, june 1988, 103p + annexes.

- PAPAGEORGIOU Markos (1987), ***Macroscopic modelling of traffic flow on the Boulevard Périphérique de Paris***, INRETS/DART, 87p + annexes.

- PAPON (1992), ***Péage urbain : les routes de première classe***, Ed Paradigm, 1992.

- PAREY C (1987), ***L'évolution de l'information et de l'exploitation routière :Du traitement de l'information au pilotage automatique***, Revue générale des routes et des aérodromes N°643, juillet 1987.

- PANNETIER O (1991), ***Evaluation de l'influence des Panneaux à Messages Variables sur le réseau des voies rapides d'Ile-de-France***, Projet de Fin d'Etudes de l'ENPC, Juin 1991

- PAYAN J J (1990), ***Les transports Terrestres: Recherche et Développement 1990-1994***, La documentation française, Paris, 1990.

- PAYNE H J (1971), ***Models of freeway traffic and control***, Simulation Council Proc n°1, 1971, pp 51-56

- PCM (1986), ***La gestion du réseau autoroutier***, Dossier, PCM N°11, 1986.

- POULENAT-ABALLEA C et TARRIUS A. (1978), ***Information des usagers des réseaux d'autobus - processus d'information et besoin de l'usager***, Rapport de recherche IRT(Institut de Recherche des Transports), n°33, tome I, juin 1978.

- PREFET de la région d'Ile-de-France (1988), ***Exploitation des voies rapides***, Document de la Préfecture de la Région d'Ile-de-France, Juin 1988.

- ***PROMETHEUS - PRO-GEN Working group on simulation***, DRAFT REPORT 3, Paris, June, 1993

- RANDOLPH W HALL (1993), ***Non-recurrent congestion : How gig is the problem? Are traveller information systems the solution?***, Transpn. Res. C., Vol. 1, N°1, pp. 89-103, 1993.

- ***Rapport de la commission transports terrestres***, 14 juin 1989.

- REISS ROBERT A (1991), ***Dynamic control and traffic performance in a freeway corridor : a simulation study***, Transportation Research, vol. 25A, N° 5, September 1991, pp 267-276

- RGRA (1990), ***Dossier de gestion du trafic routier***, Revue Général des Routes et des Aérodromes (RGRA), N°674, mai 1990.

- ROBB M C (1987), ***Route information systems for motorists, Transport Reviews***, 1987, Vol 7, N°3, pp 259-275

- ROSS P and GISBSON (1977), ***Review of Road Traffic Network Simulation Models***, Transportation Research Record 644, TRB, 1977.

- RTS (1990), ***Spécial Gestion de Trafic*** (1990), Revue de l'INRETS, Recherche-Transports-Securite N 28, Decembre 1990

- ROUSSEL J C (1993), ***"AGIR" : Les automates au service des exploitants***, TEC N°120, Septembre-Octobre 1993, pp 31-36

- SANTIAGO A J , and CHEN H (1991), ***Traffic modelling needs for advanced traffic management systems (ATMS)***, OECD/Road Transport Research Programme, Proceedings of a seminar, Chiba, Japan, June 4-6, 1991, pp.379-389.

- SAPRR (1988), ***Etude Télépanneaux***, Rapport de Synthèse, Société des Autoroutes Paris-Rhin-Rhone, Mars 1988

- SARIGNAC A et BRUNEAU E (1993), ***L'information routière en temps réel embarque maintenant à bord des véhicules***, TEC N°121, Novembre-Décembre 1993

- SCEMAMA G (1993), ***CLAIRE - Système indépendant pour la supervision de système de régulation de trafic routier***, TEC N°118, Mai-Juin 1993, pp.14-28.

- SETRA (1993), ***Schéma directeur d'exploitation de la route : Premiers éléments de réflexion pour l'organisation des services***, SETRA, Mars 1993.

- SETRA (1989), ***L'information routière: extraits relatifs aux besoins et enjeux***, Rapport d'Etude, SETRA, 1989

- SIER (1994), ***SIRIUS : Système d'Information pour un Réseau Intelligible aux Usagers***, Dossier de presse SIRIUS/Conférence du 18 janvier 1994, Document interne du SIER, Janvier 1994.

- SIER (1994a). ***Cahier des charges de la base de données "AES" - 1ère phase -***, Document interne du SIER, Mai 1994

- SIER (1993), ***Bilan et perspectives de SIRIUS***, DREIF/SIER, Novembre 1993.

- SIER (1993a), ***Evaluation de SIRIUS***, Document interne du SIER, Novembre 1993.

- SIER (1993b), ***Programme de régulation des flux sur le réseau de voies rapides***, Préparation du XIe contrat de plan Etat/Région, Document interne du SIER, Mars 1993.

- SIER (1993c), ***Mesures et analyse des temps de parcours sur autoroute***, Document interne du SIER, 1993

- SIER (1992), ***Evaluation des Panneaux à Messages Variables auprès des usagers***, Note de synthese. Document interne du SIER, Décembre 1992.

- SIER (1990), ***Plan d'action de 1990***, Document interne du SIER, le 25, mai 1990.

- SIER (1990a), ***Présentation du Service Interdépartemental d'Exploitation Routière***, Document interne du SIER, Janvier 1990.

- SKABARDONIS A (1984), ***Computer programs for traffic operations***, ITS, University of California, Berkeley, 1984.

- SMULDERS S (1990), ***Control of traffic flow***, PhD Dissertation, Univ. of Twente, Holland, 1990

- SORPETS C (1988), ***Le génie urbain : quel point de vue? Les réseaux techniques dans la Communauté Urbaine de Bordeaux***, in B. Duhem et J. Laterrasse éd., Génie Urbain, acteurs, territoires, technologies, Paris, juillet 1989, pp.59-81.

- STEPHERD S (1994), ***Traffic control in over-saturated conditions***, Transport Reviews, 1994, Vol 14, N°1, pp 13-43

- STERGIOU B (1989), ***Traffic models and road transport infomatics***, Traffic Engineering and Control, 30(12), pp 580-586, 1989.

- STEPHERD S (1994), ***Traffic control in over-saturated conditions***, Transport Reviews, Vol 14, No 1, 1994, pp 13-43.

- STEVEN A SMITH, and CESAR E. PEREZ (1992), ***Evaluation of INFORM - Lessons learned and application to other systems***, prepared for the 1992 Annual meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.

- TAYLOR M.A.P., and YOUNG W. (1988), ***Traffic analysis : New Technology & New Solutions***, Hargreen Publishing Company, Australia.

- TEC (1990), ***Spécial ATEC 90 RHÔNE-ALPES***, TEC N°101-102, Septembre-Octobre 1990.

- TEXAS (1993), ***Advanced traffic management systems plan : a building bloc to IVHS in Texas***, Traffic management section/Division of maintenance and operations, Texas Department of Transportation, April 1993.

- THIRIET J.M. et al. (1991), ***Cinq générations de stratégie de régulation du trafic de par le monde***, TEC N°109, Novembre-Décembre 1991.

- TAYLOR M.A.P., YOUNG W., ***Traffic analysis - new technology and new solution***, HARGREEN

- TEC (1989), ***Dossier Information routière***, Revue Transport Environnement Circulation, N°95, 1989.

- TOINT P. (1991), ***La modélisation du transport***, Revue la Recherche N°235, Septembre 1991, pp 1026-1034

- TONY Robinson (1994), ***"Traffic Technology: International '94"***, published by UK & International Press, Masters house, Westcott, Dorking, Surrey RH4 3NG U.K.

- TR (1991), ***Dynamic control of urban traffic networks (part II)***, Transportation Research vol. 25A, N° 5, September 1991

- TRB (1993), ***Primer on intelligent vehicle highway systems***, Transportation Research Circular, TRB Washington, D.C., No. 412, August 1993.

- TRB (1993a), ***Symposium on Integrated Traffic Management Systems***, Transportation Research Circular No. 404, March 1993, Transportation Research Board/National Research Council

- TRB (1991), ***Freeway Operations, Highway Capacity, and Traffic Flow***, Transportation Research Record, N°1320, 1991, TRB, Washington, D.C.

- TRB (1991a), ***Freeway Operations Projects Summary***, Transportation Research Circular, N°378, TRB, Washington, D.C., September 1991.

- TRB, ***Vehicle routing, Traveller ADIS, Network Modelling, and Advanced Control systems***, Transportation Research Record N°1358, Transportation Research Board / National Research Council, Washington D.C.

- TRB (1981), ***The Application of Traffic Simulation Models***, Special Report 194, Proceeding of a Conference on the Application of Traffic Simulation Models, June 3-5, 1981, Transportation Research Board / National Academy of Sciences, Washington, D.C.

- VAN AERDE, and YAGAR S. (1988), ***Dynamic integrated freeway/traffic signal network : a routing based modelling approach***, Transportation Research, Vol. 22A, 1988.

- VAN AERDE, and YAGAR S.(1987), ***Review of freeway corridor traffic models***, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Ontario, Canada, 1987.

- VERCAMEN P. (1989), ***SIRIUS : Système Intégré de Régulation et d'Information des Usagers***, TEC N°92, Janvier-Fevrier 1989.

- VERDIER P. (1987), ***Le fonctionnement et l'exploitation du réseau régional des voies rapides d'Ile-de-France***, Revue générale des routes et des aérodromes, N°646, novembre 1987, 11p.

- VEXIAU T (1992), ***Exploiter la route***, TEC N°111, Mars-avril 1992.

- VIVET A (1987), ***CPTR - bilan d'une année de réflexion, note de synthèse, recommandation et propositions d'action***, Revue Travaux, Décembre 1987.

- WALDNER O (1993), ***Un schéma directeur routier pour une Europe sans frontière***, Revue générale des routes et des aérodromes N°703, Janvier 1993.

- WARDROP J G (1952), ***Some theoretical aspects of road traffic research***, Proc. Inst Civil. Ingrs., Part II, Vol 1, pp.16-25.

- WECKESSER P M and DODGE K W. (1976), ***Efficient use of busy roadway***, Traffic Engineering, April 1976

- WICKS D A and LIEBERMAN E (1980), ***Development and Testing of INTRAS, a microscopic freeway simulation model***, vol. 1, Program Design, parameter calibration, and freeway dynamics component development, FHWA, 1980.

- WICKS D A and al (1977), ***Development and testing of INTRAS, a microscopic freeway simulation model***, National Technical Information Service, Springfield, Virginia

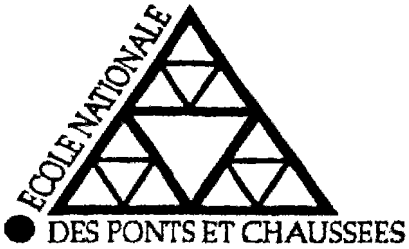
- WINGHART J A (1987), ***Informatique et gestion du trafic***, Revue PCM N°11, 1987, pp 35-37

- YIM Y.B and YGNACE Jean-Luc (1993, ***The effects of Variables Messages Signs on Traffic Behaviour in the Paris Region***, Rapport LESCO n°9318, December 1993, INRETS

- ZHANG M Y., BLOSSEVILLE J.M., MOTYKA V. et LATERRASSE J. (1994), ***Automatic Congestion Detection (ACD) on urban and suburban expressway networks***, Paper presented in the 7th Symposium on Transportation Systems (Theory and application of advanced technology, August 24-26, 1994, TianJin, China.

NS 18475 T2 (4)

NS 18 475 (T.2) (4)



Thèse 95501

APPORTS DES SYSTÈMES D'INFORMATION A L'EXPLOITATION DES RESEAUX DE VOIES RAPIDES – Le cas du réseau d'Ile-de-France

TOME 2 - Annexes

11 Janvier 1995

ZHANG Ming-Yu

THESE

réalisée au **LA**boratoire **T**echniques **T**erritoires et **S**ociétés
soutenue à l'École Nationale des Ponts et Chaussées à Noisy-le-Grand

pour l'obtention du Doctorat nouveau régime
Spécialité : TRANSPORT

sous la direction de Jean LATERRASSE

Membres du jury :

Jean-Marc BLOSSEVILLE	Directeur du Département Analyse et Régulation du Trafic de l'INRETS
Jean LATERRASSE	Directeur de Recherche au CNRS, Directeur de thèse
Marcel MIRAMOND	Professeur INSA de Lyon
Vincent MOTYKA	Directeur-Adjoint SIER
Michel SAVY (Président)	Professeur ENPC

E.N.P.C.
INV01254

SOMMAIRE

Annexe N° 1 : ARRETE DU 28, OCTOBRE 1988 2

Annexe N° 2 : LETTRE DE MISSION DU MINISTRE DE L'EQUIPEMENT 4

Annexe N° 3 : COMPOSITION DES COMITES 6

Annexe N° 4 : DECRET N° 88-472 DU 28 AVRIL 1988 9

Annexe N° 5 : CIRCULAIRE N° 88-96 DU 24 NOVEMBRE 1988 11

Annexe N° 6 : FICHE DE SIRIUS 16

Annexe N° 7 : EXEMPLES DES REPONSES AU QUESTIONNAIRE RELATIF A L'EXPLOITATION DES RVR A L'ETRANGER 18

Annexe N° 8 : EXPLOITATION DU RESEAU DE VOIES RAPIDES A LOS ANGELES 34

Annexe N° 9 : FICHES D'ANALYSE DES MODELES DYNAMIQUES DE TRAFIC AUTOROUTIER EXISTANTS 47

Annexe N° 10 : SCHEMA DU PROGRAMME DE SIMULATION DE FONCTIONNEMENT DE LA DAB 58

Annexe N° 11 : CARTES DE BOUCHONS POUR LES DIX JOURS DE TESTS 59

Annexe N° 12 : GRILLE D'ANALYSE DES CONTRATS DE MAINTENANCE EXISTANTS AU SIER 70

Annexe N° 13 : ETUDE DE CAS 79

Annexe N° 14 : REGLES D'AFFICHAGE DES PMV EN ILE-DE-FRANCE 81

26

Annexe N° 1

ARRETE du 28, OCTOBRE 1988

DEFINISSANT LE RESEAU D'AUTOROUTES ET DE VOIES ASSIMILEES SUR LEQUEL S'EXERCER LA RESPONSABILITE DE LA DREIF EN MATIERE D'EXPLOITATION

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT

DIRECTION DES ROUTES

MINISTERE DES TRANSPORTS
ET DE LA MER

DIRECTION DE LA SECURITE
ET DE LA CIRCULATION ROUTIERES

ARRETE DU 28.OCT.1988
définissant le réseau d'autoroutes et voies assimilées sur lequel s'exerce la responsabilité du Directeur Régional de l'Equipement d'Ile-de-France en matière d'exploitation conformément aux dispositions prévues par le décret n° 88 - 472 du 28 avril 1988.

Le Ministre d'Etat, Ministre de l'Equipement et du Logement,
Le Ministre des Transports et de la Mer,

Vu le décret n° 88 - 472 du 28 avril 1988 modifiant le décret n° 67 - 279 du 30 mars 1967 relatif à l'organisation et aux attributions du service régional de l'équipement de la région parisienne,

ARRETENT :

ARTICLE 1er :

Le réseau d'autoroutes et voies assimilées sur lequel s'exerce la responsabilité du directeur régional de l'équipement d'Ile-de-France en matière d'exploitation est défini comme suit :

- sections non concédées des autoroutes A1, A4, A6, A10, A13 et A14,
- sections concédées des autoroutes A 4 (depuis la limite de concession jusqu'à A 104), A 10 (depuis la limite de concession jusqu'à la liaison RN 20 - A 10) et A 14 (d'Orgeval à la Défense),
- A3, A103,B86
- A6a, A6b, A106, RN118
- A12, RN314 (d'A86 au boulevard circulaire de la Défense),
- A15, RN 14 déviée (d'A15 à Puiseux)
- A86, RN385 (entre Antony et le Petit Clamart), RN286 et G12 jusqu'à la RN12,
- A104, RN447 (du CD33 à A6), RN449 (d'A6 à la RN446), RN446 (de la RN449 à la RN20), liaison RN20 - A10 (ex F6)
- A6001, RN444 (d'A10 à la RN118).

.../...

ARTICLE 2 :

Le Directeur des Routes au Ministère de l'Equipement et du Logement, le Directeur de la Sécurité et de la Circulation Routières au Ministère des Transports et de la Mer sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal Officiel de la République Française.

Fait à PARIS, le 28 OCT. 1988

P/LE MINISTRE D'ETAT, MINISTRE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT ET PAR DELEGATION,

Le Directeur des Routes

Jean BERTHIER

P/ LE MINISTRE DES TRANSPORTS ET DE LA MER ET PAR DELEGATION,

Le Directeur de la Sécurité et de la Circulation Routières

Pierre GRAFF

Annexe N° 2

LETTRE DE MISSION DU MINISTRE DE L'EQUIPEMENT

Le Ministre de l'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports

Paris, le 09 DEC. 1986

N/REF. : CAb/P - 428 DEP 86

Le Ministre de l'Equipement, du Logement de l'Aménagement du Territoire et des Transports

à

Monsieur ROUSSET, Préfet
Directeur Régional de l'Equipement de la Région d'Ile de France

(sous-couvert de Monsieur le Préfet, Commissaire de la République de la Région d'Ile de France et du Département de Paris).

OBJET : Exploitation des voies rapides de l'Ile de France

Les voies rapides représentent, en Région Parisienne, un capital d'équipement considérable dont la bonne utilisation recouvre des enjeux économiques et sociaux très importants.

Toutefois l'exploitation des voies rapides pose actuellement des problèmes de tous ordres et notamment ceux de l'utilisation optimale des possibilités du réseau, de l'information des usagers et du traitement rapide des accidents.

Dans quelques années, ce réseau jusqu'à présent essentiellement radial, sera maillé par les premiers tronçons de l'autoroute A 86 dans l'Est de la Région et la rocade des villes nouvelles. L'éventail des politiques d'exploitation va s'en trouver sensiblement élargi, en même temps que s'accroîtra fortement la complexité du système ce qui pose des problèmes techniques, d'organisation et financiers.

Un certain nombre de travaux et de réflexion ont été menés sur ce sujet et en particulier, en 1985 et 1986, le rapport présenté à la demande du Préfet de Région par M. MAILLARD, ancien Préfet des Yvelines et celui qui vient d'être remis à mon collègue Ministre de l'Intérieur et à moi-même par MM. LEREBOUR, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées et SOULIMAN, Inspecteur Général de l'Administration.

Ces deux rapports apportent un éclairage intéressant notamment sur certains aspects organisationnels.

.../...

Les éléments ainsi disponibles sont largement suffisants pour évaluer la situation actuelle et les enjeux d'avenir. Il s'agit maintenant de s'engager dans la phase opérationnelle pour aboutir, au terme de trois ans, à un système techniquement fiable et inséré dans un fonctionnement administratif simple et efficace.

Je vous confie le soin de conduire et de mettre en oeuvre les premières approches de ce projet auquel j'assigne les objectifs prioritaires suivants :

- mise à niveau de nos compétences en France à partir de l'analyse des expériences étrangères les plus significatives.

- proposition de définition du réseau concerné par les mesures d'exploitation.

- conception des stratégies d'exploitation, d'équipement et de maintenance à mettre en oeuvre à l'horizon 1990 avec le double souci de l'efficacité du service public et des impératifs industriels qui conditionnent la fabrication et l'évolution des matériels.

- proposition des schémas de fonctionnement possibles, notamment pour ce qui concerne le Ministère de l'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports (aspects budgétaires, conditions de travail, etc...).

De façon à assurer un suivi permanent du projet tant sur le plan technique que sur le plan administratif, il conviendra de mettre en place des instances de concertation dont vous voudrez bien me proposer la nature et la composition.

Dans cet esprit, outre les Commissaires de la République des départements et les autorités commandant les CRS, vous associerez étroitement à vos réflexions la Ville de Paris et la Préfecture de Police en ce qui concerne le boulevard périphérique.

Pierre MEHAIGNERIE

Annexe N° 3

COMPOSITION DES :

COMITE DE COORDINATION

COMITE TECHNIQUE

GROUPES DE TRAVAIL DU ROC (Réseau d'Observation et de Conseil)

Composition des Comité de coordination, Comité technique et Groupes de travail du réseau d'observation et de conseil (ROC)

I. Objectifs

Aboutir au terme de trois ans à un système techniquement fiable, dans un environnement administratif simple et efficace.

- mise à niveau des connaissances,
- définition du réseau de voirie concerne,
- conception des stratégies d'exploitation, d'équipement et de maintenance,
- analyse des schémas d'organisation

II. Organisation

Principes :

- Participation active de tous les services responsables,
- Mobilisation des services techniques compétents,
- Approche pragmatique.

Proposition :

- Comité de coordination,
- Comité technique,
- Réseau d'observation et de conseil (ROC),

II.1. Comité de coordination

Rôle :

- Orienter la réflexion,
- Analyse les propositions de schémas d'exploitation et d'organisation,
- Décider des mesures à prendre.

Composition :

- Préfecture de la région Ile-de-France,
- Préfecture des départements de la RIF,
- Préfecture de police, Ville de Paris,
- Groupement CRS N°1 - Vélizy,
- Direction régionale de l'Equipement,
- Directions départementales de l'Equipement,
- Direction des routes,
- Direction de la circulation et de la sécurité routière,
- Conseil régional.

II.2. Comité technique

Rôle :

- Evaluer et valoriser les acquis techniques,
- Emettre des avis sur l'opportunité des études proposées,

- Proposer des études particulières,
- Nommer des experts charges de suivre chaque étude,
- Evaluer et diffuser les résultats obtenus,
- Conseiller technique du comité de coordination.

Composition :

- Direction régionale de l'équipement,
- Ville de Paris,
- Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité,
- Service d'études techniques des routes et autoroutes,
- Centre d'étude des transports urbains,
- Laboratoire central des ponts et chaussées,
- Ecole nationale des ponts et chaussées,
- Ecole nationale des travaux publics de l'Etat,
- Service des études de la recherche et de la technologie,
- Directions départementales de l'équipement,
- Compagnes républicaines de sécurité,
- Préfecture de police,
- Union des sociétés d'autoroutes à péage.

II.3. Réseau d'observation et de conseil (ROC)

Rôle :

- Groupes de travail sur les thèmes :
  -- le traitement des incidents/accidents,
  -- la programmation des chantiers,
  -- les procédures de délestage,
  -- la congestion récurrente, etc...

- Un réseau de correspondant plus des spécialistes en fonction de la nature et de la portée des sujets traités.

Composition :

- Uniquement des exploitants,
- Compagnes de CRS de la RIF,
- Directions départementales des polices urbaines,
- Légion de gendarmerie d'Ile-de-France,
- Préfecture de police,
- Centre régional d'information et de coordination routière,
- Direction régionale de l'équipement,
- Directions départementales de l'équipement,
- Ville de Paris.

Annexe N° 4

DECRET N° 88-472 du 28 avril 1988

PORTANT SUR L'ORGANISATION DE LA DREIF POUR L'EXPLOITATION DU RVR D'ILE-DE-FRANCE

Décret n° 88-472 du 28 avril 1988 modifiant le décret n° 67-279 du 30 mars 1967 relatif à l'organisation et aux attributions du service régional de l'équipement de la région parisienne

NOR : *EQUP8801720*

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'intérieur et du ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports,

Vu la loi n° 64-707 du 10 juillet 1964 portant réorganisation de la région parisienne ;

Vu la loi n° 76-394 du 6 mai 1976 portant création et organisation de la région d'Ile-de-France ;

Vu la loi n° 82-213 du 2 mars 1982 modifiée relative aux droits et libertés des communes, des départements et des régions ;

Vu la loi n° 83-8 du 7 janvier 1983 relative à la répartition des compétences entre les communes, les départements, les régions et l'Etat ;

Vu le décret n° 62-1587 du 29 décembre 1962 portant règlement général de la comptabilité publique ;

Vu le décret n° 66-614 du 10 août 1966 relatif à l'organisation des services de l'Etat dans la région parisienne ;

Vu le décret n° 67-278 du 30 mars 1967 relatif à l'organisation et aux attributions des services départementaux et régionaux du ministère de l'équipement ;

Vu le décret n° 67-279 du 30 mars 1967 relatif à l'organisation et aux attributions du service régional de l'équipement de la région parisienne ;

Vu le décret n° 82-389 du 10 mai 1982 modifié relatif aux pouvoirs du commissaire de la République et à l'action des services et organismes publics de l'Etat dans les départements ;

Vu le décret n° 82-390 du 10 mai 1982 modifié relatif aux pouvoirs des commissaires de la République de région, à l'action des services et organismes publics de l'Etat dans la région et aux décisions de l'Etat en matière d'investissement public ;

Vu le décret n° 86-702 du 9 avril 1986 relatif aux attributions du ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports ;

Vu l'avis du comité technique paritaire du 17 novembre 1987,

Décrète :

Art. 1er. - Il est ajouté au décret n° 67-279 du 30 mars 1967 susvisé un article 6 *bis* ainsi conçu :

« *Art. 6* bis. - Le directeur régional de l'équipement d'Ile-de-France est chargé, sous l'autorité des préfets de sa circonscription et dans le cadre des directives et orientations définies dans son domaine de compétence par le ministre chargé de l'équipement, d'appliquer, dans la région, la politique d'exploitation des autoroutes et voies assimilées définies par arrêté du ministre chargé de l'équipement.

« Chargé d'une mission à caractère interdépartemental, il est le collaborateur direct du préfet de région et, par application de l'article 3 du décret n° 82-389 du 10 mai 1982, celui de chacun des préfets de département pour les affaires qui relèvent de leurs compétences. »

Art. 2. - Le ministre de l'intérieur et le ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 28 avril 1988.

JACQUES CHIRAC

Par le Premier ministre :

Le ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement du territoire et des transports,
PIERRE MÉHAIGNERIE

Le ministre de l'intérieur,
CHARLES PASQUA

Annexe N° 5

CIRCULAIRE N°88-96 du 24 Novembre 1988

RELATIVE A L'EXPLOITATION DES CERTAINES AUTOROUTES ET ROUTES NATIONALES DE LA REGION ILE-DE-FRANCE

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT

DIRECTION DES ROUTES — DIRECTION DU PERSONNEL

MINISTERE DES TRANSPORTS
ET DE LA MER

DIRECTION DE LA SECURITE ET DE LA CIRCULATION ROUTIERES

CIRCULAIRE N° 88 - 96 du 24 NOV. 1988
relative à l'exploitation des certaines autoroutes
et routes nationales de la région
ILE-DE-FRANCE

LE MINISTRE D'ETAT, MINISTRE DE L'EQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT,
LE MINISTRE DES TRANSPORTS ET DE LA MER

à

Monsieur le Préfet de la Région ILE-DE-FRANCE
(Direction Régionale de l'Equipement)

Messieurs les Préfets des Départements
de la Région ILE-DE-FRANCE
(Directions Départementales de l'Equipement)

Messieurs les Présidents des Sociétés Concessionnaires
d'Autoroutes COFIROUTE, SANEF, SAPN

La présente circulaire précise les conditions d'application du décret n° 88-472 du 28 avril 1988 confiant au Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE la responsabilité d'appliquer, sous l'autorité des Préfets de sa circonscription et dans le cadre des directives et orientations définies dans leurs domaines de compétence par les Ministres chargés de la voirie nationale et de la circulation routière, la politique d'exploitation de certaines autoroutes et routes nationales de la région ILE-DE-FRANCE.

CHAMP D'APPLICATION

Le champ d'application de la présente circulaire est défini par l'arrêté du 28 OCT. 1988 pris conformément aux dispositions prévues dans le décret n° 88 - 472 du 28 avril 1988, déjà cité.

Le réseau ainsi constitué sera par la suite désigné sous le terme générique de "réseau principal".

Il couvre globalement les autoroutes comprises à l'intérieur de la Francilienne, y compris celle-ci, ainsi que certaines routes nationales.

PARTAGE DES RESPONSABILITES

Le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE est chargé d'une mission à caractère interdépartemental. A ce titre, il est le collaborateur direct du Préfet de la Région ILE-DE-FRANCE et, par application de l'article 3 du décret n° 82-389 du 10 mai 1982, celui de chacun des Préfets de Département pour les affaires qui relèvent de leurs compétences.

Il en résulte le partage des responsabilités suivant :

1° Le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE pilote et coordonne l'action des différents services de l'Equipement en matière de gestion du trafic sur le réseau principal. Il est le garant de la cohérence et veille à la qualité globale du service rendu aux usagers dans ce domaine.

Plus précisément, le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE :

- étudie et propose au Ministre chargé de la circulation routière les principes généraux de la politique d'exploitation du réseau principal,

- établit, sous l'autorité des Préfets de Département et en liaison avec les différents services concernés, l'ensemble des dossiers d'exploitation, chantiers exceptés (cf. annexe 1) ;

- instruit les dossiers particuliers d'exploitation des chantiers non courants et élabore le calendrier annuel de ces chantiers approuvé par le Préfet de Région (cf. annexe 2) ;

- gère, en collaboration avec les forces de Police ou de Gendarmerie et sous l'autorité des Préfets de Département concernés, les centres interdépartementaux d'exploitation du réseau principal (cf. annexe 3) ;

- est responsable de la planification, de la conception technique et de la programmation des équipements dynamiques de gestion du trafic (cf. annexe 4) ;

- assure la réalisation (maîtrise d'ouvrage) et la maintenance de ces équipements sur le réseau principal non concédé ainsi que la prise en charge des dépenses liées à leur fonctionnement (cf. annexe 5) ;

2° Les Directeurs Départementaux de l'Equipement, sous l'autorité des Préfets de Département, conservent leurs responsabilités en matière de gestion des voies :

. entretien et remise en état de la chaussée,

. suivi de l'état et du fonctionnement des infrastructures, des équipements inertes et de l'éclairage,

. mise en oeuvre de délestages utilisant d'autres voies que celles du réseau principal,

. intervention sur accident,

. organisation et exécution du service hivernal.

3° Sur les sections d'autoroutes concédées faisant partie du réseau principal, les Sociétés Concessionnaires d'Autoroutes assurent la réalisation et la maintenance des équipements dynamiques de gestion du trafic ainsi que la prise en charge des dépenses liées à leur fonctionnement.

Toutefois, le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE est responsable de la cohérence de la conception et de la réalisation de ces équipements avec le reste du réseau principal (cf. annexes 4 et 5).

Les autres missions relevant de la responsabilité du Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE sont assurées par celui-ci sur les sections concédées dans les mêmes conditions que sur le reste du réseau principal.

.../...

ORGANISATION ADMINISTRATIVE DE LA FONCTION INTERDEPARTEMENTALE

Le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE présente à la signature des Préfets compétents les correspondances émanant de ses services et nécessaires à l'exercice de leur compétence.

Sous réserve de la bonne application de ce principe de déconcentration, il importe que le Directeur Régional de l'Equipement d'ILE-DE-FRANCE traite par délégation et sous sa signature les affaires relevant de sa compétence et qu'il participe, par ses propositions, à la préparation des arrêtés de délégation.

P/ LE MINISTRE D'ETAT, MINISTRE DE L'EQUIPEMENT
ET DU LOGEMENT ET PAR DELEGATION,

Le Directeur des Routes,

Jean BERTHIER

Le Directeur du Personnel,

Serge VALLEMONT

P/LE MINISTRE DES TRANSPORTS
ET DE LA MER ET PAR DELEGATION,

Le Directeur de la Sécurité et de
la Circulation Routières

Pierre GRAFF

Annexe N° 6

FICHE DE SIRIUS

Les objectifs de SIRIUS :

- Optimiser le fonctionnement du réseau maillé d'Ile-de France.
- Informer, le plus largement possible et en temps réel, les usagers sur toutes les conditions de circulation.
- Améliorer la sécurité routière en Ile-de-France.
- Renforcer le confort de conduite en informant et en donnant des choix à l'automobiliste et, par là-même, en diminuant le stress causé par l'incertitude sur les conditions du trafic et le temps de parcours.

Les enjeux :

- 40 % de la circulation automobile d'Ile-de-France a lieu sur les voies rapides qui représentent pourtant moins de 10 % de l'ensemble de la longueur des routes principales de la région.
- 80 millions d'heures par an sont perdues par les automobilistes franciliens dans les embouteillages, ce qui représente 6 milliards de francs annuels pour le temps perdu et 1,5 milliards de francs pour le supplément d'énergie consommée.
- 30 % du temps perdu dans les embouteillages est causé par des accidents.

Le système SIRIUS, c'est déjà :

Depuis décembre 1992 :

- 175 kilomètres d'autoroutes équipées
- 1800 capteurs électromagnétiques
- 280 caméras
- 110 panneaux lumineux à messages variables
- 35 accès régulés
- 2 centres d'exploitation interconnectés à Saint-Denis (sur A1) et à Champigny (sur A4)

A la mi-1993 :

- 300 kilomètres d'autoroutes équipées
- 2500 capteurs électromagnétiques
- 370 caméras
- 175 panneaux lumineux à messages variables
- 35 accès régulés
- 1 centre d'exploitation supplémentaire à Arcueil (sur A6)

Ultérieurement :

- Plus de 500 kilomètres d'autoroutes équipées
- 4000 capteurs électromagnétiques
- 480 caméras
- 250 panneaux lumineux à messages variables
- 100 accès régulés

Le service SIRIUS, ce sera progressivement :

- Une utilisation par l'usager des informations délivrées par SIRIUS, d'une façon de plus en plus habituelle et donc efficace.
- Une extension progressive de la couverture de SIRIUS à l'ensemble des voies rapides de la région et au réseau des autres routes à grande circulation.
- A terme, l'installation du service SIRIUS dans la voiture même de l'usager, par l'intermédiaire d'un système télématique de bord nourri par les informations de l'infrastructure SIRIUS actuelle. Ce système pourra évoluer relativement rapidement vers un véritable guidage proposant des itinéraires calculés en fonction des conditions de circulation du moment.

SIRIUS

SIRIUS est un produit conçu, réalisé et géré par le Service Interdépartemental de l'Exploitation Routière d'Ile-de-France (Direction régionale de l'Equipement)

Crédit photos : Denise Bourbonnais et DREIF Edition janvier 1993

Annexe N° 7

EXEMPLES DES REPONSES AU QUESTIONNAIRE RELATIF A L'EXPLOITATION DES RVR A L'ETRANGER

Please answer the following questions and return this questionnaire to:

Mr. Ming-yu ZHANG
PCR/SIER
79B, Av. du Mal de Lattre de Tassigny
BP45
94002 CRETEIL cedex
FRANCE
Fax : 33 (1) 48 98 07 91

QUESTIONNAIRE :

1. There is 97 km urban and suburban freeways in operational charge of our service. The major problem in operation of these freeways is : - congestion ☐,
   - incidents ☐.

2. The congestion distribution by different causes is : recurrent congestion _____%, accidents 7 %, road works _____ %, bed weather conditions _____ %.

3. Advanced freeway traffic management system name : COMPUTERIZED TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM
   Current status : - operational ☑,
   - design/planing stage ☑,
   - construction ☑.

4. Traffic surveillance equipment :
   (1). Traffic detector type : - loop detector ☑,
   - ultra-son ☐,
   - camera ☑.
   - VISUAL IMAGING VEHICLE DETECTION SYSTEM

   (2). Total detector number = 7082, inter distance = 0.8047 km.

   (3). CCTV : - existence ☑, total number = 214,
   - non existence ☐.

   (4). Emergency telephones : - existent ☑, total number = 120, inter distance = 0.8047 km,
   - planned ☐, total number = _____, inter distance = _____ km,
   - non planned ☐.

5. Automatic incident detection : - existent ☐, with which algorithm? _____.

SEE ATTACHED RESEARCH REPORT

- really used ☐,
- satisfactory ☐.

Performance : detection rate =_____%, false alarms rate =_____%.

6. Existence of automatic congestion detection (ACD): - yes ☐,
- planned ☐,
- non planned ☐.

If yes, its running is : - satisfactory ☐,
- non satisfactory ☐.

ACD performance estimation : detection rate = _____ %, false alarms rate = _____ %.

If non satisfactory, it is because of : - poor quality of traffic data ☐,
- insufficient quantity of traffic data ☐,
- ACD algorithm problem ☐.

7. Ramp metering : - existent ☑, total number = 25, LOCATED IN HOUSTON I 45, NOT YET FULLY OPERATIONAL,
- non existent ☐.

Strategy type : - fix time ☐,
- local adaptive ☐,
- co-ordinated traffic-responsive ☐.

8. Traffic information is offered : - before travel ☑,
- during travel ☑.

9. Diffusion of information by : - Variable Message signs (VMS) ☑, total number = 137,
- Radio ☑.

10. VMS is used to display : - recurrent congestion ☐,
- incident (accidents, road works) ☑,
- time of travel ☐,
- speed recommendation ☐,
- guidance ☑,
- deviation ☑.

11. The information display by VMS is for : - all the time ☐,
- specials events (accidents, road works...) ☑.

12. Location of VMS : - before choice points ☑,
- current sections ☑,
- arterial road before freeway entrances☐.

13. VMS activation : - automatic computer control ☑,
- manual ☑,
- automatic computer control and manual override ☑.

14. Is there a traffic simulation model integrated in your operation system ? - Yes ☑,
- non ☐.

If yes, which model is used et for which purposes?
TEXAS MODEL - INTERSECTION DESIGN
FREQ - FREEWAY OPERATIONS ANALYSIS

15. In-vehicle guidance system : - in operation ☐,
- in experimentation ☑,
- planned ☐,
- non planned ☐.

16. Existence of a automatic traffic data validation procedure in the operation system : - yes ☐,
- non ☐.

If yes, according to which principle?

17. Integration with conventional urban road operation systems : - existent ☐,
- non existent ☐,
- planned ☑,
- non planned ☐.

18. If you have some documents about your **urban freeway operation** (system, technique, tools, policy, evaluation...) it will be very kind of you to post me a copy.
TWO REPORTS ATTACHED

Please answer the following questions and return this questionnaire to:

Mr. Ming-yu ZHANG
PCR/SIER
79B, Av. du Mal de Lattre de Tassigny
BP45
94002 CRETEIL cedex
FRANCE
Fax : 33 (1) 48 98 07 91

QUESTIONNAIRE :

1. There is 500 ~~km~~ MILES urban and suburban freeways in operational charge of our service. The major problem in operation of these freeways is : - congestion ☑,
   - incidents ☑.

2. The congestion distribution by different causes is : recurrent congestion 40 %, accidents %, road works 5 %, bad weather conditions 5 %.

3. Advanced freeway traffic management system name : SEE HANDOUTS .
   Current status : - operational ☑,
   - design/planing stage ☑,
   - construction ☑.

4. Traffic surveillance equipment :
   (1). Traffic detector type : - loop detector ☑,
   - ultra-son ☐,
   - camera ☑.

   (2). Total detector number = ≥ 900 , inter distance = 500 ~~km~~ MILES

   (3). CCTV : - existence ☑, total number = 25 ,
   - non existence ☐.

   (4). Emergency telephones : - existent ☑, total number = 2773 , inter distance = ? km,
   - planned ☐, total number = ? , inter distance = ? km,
   - non planned ☐.

5. Automatic incident detection : - existent ☒, with which algorithm? SEVERAL USED IN SYSTEM
- really used ☐,
- satisfactory ☐.

Performance : detection rate = 85 %, false alarms rate = 5-10%.

6. Existence of automatic congestion detection (ACD): - yes ☒,
- planned ☐,
- non planned ☐.

If yes, its running is : - satisfactory ☒,
- non satisfactory ☐.

ACD performance estimation : detection rate = 90 % (IN AREAS WITH DETECTION), false alarms rate = MINIMAL%.

If non satisfactory, it is because of : - poor quality of traffic data ☐,
- insufficient quantity of traffic data ☐,
- ACD algorithm problem ☐.

7. Ramp metering : - existent ☒, total number = 782,
- non existent ☐.

Strategy type : - fix time ☒,
- local adaptive ☒,
- co-ordinated traffic-responsive ☐. NOT YET

8. Traffic information is offered : - before travel ☒,
- during travel ☒.

9. Diffusion of information by : - Variable Message signs (VMS) ☒,
- Radio ☒.

10. VMS is used to display : - recurrent congestion ☐,
- incident (accidents, road works) ☒,
- time of travel ☐,
- speed recommendation ☐,
- guidance ☒,
- deviation ☒.

11. The information display by VMS is for : - all the time ☐,
- specials events (accidents, road works...) ☒.

12. Location of VMS : - before choice points ☑,
- current sections ☐,
- arterial road before freeway entrances ☐.

13. VMS activation : - automatic computer control ☐,
- manual ☑,
- automatic computer control and manual override ☐.

14. Is there a traffic simulation model integrated in your operation system ? - Yes ☐,
- non ☑.

If yes, which model is used et for which purposes?

15. In-vehicle guidance system : - in operation ☐,
- in experimentation ☑,
- planned ☐,
- non planned ☐.

16. Existence of a automatic traffic data validation procedure in the operation system : - yes ☑,
- non ☐.

WE DO HAVE DATA CLENSING THAT FLAGS POSSIBLE BAD DATA THAT CAN BE USED OR DISREGARDED IN ALGORYTHEMS

If yes, according to which principle?

17. Integration with conventional urban road operation systems : - existent ☐,
- non existent ☐,
- planned ☑,
- non planned ☐.

18. If you have some documents about your **urban freeway operation** (system, technique, tools, policy, evaluation...) it will be very kind of you to post me a copy.

Please answer the following questions and return this questionnaire to:

Mr. Ming-yu ZHANG
PCR/SIER
79B, Av. du Mal de Lattre de Tassigny
BP45
94002 CRETEIL cedex
FRANCE
Fax : 33 (1) 48 98 07 91

QUESTIONNAIRE :

1. There is 136 miles ~~km~~ urban and suburban freeways in operational charge of our service. The major problem in operation of these freeways is : - congestion ☒,
   - incidents ☐.

2. The congestion distribution by different causes is : recurrent congestion 60 %, accidents 15 %, road works 15 %, bad weather conditions 10 %.

3. Advanced freeway traffic management system name : Traffic Systems Center
   Current status : - operational ☒,
   - design/planing stage ☐,
   - construction ☐.

4. Traffic surveillance equipment :
   (1). Traffic detector type : - loop detector ☒,
   - ultra-son ☐,
   - camera ☐.

   (2). Total detector number = ~ 2,000 , inter distance = 1/2 mile ~~km~~.

   (3). CCTV : - existence ☐, total number = _____ ,
   - non existence ☒ but now under contract

   (4). Emergency telephones*: - existent ☒, total number = 8 , inter distance = varies ~~km~~,
   (Pay phones) - planned ☐, total number = _____ , inter distance = _____ km,
   - non planned ☒. - traditional emergency telephone
   *(provided on-freeway as part of "accident investigation sites")

5. Automatic incident detection : - existent ☒, with which algorithm? custom designed.
- really used ☐,
- satisfactory ☐.

Performance : detection rate = 95 %, false alarms rate = 5 %.

6. Existence of automatic congestion detection (ACD): - yes ☒, (same as #5 above)
- planned ☐,
- non planned ☐.

If yes, its running is : - satisfactory ☒,
- non satisfactory ☐.

ACD performance estimation : detection rate = 95 %, false alarms rate = 5 %.

If non satisfactory, it is because of : - poor quality of traffic data ☐,
- insufficient quantity of traffic data ☐,
- ACD algorithm problem ☐.

7. Ramp metering : - existent ☒, total number = 109 ,
- non existent ☐.

Strategy type : - fix time ☐,
- local adaptive ☒, approximately 80%
- co-ordinated traffic-responsive ☒. 20%

8. Traffic information is offered : - before travel ☒,
- during travel ☒.

9. Diffusion of information by : - Variable Message signs (VMS) ☒,
- Radio ☒. both HAR and Commercial feeds

10. VMS is used to display : - recurrent congestion ☒,
- incident (accidents, road works)☒,
- time of travel ☐,
- speed recommendation ☒,
- guidance ☒,
- deviation ☒.

11. The information display by VMS is for : - all the time ☒,
- specials events (accidents, road works...) ☐.

12. Location of VMS : - before choice points ☒,
- current sections ☒,
- arterial road before freeway entrances☐.

13. VMS activation : - automatic computer control ☐,
- manual ☐,
- automatic computer control and manual override ☒.

14. Is there a traffic simulation model integrated in your operation system ? - Yes ☐,
- non ☒.

If yes, which model is used et for which purposes?

15. In-vehicle guidance system : - in operation ☐,
- in experimentation ☒, "ADVANCE" Project- (contact Joe Ligas @ 1-708-705-4800)
- planned ☒,
- non planned ☐.

16. Existence of a automatic traffic data validation procedure in the operation system : - yes ☐,
- non ☒.

If yes, according to which principle?

17. Integration with conventional urban road operation systems : - existent ☐,
- non existent ☒,
- planned ☐,
- non planned ☒.

18. If you have some documents about your **urban freeway operation** (system, technique, tools, policy, evaluation...) it will be very kind of you to post me a copy.

(available as IHR-088, "Chicago Area Expressway Surveillance & Control: Final Report," 1979)

Please answer the following questions and return this questionnaire to:

Mr. Ming-yu ZHANG
PCR/SIER
79B, Av. du Mal de Lattre de Tassigny
BP45
94002 CRETEIL cedex
FRANCE
Fax : 33 (1) 48 98 07 91

QUESTIONNAIRE :

1. There is 55 km urban and suburban freeways in operational charge of our service. The major problem in operation of these freeways is : - congestion ☒,
   - incidents ☒.

2. The congestion distribution by different causes is : recurrent congestion 40 %, accidents 25 %, road works 25 %, bed weather conditions 10 %.

3. Advanced freeway traffic management system name : INFORM .
   Current status : - operational ☒,
   - design/planing stage ☐,
   - construction ☐.

4. Traffic surveillance equipment :
   (1). Traffic detector type : - loop detector ☒,
   - ultra-son ☐,
   - camera ☒.

   (2). Total detector number = 2000+, inter distance = 3/4 km.

   (3). CCTV : - existence ☒, total number = 35 ,
   - non existence ☐.

   (4). Emergency telephones : - existent ☐, total number =_____ , inter distance =_____km,
   - planned ☐, total number =_____ , inter distance =_____km,
   - non planned ☒.

5. Automatic incident detection : - existent ☒, with which algorithm? _____.
- really used ☐,
- satisfactory ☐.

Performance : detection rate = ___?___%, false alarms rate = ___?___%.

6. Existence of automatic congestion detection (ACD): - yes ☒,
- planned ☐,
- non planned ☐.

If yes, its running is : - satisfactory ☒,
- non satisfactory ☐.

ACD performance estimation : detection rate = _____ %, false alarms rate = _____ %.

If non satisfactory, it is because of : - poor quality of traffic data ☐,
- insufficient quantity of traffic data ☐,
- ACD algorithm problem ☐.

7. Ramp metering : - existent ☒, total number = ___504___,
- non existent ☐.

Strategy type : - fix time ☐,
- local adaptive ☒,
- co-ordinated traffic-responsive ☒.

8. Traffic information is offered : - before travel ☒,
- during travel ☒.

9. Diffusion of information by : - Variable Message signs (VMS) ☒,
- Radio ☒.

10. VMS is used to display : - recurrent congestion ☒,
- incident (accidents, road works) ☒,
- time of travel ☐,
- speed recommendation ☐,
- guidance ☐,
- deviation ☒.

11. The information display by VMS is for : - all the time ☒,
- specials events (accidents, road works...) ☐.

12. Location of VMS : - before choice points ☒,
- current sections ☐,
- arterial road before freeway entrances ☒.

13. VMS activation : - automatic computer control ☐,
- manual ☐,
- automatic computer control and manual override ☒.

14. Is there a traffic simulation model integrated in your operation system ? - Yes ☐,
- non ☒.

If yes, which model is used et for which purposes?

15. In-vehicle guidance system : - in operation ☐,
- in experimentation ☐,
- planned ☒,
- non planned ☐.

16. Existence of a automatic traffic data validation procedure in the operation system : - yes ☐,
- non ☒.

If yes, according to which principle?

17. Integration with conventional urban road operation systems : - existent ☒,
- non existent ☐,
- planned ☐,
- non planned ☐.

18. If you have some documents about your **urban freeway operation** (system, technique, tools, policy, evaluation...) it will be very kind of you to post me a copy.

Please answer the following questions and return this questionnaire to:

Mr. Ming-yu ZHANG
PCR/SIER
79B, Av. du Mal de Lattre de Tassigny
BP45
94002 CRETEIL cedex
FRANCE
Fax : 33 (1) 48 98 07 91

QUESTIONNAIRE :

1. There is 238 km urban and suburban freeways in operational charge of our service. The major problem in operation of these freeways is : - congestion ☐,
   - incidents ☑.

2. The congestion distribution by different causes is : recurrent congestion 20 %, accidents 60 %, road works 17 %, bed weather conditions 3 %.

3. Advanced freeway traffic management system name : AUTOMATIC TRAFFIC SURVEILLANCE AND CONTROL SYSTEM (ATSCS)
   Current status : - operational ☑,
   - design/planing stage ☐,
   - construction ☐.

4. Traffic surveillance equipment :
   (1). Traffic detector type : - loop detector ☑, RTMS
   - ultra-son ☐, MICROWAVE
   - camera ☑. MAGNETOMETERS

   (2). Total detector number = 969 , inter distance = ~1 km.

   (3). CCTV : - existence ☑, total number = 2 ,
   - non existence ☐.

   (4). Emergency telephones : - existent ☐, total number =_____ , inter distance =_____km,
   - planned ☐, total number =_____ , inter distance =_____km,
   - non planned ☑.

5. Automatic incident detection : - existent ☑, with which algorithm? CALIFORNIA.
- really used ☐,
- satisfactory ☐.

Performance : detection rate =_____%, false alarms rate =_____%. 5-10 l

6. Existence of automatic congestion detection (ACD): - yes ☑,
- planned ☐,
- non planned ☐.

If yes, its running is : - satisfactory ☐,
- non satisfactory ☑. MAINTENANCE PROBLEMS

ACD performance estimation : detection rate = 46 %, false alarms rate = _____ %.

If non satisfactory, it is because of : - poor quality of traffic data ☐,
- insufficient quantity of traffic data ☐,
- ACD algorithm problem ☐.

MAINTENANCE ✓

7. Ramp metering : - existent ☐, total number = _____ ,
- non existent ☑.

Strategy type : - fix time ☐,
- local adaptive ☐,
- co-ordinated traffic-responsive ☐.

8. Traffic information is offered : - before travel ☑,
- during travel ☑.

9. Diffusion of information by : - Variable Message signs (VMS) ☑,
- Radio ☑.

10. VMS is used to display : - recurrent congestion ☑,
- incident (accidents, road works)☑,
- time of travel ☐,
- speed recommendation ☑,
- guidance ☑,
- deviation ☑.

11. The information display by VMS is for : - all the time ☑, FOR SPEED LIMIT
- specials events (accidents, road works...) ☑.

12. Location of VMS : - before choice points ☑,
- current sections ☐,
- arterial road before freeway entrances☐.

13. VMS activation : - automatic computer control ☑, Some
- manual ☑, Some
- automatic computer control and manual override ☐.

14. Is there a traffic simulation model integrated in your operation system ? - Yes ☐,
- non ☑.

If yes, which model is used et for which purposes?

15. In-vehicle guidance system : - in operation ☐,
- in experimentation ☐,
- planned ☐,
- non planned ☑.

16. Existence of a automatic traffic data validation procedure in the operation system : - yes ☐,
- non ☑.

If yes, according to which principle?

17. Integration with conventional urban road operation systems : - existent ☐,
- non existent ☐,
- planned ☐,
- non planned ☑.

18. If you have some documents about your **urban freeway operation** (system, technique, tools, policy, evaluation...) it will be very kind of you to post me a copy.

Annexe N° 8

EXPLOITATION DU RESEAU DE VOIES RAPIDES A LOS ANGELES

(Source : [DREIF et al., 1987])

EXPLOITATION DU RESEAU DE VOIES RAIDES A LOS ANGELES

1. Description de la Géométrie et du Trafic

Le réseau autoroutier s'étend sur 728 miles et trois comtés : Los Angeles : 509 miles - Orange : 133 miles - Ventura : 86 miles.

Il traverse 80 municipalités et est géré par le District 7 du D.O.T. de Californie (CALTRANS).

Hormis quelques courtes sections d'autoroute en projet ou en construction, il n'est plus question de le densifier.

Bien que CALTRANS gère aussi 800 miles de conventional state highways dans l'agglomération de Los Angeles, il n'existe pas de gestion coordonnée entre les deux réseaux.

Le trafic continue à croître à un rythme de 4 à 5% par an tandis que les temps de parcours et les encombrements (à réseau constant) augmentent annuellement de 7%.

2. Recueil de données de trafic

Il est constitué de 6 380 boucles et couvre 600 miles. A terme, il est prévu un réseau de 23 000 boucles.

Disposition des boucles sur les accès régulés : une boucle de comptage en aval du feu, deux boucles de présence juste en amont et une boucle de fin de file d'attente en haut de l'accès.

Sur les sections à fort taux de congestion, les simples boucles (débit et T.O.) sont en cours de remplacement par des doubles boucles, afin de faire de la mesure de vitesse. Le logiciel correspondant n'est pas encore en service.

Une boucle de comptage est installée sur chaque sortie.

Contrairement à tous les autres sites visités, le centre d'exploitation ne reçoit que des données agrégées. Des détecteurs au concentrateur (capacité de traitement : 28 données élémentaires simultanément) la transmission se fait par câbles d'exploitation autoroutiers. Toutes les 30 secondes, les données agrégées sont adressées au centre de contrôle par liaisons téléphoniques spécialisées (75 au total).

3. Moyens de detection des incidents

D.A.I.

La D.A.I. fonctionne sur le triangle de "démonstration" : San Diego freeway / Santa Monica freeway / Harbor freeway. Des extensions sont prévues.

Cinq nouveaux algorithmes sont en cours de test. Il est envisagé de disposer d'algorithmes différents suivant les sites. Le but premier de la recherche en cours est de réduire le nombre de fausses alarmes.

Caméras

Le centre de contrôle reçoit les images de 15 caméras dont 12 sont installées sur Santa Monica freeway et 2 au niveau de deux grands échangeurs. L'Université de Californie évalue actuellement l'utilité de ces caméras. Si l'évaluation est positive, il est prévu de faire une couverture TV total de la zone de D.A.I. qui actuellement est aveugle.

La transmission des images vidéo se fait par voie hertzienne. Un relais est souvent nécessaire entre le terrain et le centre de contrôle.

CALTRANS dispose d'une caméra vidéo montée sur camion. Il possédait

aussi un hélicoptère qui n'a pas été remplacé.

Réseau d'appel d'urgence

Le Comté de Los Angeles a entièrement équipé le réseau autoroutier de son territoire (509 miles) de bornes d'appel d'urgence, avec un pas d'un quart de mile. Les autoroutes du Comté d'Orange sont en cours d'équipement.

Ce réseau d'appel d'Urgence, qui est financé majoritairement et maintenu par le Comté, est mis à la disposition de la Police. (CHP : Californie Highway Police).

En 1980, 3 475 bornes étaient en service. La Police a reçu plus de 435 000 appels et dispose de 46 personnes pour y répondre. Il est estimé que le R.A.U. a permis de supprimer 6 300 heures de patrouille de police chaque mois.

C.B.

La C.B. n'est pas écoutée par les exploitants de CALTRANS. Ils considèrent qu'il y a trop de conversations et de brouillage.

Par contre, ils reçoivent des informations fiables (accidents...) grâce au radio-téléphone cellulaire qui équipe environ 10 000 véhicules privés.

Patrouilles

La surveillance par patrouille du réseau autoroutier est sous le responsabilité de la police.

Les équipes de maintenance transmettent accessoirement par radio des informations routières au centre de contrôle. Du fait de fréquences radios différentes, elles ne peuvent pas converser directement avec les patrouilles de la police.

4. Traitement des incidents

Le traitement de la congestion non récurrente, principalement les accidents graves, est une préoccupation majeure de CALTRANS. D'après les estimations, les incidents survenant sur 450 miles du réseau ont engendré une perte annuelle de 10 millions d'heures-véhicules et un coût collectif de 60 millions de dollars. Ils représentent plus de 40% des temps perdus sur autoroute.

Evolution du nombre d'incidents majeurs sur le réseau autoroutier
(un incident majeur est un incident qui a neutralisé deux voies ou plus durant deux heures au moins).

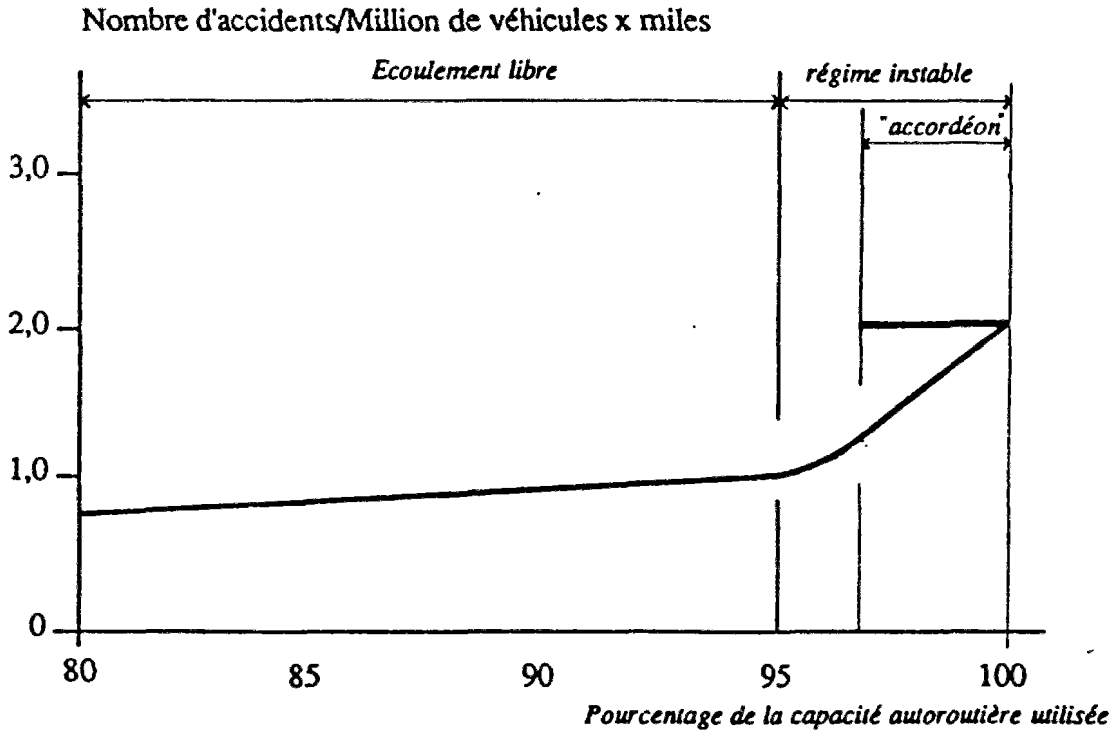
	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Incidents majeurs dus à des P.L.	170	125	131	124	171	132
Total des incidents majeurs	231	148	170	169	214	193

CALTRANS a mis en évidence la nette augmentation de la densité des accidents lorsque les véhicules circulent en écoulement forcé. Cependant, 60% des incidents arrivent en dehors des heures de travail normales.

Le temps est apparu comme le facteur essentiel sur lequel il faut agir pour réduire les conséquences de ces accidents : le temps de détection, temps d'identification des problèmes et de leurs résolutions, temps de réponse des intervenants, temps pour rétablir une capacité suffisante, temps pour résorber la congestion...

En particulier, il est mis en avant que la durée pour supprimer une congestion peut être quatre à cinq fois supérieure au temps durant lequel un incident réduit la capacité autoroutière.

Au centre de contrôle, lorsqu'une interruption du flot de trafic est détectée sur un tronçon, une lampe rouge se met à clignoter sur le synoptique général et le P.C. appelle la patrouille de police. A noter que la Police dispose d'un ordinateur (Système CADS : Computer Aided Dispatch System) auquel arrivent les informations issues des patrouilles sur le terrain, de la CB et du RAU. Une ligne directe ("hot line") relie cet ordinateur à celui du P.C.



Une équipe de CALTRANS (nommée MITMT *), composée de cinq personnes qui connaissant parfaitement le réseau autoroutier et le réseau associé, intervient lors des accidents importants. Elle peut disposer de 19 personnes qui assurent en temps ordinaire d'autres missions. Celles-ci ont en particulier pour tâche d'utiliser les 11 camions équipés de PMV. Cette organisation a pour inconvénient de centraliser en un même lieu l'ensemble des moyens mobiles alors qu'il serait plus judicieux de les répartir en différents points de l'agglomération, l'avantage étant de permettre aux personnes de se consacrer à d'autres tâches en dehors des alertes.

* MITMT : Major Incident Traffic Management Team.

Lorsqu'un accident est détecté, le MITMT se rend sur le lieu de l'évènement et constitue avec la Police, le personnel d'entretien et les autres intervenants, un commandement unifié. Ce commandement a pour mission de mettre en place un "plan de gestion" de l'incident. Tous les itinéraires de substitution empruntant le réseau associé ont été étudiés et cartographiés. Ils servent de base à l'élaboration du choix des délestages ou déviations.

Les P.M.V. mobiles se positionnent en conséquence et une signalisation est mise en place par le MITMT.

Sur les itinéraires de déviation, les cycles de feux des carrefours ne sont pas modifiés même s'ils sont gérés par CALTRANS. En revanche, des policiers

sont envoyés aux carrefours critiques.

Le bénéfice annuel dû à la gestion des accidents est évalué à 2,5 millions d'heures-véhicules.

Le coût des investissements nécessaires au développement de ces actions d'exploitation est de 11 millions de dollars. Les dépenses de fonctionnement (opérations et maintenance) s'élèvent annuellement à 1,3 million de dollars; ce qui fait ressortir un rapport bénéfice/coût de 6,2 au bout de 10 ans.

En 1984, le bilan d'activité du MITMT lors de ses interventions sur accidents s'établit comme suit:

- 214 interventions
- 3 600 heures x hommes utilisés
- 106 000 heures x véhicules gagnés (estimation).

Facturation:

Non seulement le responsable de l'accident paie les frais de remise en état du domaine public, mais CALTRANS lui facture aussi l'intégralité des coûts d'intervention de son personnel (nettoyage de la chaussée, balisage, information des usagers...) Ainsi, 80 à 90 % des coûts de fonctionnement du MITMT lors de ses interventions sur accidents, sont remboursés à CALTRANS.

L'intervention de la police demeure gratuite.

Une unité spécialisée, la PLCU (Planned Lane Closure Unit) a la charge de préparer, sur l'ensemble du réseau autorou-tier, les mesures d'exploitation en cas de travaux (construction ou entretien). En particulier, elle définit les périodes durant lesquelles les chantiers peuvent neutraliser une ou plusieurs voies. (Il y a en moyenne 10 à 12 chantiers par jour).

Cette unité dispose de personnel et d'équipements pour baliser les chantiers. Elle travaille en étroite collaboration avec le MITMT.

Comme le MITMT, la PLCU peut intervenir à tout moment grâce à un système d'astreinte à domicile.

En 1984, le bilan d'activité de la PLCU fait apparaître :

- Plus de 500 cas étudiés chaque année
- 7 200 hommes x heures utilisés
- 160 000 heures x véhicules gagnés (estimation)

Des évènements particuliers, générateurs de nombreux déplacements en voiure, perturbent fortement le fonctionnement du réseau autoroutier : fêtes sportives, grands meetings, fêtes populaires, expositions...

Comme lors des évènements non prévus (accidents), le MITMT intervient en collaboration avec les forces de police.

Bilan d'activité de la MITMT dans ce domaine

		Nombre d'interventions	heures x hommes utilisés	gain en véhicules x heures
1983		66	1 190	53 000
1984	hors J.O.	71	1 330	57 000
	J.O.	137	4 750	non estimé

J.O. : Jeux Olympique de Los Angeles en 1984

L'ensemble des mesures d'exploitation (délestages, localisation des P.M.V. mobiles...) est bien entendu préprogrammé.

5. Contrôle d'accès et feux de surface

LOS ANGELES constitue le site autoroutier le plus équipé au monde en contrôle d'accès. 664 accès étaient contrôlés en 1986 et 870 rampes le seront en 1991. La zone d'autoroute contrôlée s'étend sur 546 miles. Comme en témoigne la carte ci-jointe, toutes les autoroutes seront concernées à terme par ce mode d'exploitation. Il n'y a pas de coordination avec les feux de surface.
Sur environ un tiers des accès (209) la rampe est divisée en 2 voies dont l'une seulement est contrôlée. L'autre n'est accessible qu'au bus et "car-pool" et donc à accès libre.

Stratégies de contrôle

on distingue 2 modes :

Plan fixe horaire (TOD : time of day)

Il s'agit de cycles fixes pouvant être sélectionnés par une horloge. Ils sont déterminés à la suite d'études cas par cas et ajustés en cours d'opération. L'étude consiste généralement à localiser les "bouchons naturels" qui conditionnent le trafic à l'amont. Utilisant les débits au droit de ces restrictions comme contrainte, on cherche alors dans chaque tranche horaire à limiter le trafic accédant à l'autoroute en amont des restrictions. En général compte tenu d'autres contraintes, on choisit pour le feu d'accès le cycle qui correspond au débit le plus faible possible.
257 accès sont contrôlés en temps fixe.

Localement adaptatif (LMR : Locally mainline responsive)

Sur 407 rampes installées ce mode ne sert qu'à tirer avantage des variations de la demande en amont de l'accès sur l'autoroute. Quand la situation le permet (mesurée en terme de taux d'occupation et de débit)*, le mode adaptatif substitue au cycle horaire un débit moins restrictif. On peut aussi réagir à une baisse de la demande sur l'autoroute résultant par exemple d'un accident survenu à l'amont. Il n'y a pas dans ce cas de coordination de plusieurs accès. Des études sont encore en cours sur des stratégies de coordination à l'Université de Berkeley (Prof. A.D. MAY).

Les avantages résultant de ce mode de contrôle sont constatés et publiés par CALTRANS : meilleure utilisation longitudinale (répartition des densités), meilleure répartition dans le temps (diminution de la période de pointe).

6. Information des usagers

Deux moyens sont utilisés pour fournir de l'information aux automobilistes : les P.M.V. et les radios.

Panneaux à messages variables

48 P.M.V. sont installés en amont des points de choix. Il est prévu d'en ajouter 37 d'ici à 1994. Trois technologies différentes sont actuellement utilisées :
- des P.M.V. à matrice de lampes, ancienne génération (24)
- des P.M.V. à matrice de lampes, nouvelle génération (2)
- des P.M.V. à palettes magnétiques (18)

Il est possible de préprogrammer des séquences (mode horloge) lorsque des travaux sont prévus.

En temps réel, il ne sont utilisés qu'en cas d'accidents. Ils ne délivrent en général que de l'information et pas de conseil.

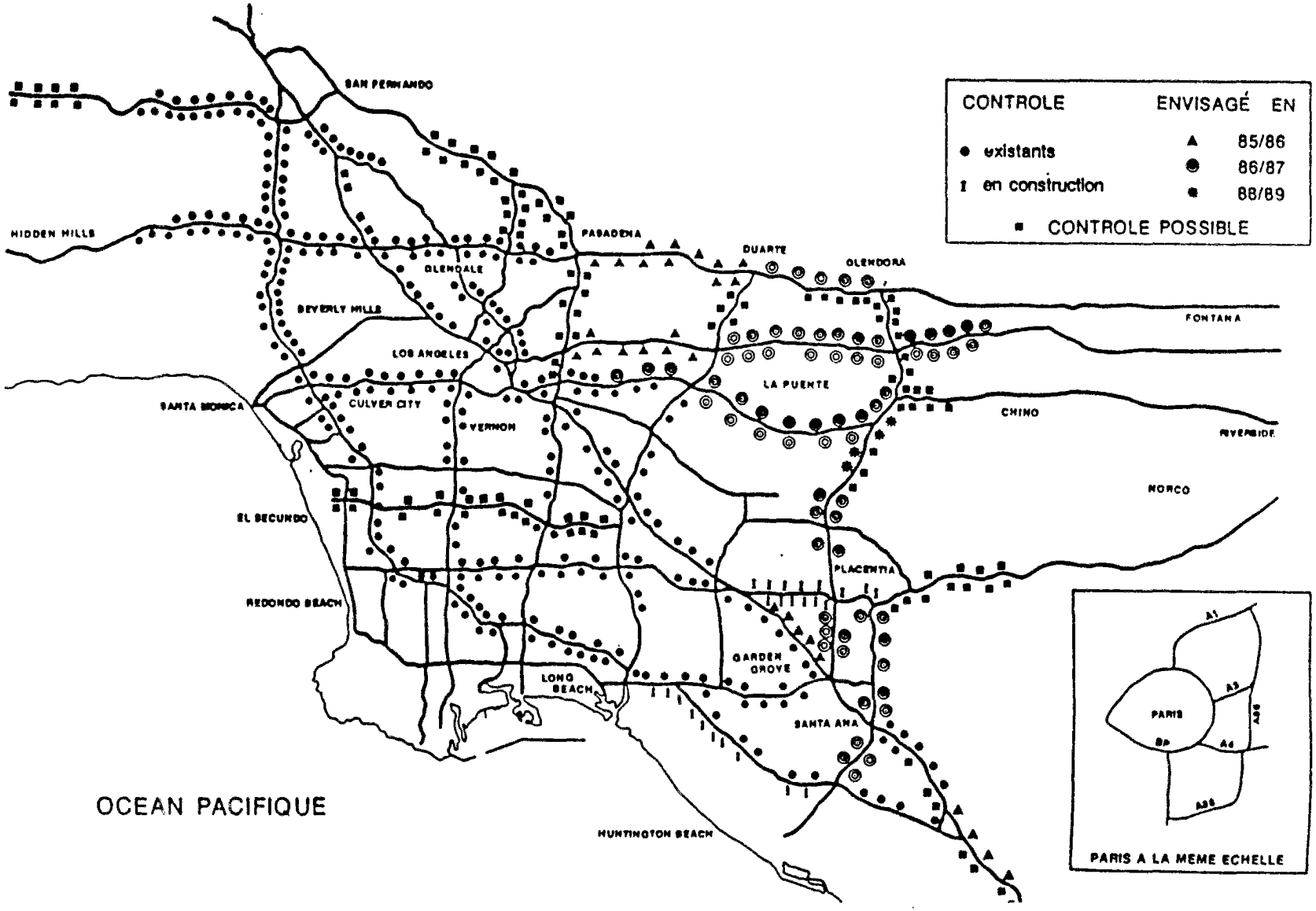
Ces panneaux, télécommandés manuellement, restent donc au neutre lors des congestions récurrentes.

De nuit, la police peut actionner localement un P.M.V.

11 véhicules sont dotés de P.M.V. à matrice de lampes ou bandes velcro.

* Le plan d'installation des capteurs est fourni en annexe : on notera qu'une seule rangée de boucles sur l'autoroute suffit au fonctionnement du contrôle d'accès adaptatif.

CONTROLE D'ACCES DU RESEAU AUTOROUTIER DE LOS ANGELES



Radios

Il existe environ 90 stations de radios AM et FM dans l'aire métropolitaine de Los Angeles. Une trentaine d'entre elles reçoivent par téléphone des informations routières grâce au CRAS (Commercial Radio Advisory System). Le nombre de stations recevant les données du CRAS augmente régulièrement. Les radios disposent aussi d'informations en provenance de la police autoroutière et des autres polices.

Une radio commerciale diffuse toutes les dix minutes des informations routières.

Le District 7 vient de mettre en place le système HAR (Highway Advisory Radio) qui permet de donner des informations et des conseils aux automobilistes à partir d'un émetteur radio mobile, d'une portée de 3 miles. Cet émetteur monté sur camion n'intervient que lorsque des évènements importants surviennent (non-prévus ou prévus).

HAR vient en complément des P.M.V. mobiles lorsque la longueur des messages (informations et conseils) n'est pas compatible avec la capacité de ces derniers.

Un deuxième émetteur HAR est considéré comme indispensable afin de pouvoir couvrir la plupart des évènements autoroutiers

En outre, il est prévu de mettre en place un circuit rapide de transmission aux journaux des horaires de fermetures, pour travaux ou entretien, des sections autoroutières.

7. Car-pool et priorité aux transports en commun

Trois sortes d'aménagements ont été mis en place afin de faciliter la circulation des carpools, vanpools et autobus :
- les priorités aux accès
- les voies réservées
- les chaussées réservées.

Les priorités aux accès

Quelques accès sont exclusivement réservés aux bus et carpools.

Sur d'autres, une voies prioritaire est affectée à ces véhicules afin qu'ils ne subissent pas l'attente due au contrôle d'accès.

Les voies réservées

Il y a plus de voies réservées aux carpools dans l'Etat de Californie que dans les 49 autres Etats.

- Réalisation

Les voies pour les carpools sont situées à l'extrême gauche de la chaussée. Elles ont été réalisées en général par l'adjonction d'une voie supplémentaire, moyennant une réduction de largeur des bandes d'arrêt d'urgence (de gauche et de droite) et éventuellement des autres voies de circulation (largeur normale 3,65m)*.

Les D.B.A. protégeant les piles de pont et les pieds de portique créent des saillies qui tangentent fréquemment la voie carpool.

Les coûts de construction sont très variables. Exemples :

Numéro d'autoroute	Longueur de la voie	Dépenses (en dollars 85)	
		Construction	Signalisation
10	2 x 11 miles	65 000 k	
55	10,9 x 11,9 miles	250 k	28 k
91	8,5 miles	250 k	10 k

* après plusieurs expériences malheureuses, qui consistaient à affecter une voie existante aux car-pools, on considère que l'adjonction d'une voie car-pool est la seule méthode praticable car n'entraînant pas de rejet de la part des usagers.

- Règlementation et fonctionnement

Ces voies sont ouvertes au bus, vanpools et véhicules ayant au moint deux (autoroutes n° 55 et 91) ou trois (autoroutes n° 10 et 110) personnes à bord.

Les prescriptions sont valables durant toute la journée ou durant simplement certaines heures de pointe.

La voie est séparée des autres par une double ligne jaune. Celle-ci s'interrompt à distance régulière afin de permettre "théoriquement" l'entrée et la sortie des véhicules.

Différents dispositifs peuvent mentionner les prescriptions :
- marquage au sol: inscription "carpool only" ou losange blanc;
- panneaux fixes sur portique avec horaires et nombre de personnes minimum à bord;
- Panneaux à volet mobile sur DBA du TPC. Sur l'autoroute n° 91, 34 panneaux sont ouverts et fermés manuellement chaque jour (à 14h et 17h).

- Fréquentation

Durant les heures de pointe, le trafic dépasse 1 000 véhicules/heures.

- Sécurité

Malgré la grande hétérogénéïté des vitesses entre voies, les statistiques d'accidents ne font pas apparaître des variations significatives avant et après ouverture d'une voie réservée.

- Violation

Des renfoncements ont été créés afin que la police puisse s'arrêter et verbaliser les contrevenants.

D'après les comptages effectués, le taux de violation varie entre 4 et 10%. Il est plus élevé le matin que le soir.

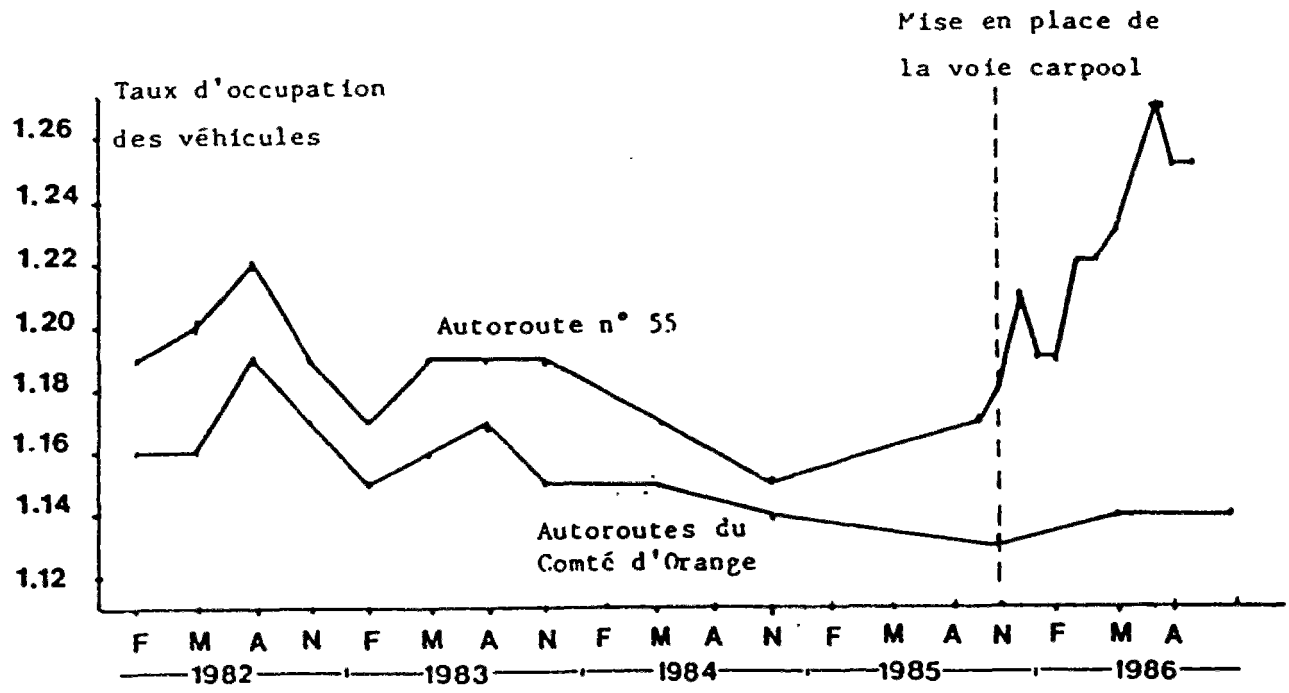
Il nous a été indiqué une méthode bien particulière pour lutter contre les contrevenants dans l'Etat de Washington. Les numéros d'immatriculation des véhicules en infraction sont relevés par des automobilistes et adressés au service de police. La police envoie aux propriétaires des véhicules une lettre d'avertissement. Au troisième rappel, une contravention est dressée.

Moyenne des trafics au cours de l'heure la plus chargée.

	Carpools	Vanpools	Autobus	Véhicules en infraction	Total
Autoroute n°10	864	73	74	93	1 104
Autoroute n°55	1 534	29	4	70	1 637
Autoroute n°91	1 366	52	10	61	1 489

Sur l'autoroute n° 55, un rapport décrivant les performances de la voie carpool montre qu'au bout de neuf mois de fonctionnement :

le taux d'occupation général des véhicules est passé de 1,17 à 1,25
le trafic de la voie carpool a augmenté de 48% à l'heure de pointe du matin et 76% au cours de l'après-midi.



Les chaussées réservées

Sur l'autoroute n° 110, une chaussée réservée aux bus et carpools a été construite sur 10,3 miles dans chacun des deux sens.

Cette infrastructure spécifique comporte des stations de bus, d'imposants cheminements piétons avec ascenseurs et des grands ouvrages d'art aux entrées et sorties.

Le coût de construction est de 487,6 millions de dollars.

8. Stratégie de Délestage

L'incitation au délestage a lieu :
- lors de la congestion récurrente grâce au système de contrôle d'accès dont l'un des objectifs est de reporter en aval des têtes de bouchon le trafic désirant entrer sur l'autoroute (moyen indirect).
- lors de la congestion non récurrente lorsque des équipes d'intervention proposent des itinéraires de délestages préétudiés (moyen direct par PMV mobiles, voir paragraphe 4 précédent).

9. Poste de contrôle

Ce centre de contrôle n'est ouvert ni la nuit, ni les week-ends, sauf évènement particulier.

Un officier de police est en permanence présent pour assurer la coordination entre le centre de contrôle, les unités de police qui patrouillent et le PC de police. Trois officiers assurent cette mission à tour de rôle.

Le service de maintenance (*) fonctionne 24h sur 24.

Un synoptique mural donne l'état du trafic suivant trois régimes (vert : vitesse supérieure à 35 miles/h - jaune : vitesse comprise entre 20 et 35 miles/h - rouge : vitesse inférieure à 20 miles/h.

Une lampe rouge clignotante indique un changement brutal de débit entre deux

* le terme américain "maintenance" inclut l'entretien de la voirie et la maintenance des équipements inertes et dynamiques.

stations consécutives. Lorsqu'un PMV est activé, la lampe bleue qui lui est associée est allumée.

Il est possible de garder en mémoire l'état du synoptique à un moment donné. Différentes configurations (accident, congestion récurrente...) enregistrées nous ont été présentées.

Un nouveau logiciel a été installé en 1985. Il a permis de développer la surveillance du réseau grâce aux traitements des mesures délivrées par les capteurs de trafic. Le système informatique est constitué de 2 mini ordinateurs MODCOMP de 1 Mo de CPU chacun, dont un en back-up. Il y a 3 disques durs de 100 Mo + 2 floppy disks de 20 Mo prévus.

Les fonctions du centre de contrôle sont donc :

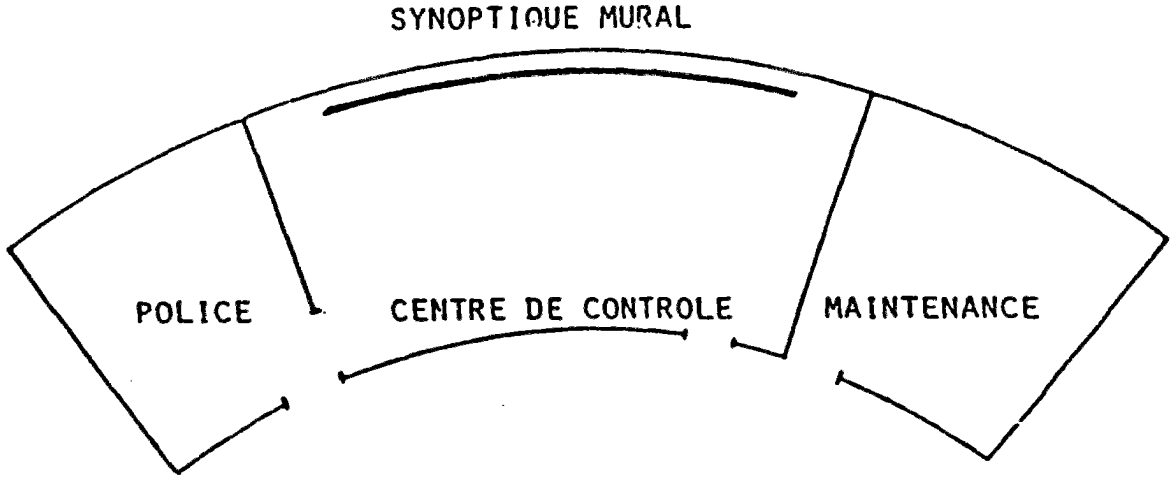
- la surveillance du fonctionnement du réseau grâce au synoptique et aux moniteurs vidéo

- l'alerte des forces de police et du MITMT en cas de présomption d'accident

- l'information des média, des automobiles clubs et des compagnies de bus par télétype

- la gestion des PMV

- la gestion du contrôle d'accès du fait de la possibilité d'intervenir sur les paramètres des programmes.



10. Organisation fonctionnelle

Le District 7 de CALTRANS (15 000 employés au total) dispose de 2 750 personnes environ :

- Direction : 25
- Maintenance : 1 200
- Opérations : 300
- Programmation : 130
- Service juridique : 300
- Projet : 470
- Administration : 320

Un autre département de 1 600 personnes environ a en charge la construction, l'entretien des chaussées et les aménagements du réseau.

11. Evaluation

On évalue les économies apportées par le système à 10 millions de vxh/an (45 000 vxh/j) en congestion récurrente et 2,5 millions de vxh/an en congestion sur incidents (travaux, accidents).

12. Aspects Financiers

	Objectif : réduction de la congestion	
	non récurrente	récurrente
Coût d'investissement des systèmes d'exploitation :		
surveillance du réseau et contrôles d'accès	6 200 000	5 600 000
caméras	1 200 000	
P.M.V.	2 250 000	
MITMT	250 000	
PLCU	250 000	
autres (informatique spécialisée..)	662 500	662 500
TOTAL	11 062 500	6 262 500
	17 325 000 §	
Coût annuel de fonctionnement		
centre de contrôle	200 000	
téléphone	75 000	75 000
informatique	45 000	45 000
caméras	110 000	
MITMT *	100 000	
P.L.C.U.	240 000	
contrôle d'accès		360 000
surveillance du réseau		540 000
TOTAL	770 000	1 020 000
	1 790 000 §	
Coût annuel de la maintenance		
caméras, câbles de transmission	390 000	
boucles		450 000
informatique, synoptique mural	135 000	
TOTAL	525 000	450 000
	975 000 §	

Un important programme de développement des systèmes d'exploitation est en cours de discussion

		Réduction de la congestion	
		non récurrente	récurrente
Investissement projeté (en dollars)	cinq prochaines années	12 150 000	5 150 000
	cinq années suivantes	7 200 000	2 000 000

Les dépenses de construction sont supportées par l'Etat Fédéral. Par contre l'Etat de Californie prend à sa charge les dépenses de fonctionnement et de maintenance.

13. Consultants - Maîtres d'Oeuvre

L'équipe du Pr. MAY de Berkeley est associé en permanence aux développements du système.

14. Observations Générales

De gros investissements ont été consentis afin d'assurer un bon niveau de service.

Il y a encore actuellement la volonté de développer fortement les systèmes et équipements d'exploitation.

L'exploitation sous accident fait l'objet d'un effort très important. On a pu noter en particulier l'efficience de l'organisation et des procédures mises en place. Paradoxalement, il n'existe pas de gestion coordonée du réseau autoroutier et des 800 miles de conventional state highways.

Bien qu'il y ait un recueil de données très étendu et dense, le traitement de ces données demeure assez rustique : ni gestion globale des contrôles d'accès, ni synthèse systématique de l'état du réseau comme à CHICAGO, ni procédure automatique ou semi-automatique d'affichage de certains messages sur les PMV.

En dépit de l'étendue du réseau autoroutier, il n'existe qu'un seul centre d'exploitation. Cette centralisation a l'avantage de faciliter une bonne coordination avec la police autoroutière et permet au centre d'être ouvert sur une longue place horaire.

Le centre de contrôle ne joue qu'un rôle de coordination. Les actions d'exploitation en cas d'accidents se prennent sur le terrain.

14. Documentation -Correspondants

- "LONG RANGE OPERATIONS PLANS" D.O.T. of California, District 7 - T.O.S. Rapport 85-2 September, 1985. Document très intéressant faisant le bilan du système et proposant son extension

- "FREEWAY OPERATIONAL ACTIVITIES OF CALIFORNIA DOT - Janvier 1986" Document interne

- ELECTRONIC AIDS ON CALIFORNIA FREEWAYS" - May et alii OECD/ECE/ECMT International Symposium - Paris - Juin, 1985

- "ROUTE 55 COMMUTER LANE DEMONSTRATION PROJECT - OPERATIONAL REPORT BASED ON 9 MONTHS USE" - Ron KLUSZA - CALTRANS - Novembre, 1986

Mr D.C. BUTLER
Chief Traffic Operations Systems
California DOT
120 South Spring Stereet, LA
CA 90012, U.S.A.
Tél. (213) 620 51 38

Annexe N° 9

FICHES D'ANALYSE DES MODELES DYNAMIQUES DE TRAFIC AUTOROUTIER EXISTANTS

Modèles :

- INTRAS
- KRONOS
- MARC-FREFLO
- META
- SIMAUT
- METANET
- SIMRES
- INTEGRATION
- MCONTRAM
- METACOR

MODELE	INTRAS
REFERENCES	- WICKS D.A. and al. (1977), "Development and testing of INTRAS, a microscopic freeway simulation model", National Technical Information Service, Springfield, Virginia. - WICKS D.A. and LIEBERMAN E. (1980), "Development and Testing of INTRAS, a microscopic freeway simulation model", vol. 1, Program Design, parameter calibration, and freeway dynamics component development, FHWA, 1980.
OBJECTIFS	- évaluation des modifications géographiques du réseau, - évaluation des stratégies de régulation (contrôle d'accès), - évaluation des stratégies de gestion des incidents (accidents et travaux).
APPROCHE DE MODELISATION	- microscopique, stochastique, dynamique. - Les véhicules sont déplacés individuellement, selon des algorithmes de poursuite et de changement de files.
DONNEES D'ENTREE	- configuration géographique du réseau(longueur, nombre de voies, capacité, vitesse limitée...), - débit sur l'axe autoroutier principal et sur les bretelles d'accès, - pourcentage de véhicules aux bretelles de sortie.
DONNEES DE SORTIE	pour chaque tronçon : - vitesse moyenne, - densité des véhicules, - consommation de carburant.
DOMAINES D'UTILISATION	- évaluation des stratégies de contrôle d'accès, - simulation des influences des incidents, - études d'aménagement du réseau, - évaluation de la performance du fonctionnement des autoroutes.
VALIDATION	oui
APPLICATION	- dans l'élaboration de directives relatives à la position des boucles de détection sur les autoroutes urbaines, - dans l'évaluation des alternatives d'extension d'une autoroute urbaine.
DOCUMENTATION	- partielle.
FACILITE D'UTILISATION	- difficile à calibrer, - pas de version pour micro-ordinateur.
LIMITATION	- nécessité de mémoire importante au niveau informatique, - temps de calcul long.

MODELE	KRONOS
REFERENCES	P. MICHALOPOULOS and al., "Enhancement and Field Testing of a Dynamic Freeway Simulation Program", Transportation research Record, n° 1320, TRB 1991, pp. 203-215.
OBJECTIFS	- offrir un outil sur micro-ordinateur, - développement et évaluation des différents projets de construction et des différents systèmes de gestion de trafic, - développement et analyse des mesures d'exploitation comme stratégies de contrôle d'accès, gestion des incidents...
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - simulation des phénomènes complexe tels que : changement de voie, onde de choc, convergents et divergents autoroutiers, - prise en compte des bouchons aux accès.
DONNEES D'ENTREE	- configuration du réseau à l'aide du menu, - les tronçons avec les renseignements (longueur, nombre de voies, capacité, vitesse limitée...), - matrice O/D - données 5 minutes du débit et du taux d'occupation pour les sections courantes et du débit aux rampes d'entrée et de sortie.
DONNEES DE SORTIE	- indicateurs de performance du réseau (distance totale parcourue, temps de parcours moyen, retards), - longueur de bouchon sur chaque accès, - graphiques de l'évolution de débit, de concentration et de vitesse dans l'espace et dans le temps.
DOMAINES D'UTILISATION	- développement et évaluation des stratégies de contrôle d'accès, - simulation des influences des incidents, - études d'aménagement du réseau, - évaluation de la performance du fonctionnement des autoroutes, - outil de recherche pour étudier les caractéristiques du trafic.
VALIDATION	1991 : autoroute I-35W à Minnesota
APPLICATION	
DOCUMENTATION	- Développement des modèles, - Description des logiciels.
FACILITE D'UTILISATION	facile
LIMITATIONS	Actuellement, la longueur d'autoroute pouvant être simuler se limite à 15 km avec un nombre maximum de 20 entrées et de 20 sorties.

MODELE	MARC-FREFLO
REFERENCES	A. D. MAY. "Models for Freeway Corridor Analysis", in "The Application of Traffic Simulation Models", Special Report 194, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1981. pp. 18-30.
OBJECTIFS	- évaluer des stratégies de contrôle d'accès en ces d'incidents et de congestions récurrentes, - calculer des indicateurs de déplacement, - calculer la consommation de carburant et l'indicateur de pollution.
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - équations de base : loi de conservation des véhicules, - les flots de véhicules sont simulés au moyen d'une relation vitesse - concentration et selon la théorie hydrodynamique. - simulation de l'écoulement du trafic sur les accès, - prise en compte des incidents, - traitement spécifique des divergents et des convergents.
DONNEES D'ENTREE	- configuration du réseau (sections courantes, rampes d'accès), - les tronçons avec les renseignements (longueur, nombre de voies, capacité, vitesse limitée...).
DONNEES DE SORTIE	- indicateurs de performance du réseau (déplacement global, temps de déplacement global, retards),
DOMAINES D'UTILISATION	- développement et évaluation des stratégies de contrôle d'accès, - simulation des influences des incidents, - évaluation de la performance du fonctionnement des autoroutes.
VALIDATION	Caltrans : Projet de régulation d'accès en ligne
APPLICATION	- NCHRP projet - Queen Elizabeth Way in Ontario, Canada.
DOCUMENTATION	- Développement des modèles, - Description des logiciels, - Guide d'utilisation.
FACILITE D'UTILISATION	moyenne
LIMITATIONS	pas de version pour micro-ordinateur

MODELE	META
REFERENCES	DRIVE project (V 1035), "CHRISTIANE", "Software for Traffic Flow Modelling on Linear Motoway : META et SIMAUT", Octobre, 1990.
OBJECTIFS	- Simulation de l'écoulement du trafic sur un tronçon d'autoroute
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, développé à partir de modèle de PAYNE - équations de base : loi de conservation des véhicules, - théorie hydrodynamique, - prise en compte des influences des rétrécissements ou élargissement de la chaussée (nombre de voies), - module de calibrage automatique des paramètres.
DONNEES D'ENTREE	- configuration (découpage d'une autoroute en sections) - caractéristiques géographiques de chaque section (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - débit et taux d'occupation sur l'entrée et sortie principale de l'autoroute; débit et taux d'occupation pour chaque entrée et sortie.
DONNEES DE SORTIE	- variation du débit, du taux d'occupation et de la vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de performance du réseau (déplacement global, temps de déplacement global, retards),
DOMAINES D'UTILISATION	- outil de simulation pour tester l'efficacité des stratégies coordonnées de contrôle d'accès avec des données historiques, - utilisation en ligne pour la reconstitution des conditions de circulation entre deux stations distantes (de 2 à 10 km), - simulation des influences des incidents (travaux, accidents), - évaluation de la performance du fonctionnement des autoroutes,
VALIDATION	- Boulevard Périphérique de Paris, - Autoroute A1 et a13 en Ile-de-France, - Autoroute M6 à Londres
APPLICATION	Projet de recherche : "Modelling and real-time control of traffic flow on the Southern part of Boulevard Périphérique de Paris", 1988.
DOCUMENTATION	- Développement des modèles, - Description des logiciels, - Guide d'utilisation.
FACILITE D'UTILISATION	- un modèle plutôt qu'un outil opérationnel, - pas facile du point de vue de l'interface avec l'utilisateur
LIMITATIONS	valable pour un tronçon d'autoroute de moins de 20 km

MODELE	SIMAUT
REFERENCES	DRIVE project (V 1035), "CHRISTIANE", "Software for Traffic Flow Modelling on Linear Motoway : META et SIMAUT", Octobre, 1990.
OBJECTIFS	- Simulation de l'écoulement du trafic sur un tronçon d'autoroute - simulation des effets des mesures d'exploitation comme contrôle d'accès, action d'exploitation sous chantier, etc., - reconstitution réaliste des longueurs de retenus et des types de parcours.
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - L'écoulement du trafic est caractérisé par un diagramme fondamental, expression d'une relation fonctionnelle entre le débit et la concentration. - Le modèle propage des ondes de débits selon la théorie hydrodynamique. - l'approche pour le traitement des fronts d'onde : événementielle.
DONNEES D'ENTREE	- configuration (découpage d'une autoroute en sections) - caractéristiques géographiques de chaque section (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - pour chaque section : capacité, concentration maximale, concentration critique, - pourcentage directionnel, - débit et taux d'occupation sur l'entrée et sortie principale de l'autoroute; débit et taux d'occupation pour chaque entrée et sortie.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'occupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs de fonctionnement du réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau.
DOMAINES D'UTILISATION	- évaluation des stratégies de contrôles d'accès, - prévision du trafic, - gestion des incidents, - évaluation de la performance du réseau.
VALIDATION	- Autoroute A1, A13 et a4 en Ile-de-France, - Autoroute M6 à Londres.
APPLICATION	
DOCUMENTATION	- Développement des modèles, - Description des logiciels
FACILITE D'UTILISATION	- pas facile du point de vue de l'interface avec l'utilisateur - un modèle plutôt qu'un outil
LIMITATIONS	dépendante de la capacité d'ordinateur

MODELE	METANET
REFERENCES	A. Messmer, M. Papageorgiou, METANET : macroscopic simulation program for motoway networks; Traffic Engineering and Control, Aug./Sep. 1990, Vol. 31, n° 8/9, pp. 466-470.
OBJECTIFS	- Simulation de l'écoulement du trafic sur un réseau maillé d'autoroutes - outil de développement et d'évaluation des mesures d'exploitation, - simulation en ligne pour les systèmes d'information.
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - prise en compte de la matrice O/D, - itinéraires alternatifs pour une paire de O/D, - prise en compte des rétrécissements et des stratégies de contrôle d'accès, - affectation simplifiée des itinéraires, - algorithme intégré et simple de déviation, - possibilité de choix des stratégies (contrôle d'accès, déviation, guidage, limitation de vitesse).
DONNEES D'ENTREE	- configuration du réseau, - description du réseau (noeuds, tronçons) - caractéristiques géographiques de chaque tronçon (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - diagramme fondamental, - pourcentage directionnel ou matrice O/D, - débit et taux d'occupation sur l'entrée et sortie principale de l'autoroute; débit et taux d'occupation pour chaque entrée et sortie.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'occupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs du fonctionnement de réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau.
DOMAINES D'UTILISATION	- évaluation des stratégies de contrôles d'accès, - évaluation des systèmes d'information tel SIRIUS, - gestion des incidents, - évaluation de la performance du réseau.
VALIDATION	Autoroute A6a et A6b en Ile-de-France
APPLICATION	
DOCUMENTATION	- Développement des modèles, - Description des logiciels - Guide d'utilisation (80 pages)
FACILITE D'UTILISATION	- version pour micro-ordinateur avec coprocesseur - version pour VAX HP 9000
LIMITATIONS	- pas de prise en compte explicite des effets des poids lourds,

MODELE	SIMRES
REFERENCES	BARADEL B., "Modélisation du trafic sur autoroutes maillées en milieu périurbaine et gestion du trafic par des Panneaux à Messages Variables", Séminaire sur Modélisation des Réseaux et des Flux, ENPC, Paris, le 22 Septembre 1992, Paris.
OBJECTIFS	- Simulation de l'écoulement du trafic sur un réseau maillé d'autoroutes, - Aide l'opérateur à analyser la situation de l'écoulement du trafic, - Permettant d'anticiper des évolutions du trafic, - Proposition en ligne des stratégies de contrôle d'accès et de système d'information.
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - prise en compte de la matrice O/D, - itinéraires alternatifs pour une paire de O/D, - modélisation du système de PMV, - simulation du comportement des usagers.
DONNEES D'ENTREE	- configuration du réseau, - description du réseau (noeuds, tronçons) - caractéristiques géographiques de chaque tronçon (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - diagramme fondamental, - débit et taux d'occupation sur entrée et sortie principale de l'autoroute, - débit et taux d'occupation sur chaque entrée et sortie, - matrice O/D ou pourcentage directionnel.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'occupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs de fonctionnement du réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau, - localisation spatio-temporelle des bouchons.
DOMAINES D'UTILISATION	- évaluation des stratégies de contrôles d'accès, - évaluation des systèmes d'exploitation comme SIRIUS, - gestion des incidents, - évaluation de la performance du réseau, - modélisation de l'impact des PMV, - guidage collectif.
VALIDATION	en cours
APPLICATION	
DOCUMENTATION	Développement des modèles
FACILITE D'UTILISATION	
LIMITATIONS	

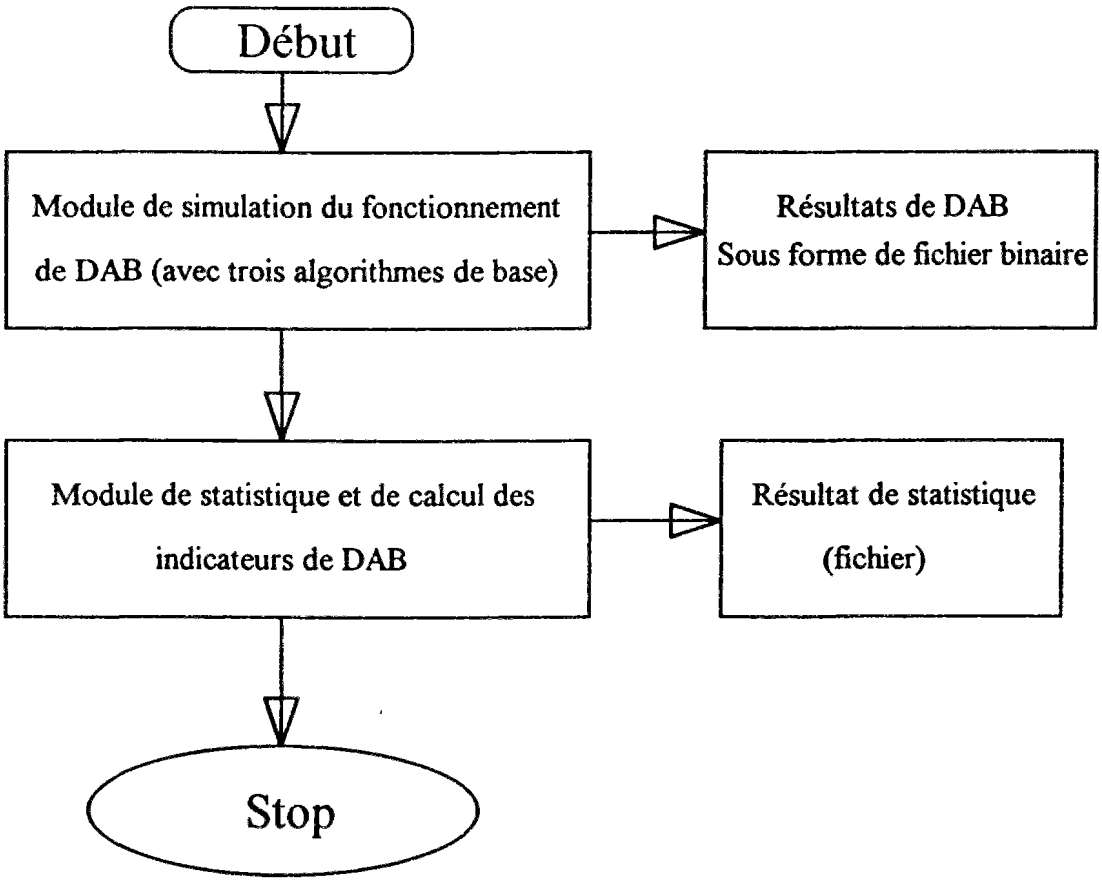
MODELE	INTEGRATION
REFERENCES	M. VAN AERDE and S. YAGAR, "Dynamic Integrated Freeway/Traffic Signal Network : A routing-Based modelling Approach", Transportation Research, Vol. 22A, 1988.
OBJECTIFS	**Simulation** de l'écoulement et **affectation** du trafic sur un réseau composé d'autoroutes et des routes à carrefours afin d'une gestion intégrée
APPROCHE DE MODELISATION	- microscopique, déterministe, statique ou dynamique (choix laissé à l'utilisateur), - prise en compte explicite de la longueur de bouchon ou le retard dans l'affectation du trafic, - ne pas se baser sur une approche discrétisée (en tranche de temps), - prise en compte des incidents par une réduction de la capacité, - distinction de plusieurs catégories d'usager (véhicules informés et ceux non informés), - technique intégrée de la génération de matrice O/D synthétisée, - module d'optimisation, - fichier de description des incidents.
DONNEES D'ENTREE	- description du réseau (noeuds, tronçons) - caractéristiques géographiques de chaque tronçon (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - diagramme fondamental, - débit et taux d'occupation sur l'entrée et sortie principale de l'autoroute; débit et taux d'occupation pour chaque entrée et sortie, - plan de feux pour réseaux associés.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'occupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs de fonctionnement du réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau, - localisation spatio-temporelle des bouchons.
DOMAINES D'UTILISATION	- développement et évaluation des stratégies intégrées de gestion du trafic sur autoroute et sur réseau associé, - gestion efficace des incidents, - évaluation de la performance du réseau, - modélisation de l'impact des PMV, - guidage collectif.
VALIDATION	oui
APPLICATION	Burlington Skyway, Hamilton, Ontario, Canada, SIRIUS
DOCUMENTATION	Développement du modèle
FACILITE D'UTILISATION	- version micro-ordinateur, - version mini-ordinateur.
LIMITATIONS	- nécessité de mémoire excessive au niveau d'ordinateur, - temps de calcul long

MODELE	MCONTRAM
REFERENCES	N.B. TAYLOR (1990), "CONTRAM 5 : An enhanced traffic assignement model", TRL Research Report RR249, Transportation Research Laboratory, Crowthorne.
OBJECTIFS	**Simulation** de l'écoulement et **affectation** du trafic sur un réseau composé d'autoroutes et des routes à carrefours
APPROCHE DE MODELISATION	- microscopique, déterministe, dynamique, - L'algorithme d'écoulement du trafic est basé sur des "paquets" de quelques véhicules (moins d'une dizaine) qui ont la même origine et la même destination et que l'on achimine suivant le chemin le plus court et le moins encombré. - distinction de plusieurs catégories de véhicules (voitures, bus, poids lourd), - prise en compte des incidents, - technique intégrée de la génération de matrice O/D synthétisée, - module d'optimisation.
DONNEES D'ENTREE	- description du réseau (noeuds, tronçons) - caractéristiques géographiques de chaque tronçon (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - diagramme fondamental, - débit et taux d'occupation sur l'entrée et sortie principale de l'autoroute; débit et taux d'occupation pour chaque entrée et sortie, - plan de feux pour réseaux associés.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'oqcupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs de fonctionnement du réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau, - localisation spatio-temporelle des bouchons.
DOMAINES D'UTILISATION	- évaluation des politiques de la gestion du trafic et des schémas du développment des réseaux, - développement et évaluation des stratégies intégrées de gestion du trafic sur autoroute et sur réseau associé, - gestion efficace des incidents, - évaluation de la performance du réseau, - guidage "individuel".
VALIDATION	oui
APPLICATION	Londres, Bahrain, Edmonton
DOCUMENTATION	Complète (développement du modèle, manuel d'utilisation)
FACILITE D'UTILISATION	- version pour station de travail. - version pour micro-ordinateur.
LIMITATIONS	- nécessité de mémoire excessive au niveau d'ordinateur, - temps de calcul long.

MODELE	METACOR
REFERENCES	H. HADJ SALEM et al. (1993), "Integrated model development : application to the corridor peripherique test site", DRIVE II Project V 2017, Deliverable 4 / Workpackage N° 3.3, September 1993.
OBJECTIFS	**Simulation** de l'écoulement et **affectation** du trafic sur un réseau composé d'autoroutes et des routes à carrefours pour la conception et l'évaluation des stratégies de gestion du trafic (contrôle d'accès, plan de feu, PMV...).
APPROCHE DE MODELISATION	- macroscopique, déterministe, dynamique, - Le modèle METACOR a été développé par l'extension et surtout l'intégration de deux modèles macroscopiques existants (METENET pour réseau autoroutier et SSMT pour réseau urbain avec des carrefours). - prise en compte des incidents (rétrécissements) et des stratégies de contrôle d'accès, - affectation simplifiée des itinéraires, - possibilité de choix des stratégies (contrôle d'accès, déviation, guidage, limitation de vitesse), - technique intégrée de la génération de matrice O/D synthétisée, - module d'optimisation.
DONNEES D'ENTREE	- description graphique du réseau (noeuds, tronçons) autoroutier et réseau associé, - caractéristiques géographiques de chaque tronçon (longueur, nombre de voies, existence de rampes), - diagramme fondamental, - matrice origine / destination, - débit et vitesse (en option) sur toutes les entrées du corridor; concentration à chaque sortie du corridor, - plan de feux pour réseaux associés.
DONNEES DE SORTIE	- débit, taux d'occupation et vitesse en fonction du temps pour chaque section, - indicateurs de l'écoulement du trafic (temps de parcours glissé, temps de parcours instantané, consommation moyenne de carburant), - indicateurs de fonctionnement du réseau : distance totale parcourue, temps moyen de présence d'un véhicule sur le réseau, - localisation spatio-temporelle des bouchons.
DOMAINES D'UTILISATION	- développement et évaluation des stratégies intégrées de gestion du trafic sur autoroute et sur réseau associé, - gestion efficace des incidents (accidents, travaux...), - évaluation de la performance du réseau, - stratégies d'utilisation des PMV.
VALIDATION	oui
APPLICATION	Corridor Périphérique (Paris), Alleborg (Danemark) et Ecossais (Angleterre)
DOCUMENTATION	non
FACILITE D'UTILISATION	- version pour station de travail, - version pour micro-ordinateur.
LIMITATIONS	pas de distinction entre différents catégories de véhicules (voitures particulières et poids lourds).

Annexe N° 10

SCHEMA DU PROGRAMME DE SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DE LA DAB



Annexe N° 11

CARTES DE BOUCHONS POUR LES DIX JOURS DE TESTS

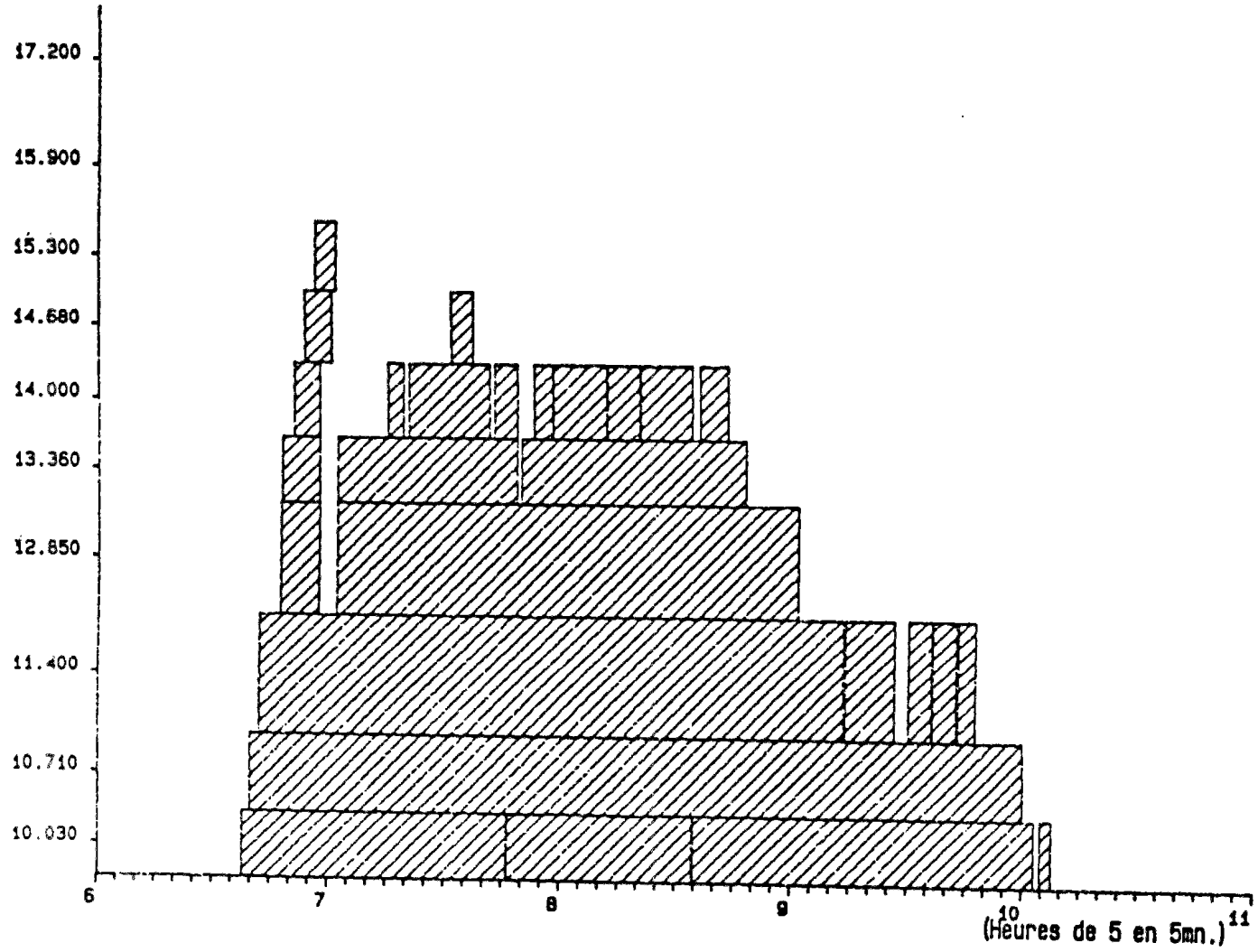
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 10-5-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



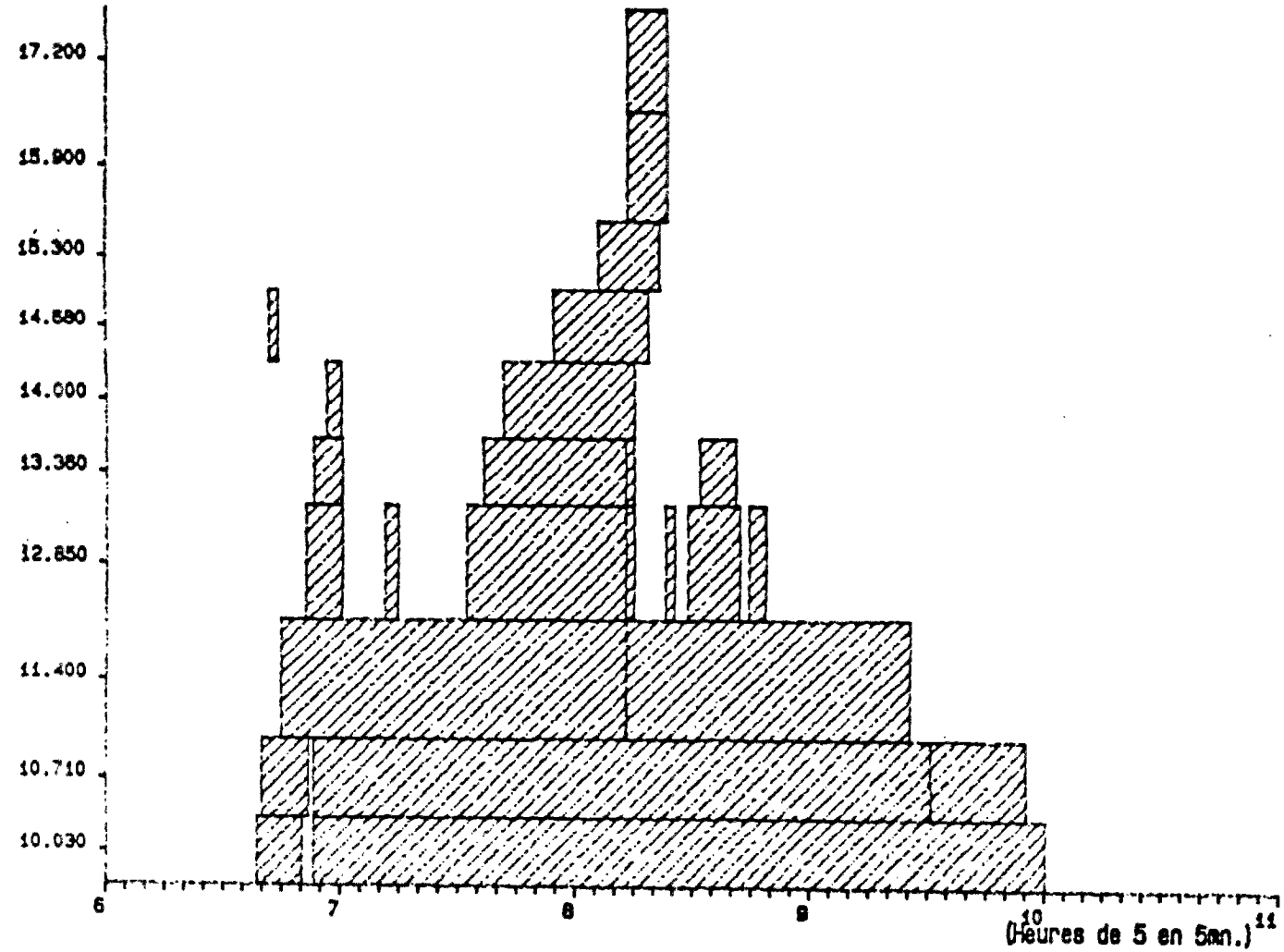
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 4-5-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (Voie, s3=3, s4=6 et avec lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



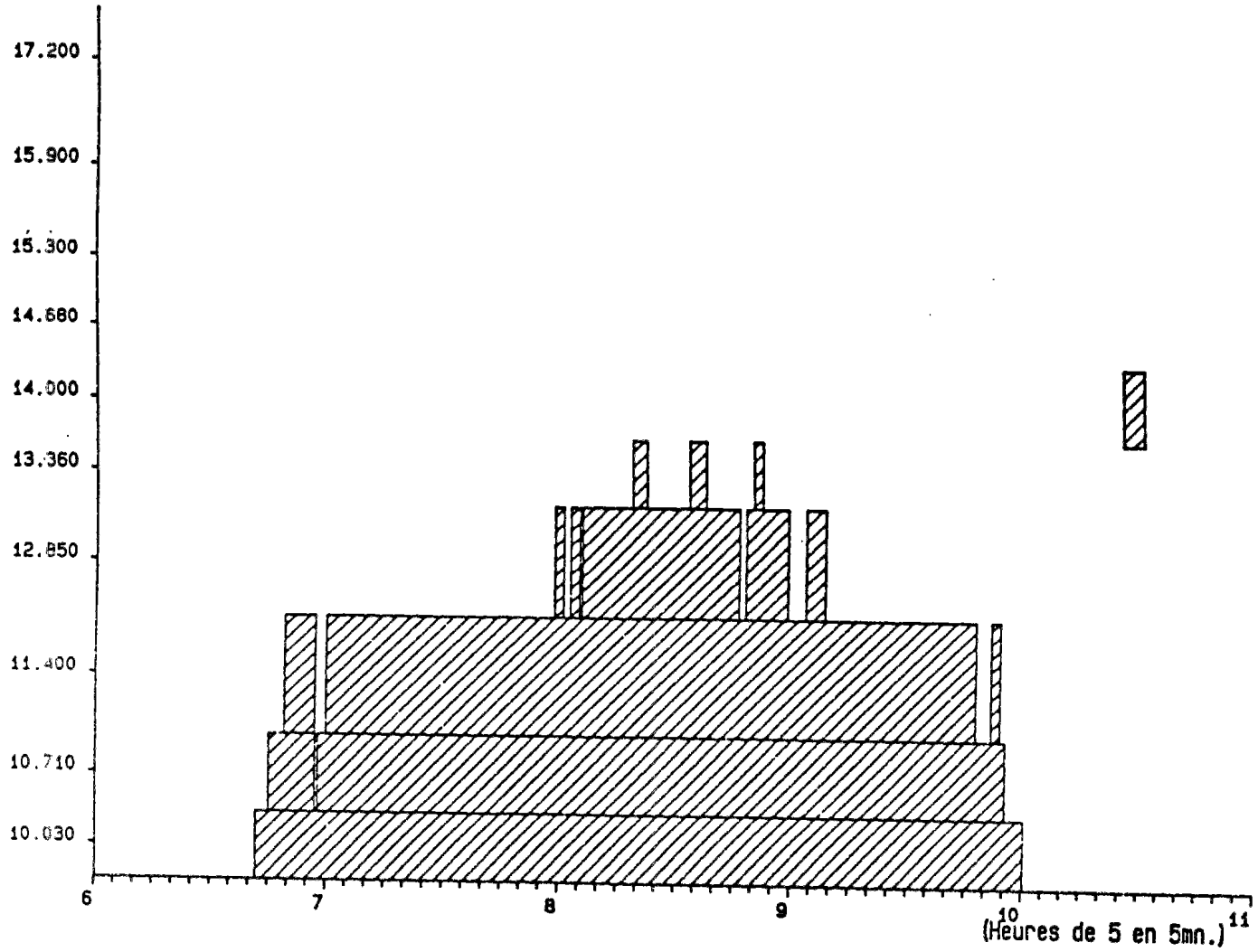
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 5-5-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (Voie avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 1 : f(TO, V)



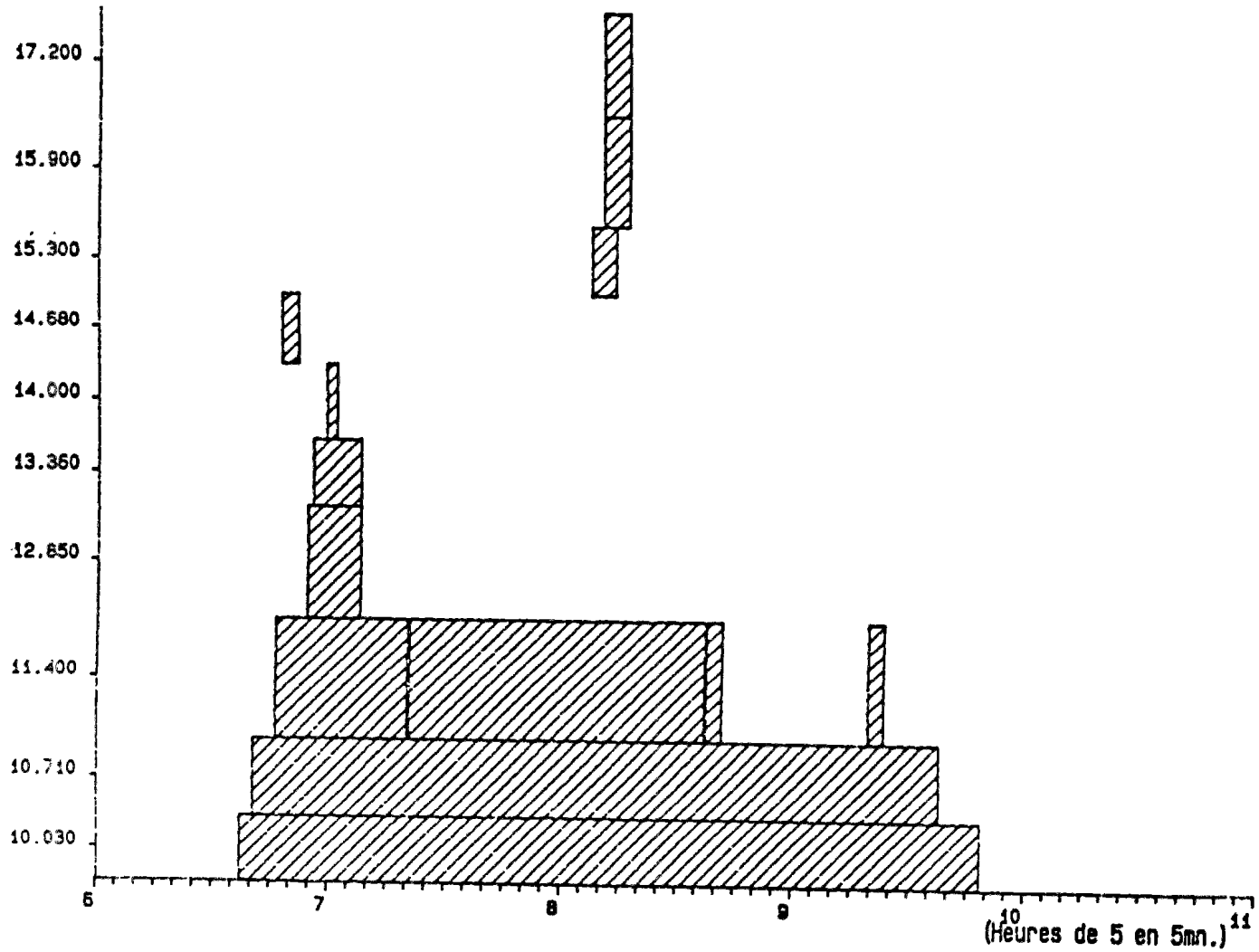
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 7-5-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (Voie avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



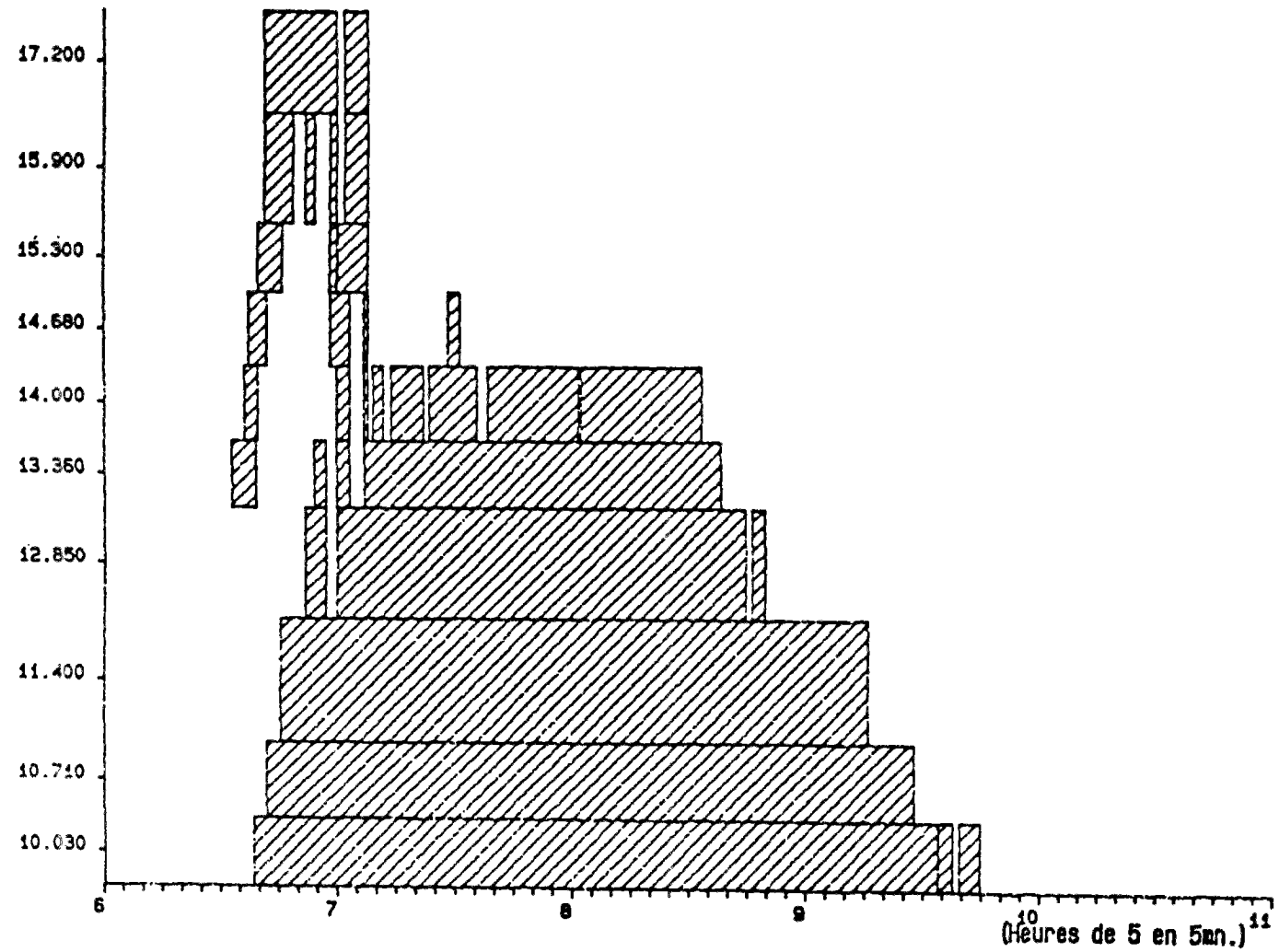
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 7-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(T0)



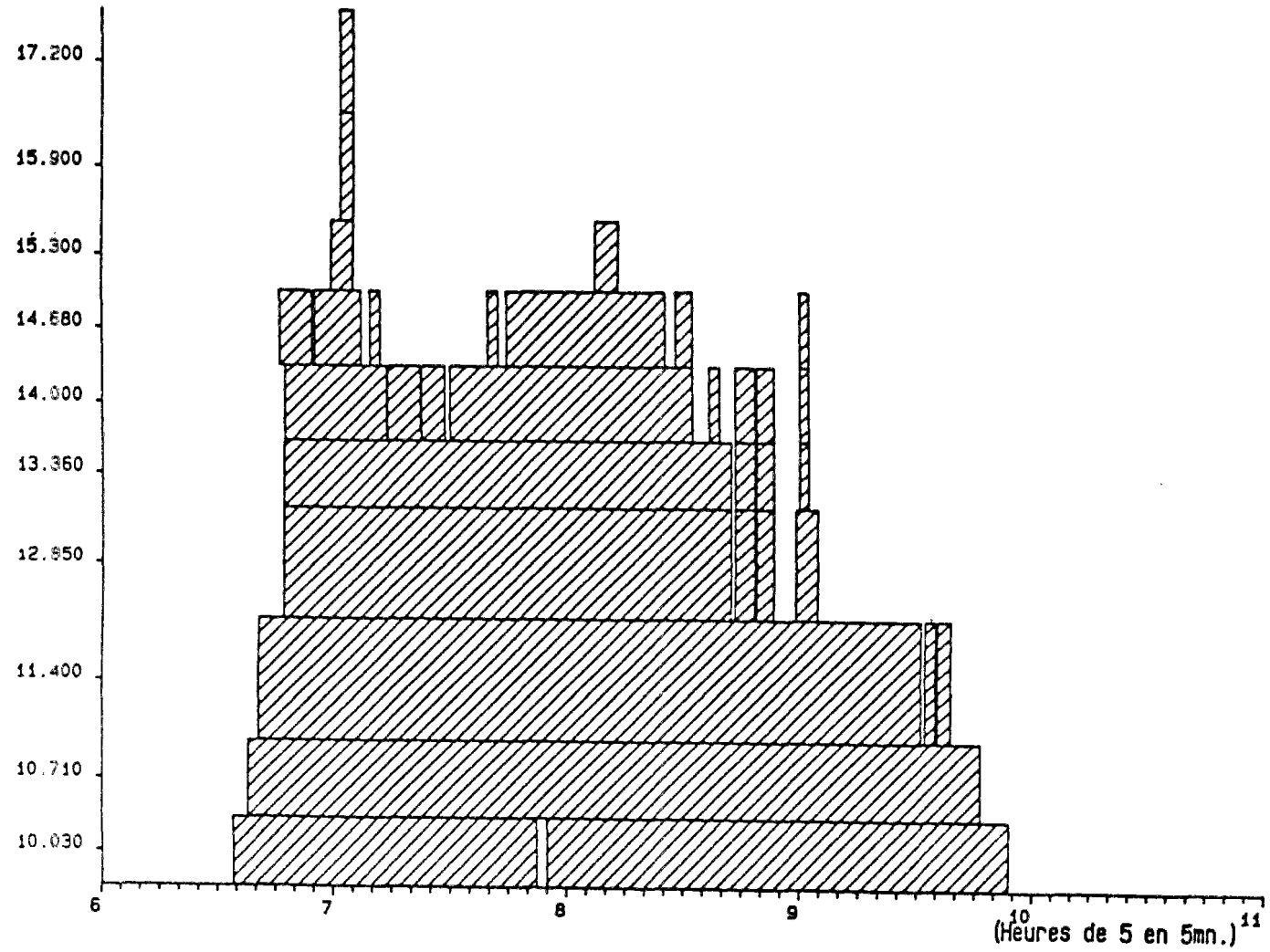
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 8-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



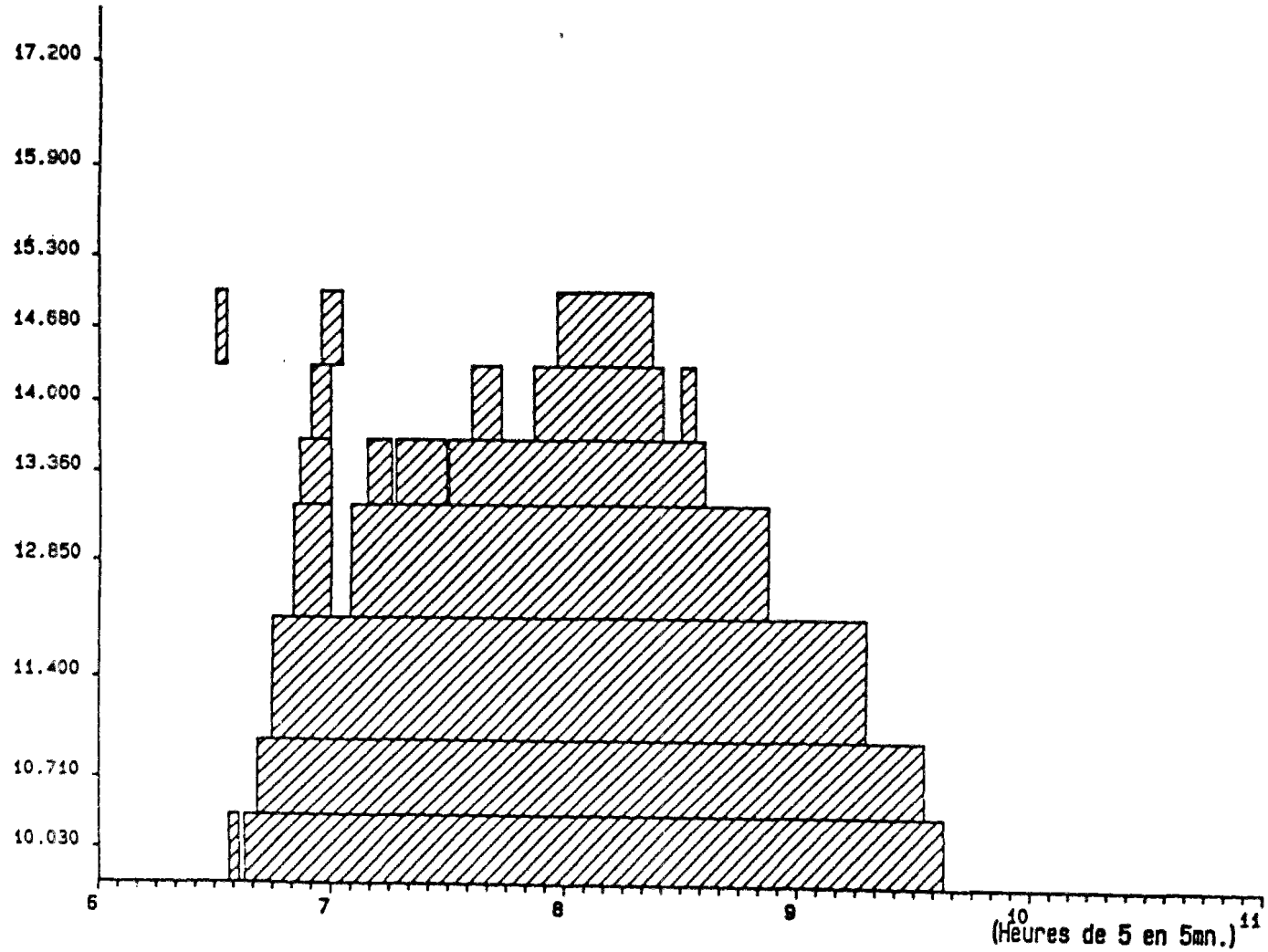
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 9-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



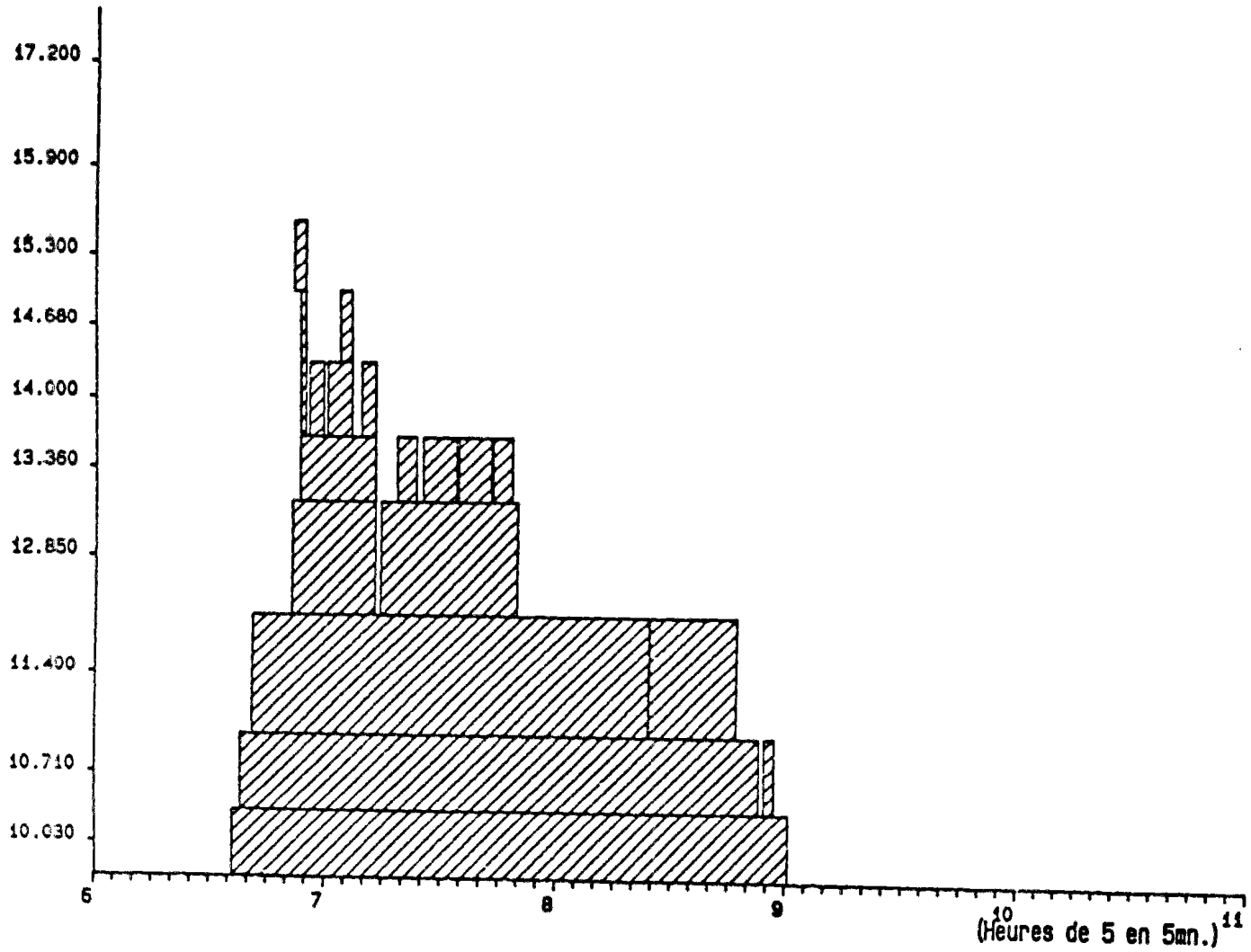
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 23-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



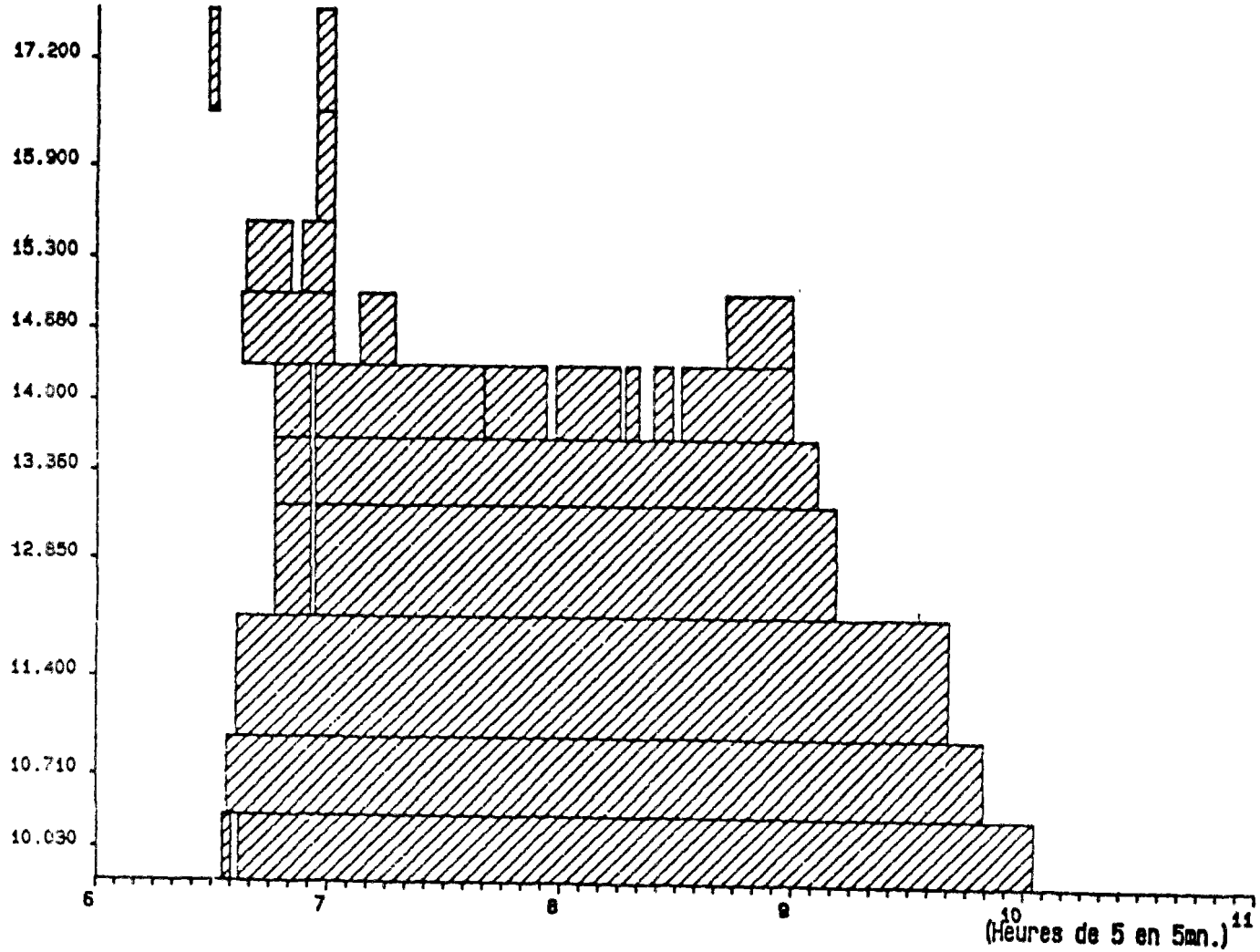
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 24-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(T0)



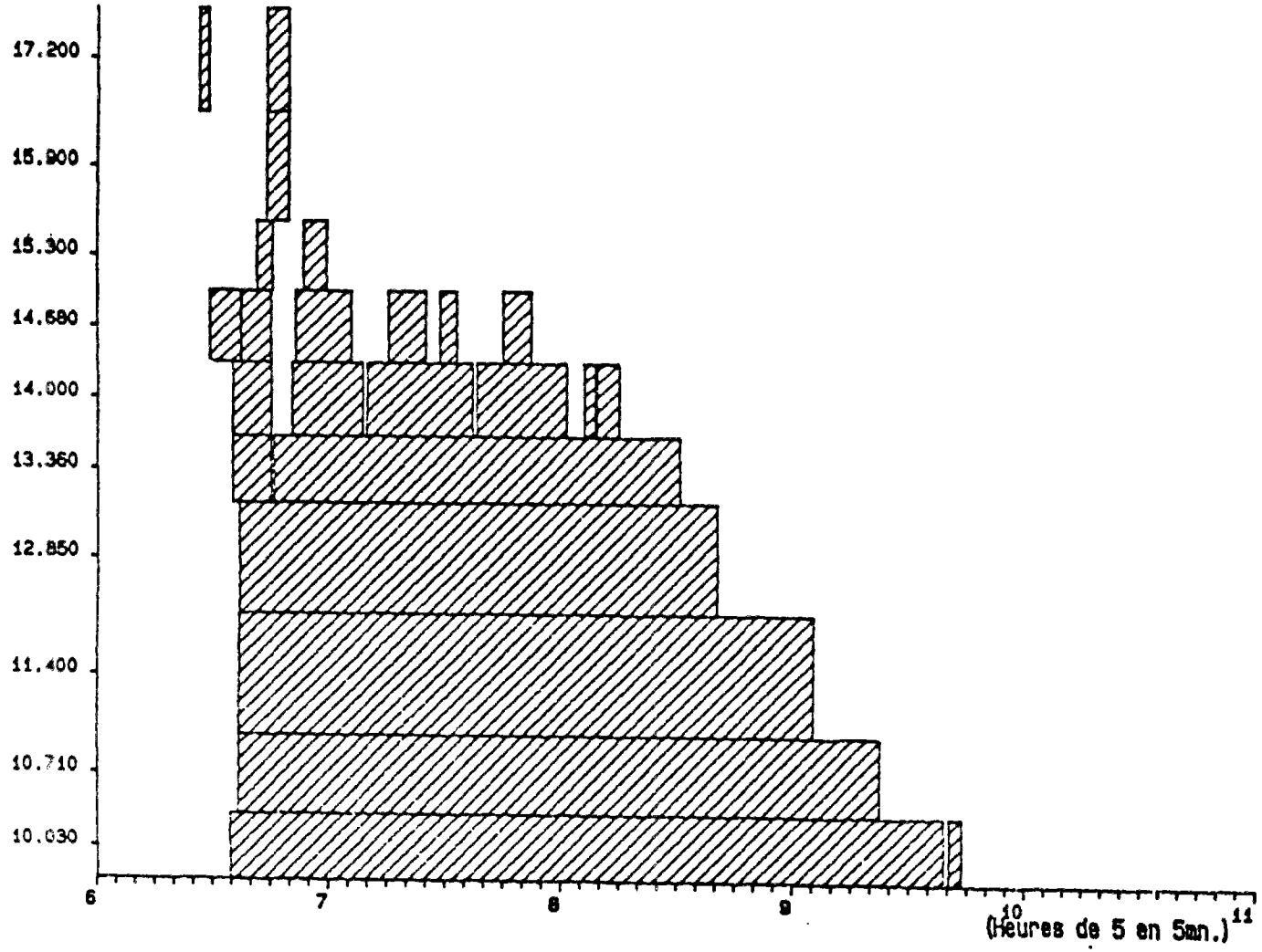
SERVICE INTERDEPARTEMENTAL D'EXPLOITATION ROUTIERE

Axe : A4 sens : W

Le 25-6-1993 entre 6h.0 et 11h.0.

DAB (VOIE avec s3=3, s4=6 et lissage spatial)

Algorithme 2 : f(TO)



Annexe N° 12

GRILLE D'ANALYSE DES CONTRATS DE MAINTENANCE EXISTANTS AU SIER

Nom du marché	-La maintenance des réseaux téléphoniques d'appel d'urgence
Titulaire	-C.S.E.E.
Durée du contrat	-Un an renouvelable (durée maximum : 3 ans) -Ce marché prendra fin en décembre 1992
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenance préventive systématique(aux postes centraux et aux postes d'appel), -Maintenance préventive conditionnelle et maintenance corrective, -Constitution d'une équipe d'intervention, -Rénovation des réseaux, -Remplacement des matériels accidentés, -Modification des réseaux, -Pour les matériels ou équipements sous garantie, c'est le titulaire qui s'en occupe et assure la coordination des interventions des constructeurs, -Ce marché n'inclut pas les réseaux de câbles téléphoniques ni la distribution électrique des centres d'exploitation.
Délai d'intervention du titulaire	-Le délai normal d'intervention est de 8 h maximum, -Délai maximal de 4 h pour les interventions urgentes pendant les heures ouvrables et non ouvrables de jours, -Durée d'intervention la plus courte possible.
Astreinte	-Pas d'astreinte pour la nuit; -Astreinte pour les week-ends et jours fériés.
Disponibilité des matériels ou équipements	-Calcul du taux d'indisponibilité(par réseau et par trimestre) : $I = T_p/T_f \leq 0,2\%$ T_f: somme des temps de fonctionnement des postes, T_p: somme des temps de panne des postes. -Pénalité pour retard: P_r = Prix n°111 x K x R (K: coefficient de majoration du type d'intervention demandé; R: nombre d'heure de dépassement du délai). -Pénalité d'indisponibilité: $P_i = (F_m \times N \times I)/4$; avec P_i : pénalité trimestrielle par réseau; F_m: forfait annuel de maintenance du type de postes concernés; N: nombre de postes du réseau concerné; I: indisponibilité trimestrielle du réseau.
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-pour I > 0,2%, le titulaire doit fournir un rapport justificatif à l'administration(pour les réseaux qui ont plus de 20 postes), -Indisponibilité du dispositif de télésurveillance des postes: le seuil est fixé à 8 heures consécutives(par trimestre).
Procédure de déclenchement d'intervention	-Maintenance préventive systématique: .un planning établi par titulaire en accord avec l'administration . information du responsable de l'administration avant chaque visite. Chaque visite donne lieu à un compte rendu. Par la suite, le titulaire propose les opérations d'intervention, -Interventions de maintenance corrective L'exploitant fait appels par téléphone au centre d'accueil téléphonique centralisé du titulaire. Le dernier communique par EUROSIGNAL ou radiotéléphone le ou les technicien.
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	A la demande de l'administration, pour une période déterminée, le titulaire peut mettre à disposition d'une équipe d'intervention
Fournitures	-Le lot de rechanges est fourni par l'administration. -Le titulaire gère les fournitures dans ses locaux, sous contrôle de l'administration.
Obligation de l'administration	-Fournir les caractéristiques de chaque réseau -Opérations de vérification de l'exécution du programme et de qualité de prestations: .Par se rendre sur terrain et par calculer les taux d'indisponibilité -Réaliser les comptabilités.
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	6,3% (minimum) 21,9%(maximum) 10,3% (taux réel de l'année 1990)

Nom du contrat	Maintenance des équipements de régulation du trafic(En région EST d'Ile de France)
Titulaire	SEMERU
Durée du contrat	Un an renouvelable. Durée maximum du marché est de 3 ans. Il est prolongé jusqu'à fin 1992.
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenance préventive systématique(toutes les opérations de contrôle et de réglage nécessaires définies dans le Mémoire Technique) -Maintenance préventive conditionnelle et maintenance corrective -Autres prestations: Mise à disposition dune équipe d'intervention; Remis en état des matériels accidentés; Assistance technique(expertises-conseils); Développements ou remis à jours de logiciels ainsi que des interfaces systèmes(à la demande de l'administration) -Pour les matériels sous garantie, le titulaire effectue seulement des diagnostics.
Délai d'intervention du titulaire	-Pour la maintenance préventive systématique: délai d'indisponibilité 48 h; -Pour les interventions d'urgence: délai d'intervention maximal est de 4 h après réception de la demande d'intervention; -Durée d'intervention: plus courte possible.
Astreinte	-Non, sauf si par la demande de l'administration.
Disponibilité des matériels ou équipements	-Indisponibilité est calculée par système et par trimestre -Taux d'indisponibilité : $I_{DOP} = T_{POP} / T_{TOP}$; I_{DOP} : taux d'indisponibilité; T_{POP} : temps de service opérationnel correspondant à un service permanent 24h/24h T_{TOP} : temps de panne durant le service opérationnel -Pénalité de retard: Pour les retards de maintenance préventive: Pmp=120xH(nb. d'heures de retard); Retards dans la maintenance corrective:Pmc=600xH (nb. d'heures de retard). -Pénalité pour indisponibilité: $Io = M_{syst} \times I_{DOP}$; avec Io : pénalité trimestrielle; M_{syst} : montant forfaitaire trimestriel par système; I_{DOP}: indisponibilité opérationnelle du système
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	Système — Disponibilité Recueil automatique des données : 95%(E/S) et 98%(DAI) Télévision : 90% PMV/Accès/Radars : 96% Informatique PC : 99%
Procédure de déclenchement d'intervention	-Maintenance préventive systématique: .Suivre le planning dans le Mémoire Technique établi par le titulaire, .Le personnel chargé de la visite doit prévenir le représentant de l'administration dès le début de son intervention; .Chaque visite donne lieu à un rapport de visite. -Maintenance corrective: Pour les heures ouvrables: les demandes passent par télécopie. Le technicien du titulaire effectue l'intervention dans les délais normaux ou d'urgence selon la demande. Pour les astreintes,l'appel est lancé par le représentant de l'administration. Les deux techniciens doivent intervenir dans les délais demandés(précisés lors de l'appel).
Mise à disposition des moyens	-Sans objet.
Fournitures	-L'administration fournit des pièces de rechanges d'une valeur supérieure à 1000F/pièce. Le titulaire prend en charge des pièces de rechanges de valeur inférieure à 1000F/pièce. -Le titulaire est responsable de ces lots et assure la gestion , la maintenance et le réapprovisionnement sous contrôle de l'administration
Obligation de l'administration	-Remis au titulaire les documents techniques concernants chaque type de matériel -Coordination des interventions des constructeurs pour les matériels ou équipements en période de garantie -Opérations de vérification: .calculer le taux d'indisponibilité; .se rendre sur terrain; .réunion mensuelle avec le titulaire
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	5,2%(minimum) 10,4%(maximum) 6.9%(taux réel de l'année 1990)

Nom du contrat	-Marché public du travaux: Réseaux de câbles-génie civil, électricité générale-nettoyage industriel sur les voies rapides urbaines d'Ile de France(Ce marché est divisé en 4 lots) **Lot1**: Travaux sur les réseaux de câbles; **Lot2**: Génie civil et entretien du réseau Zéro; **Lot3**: Contrôle et entretien des équipements électriques, mécaniques et électro-mécaniques; **Lot4**: nettoyage industriel
Titulaire	Le groupement d'entreprise solitaires M2S et SATELEC, titulaire du lot N°1(lot principal) est le mandataire des entrepreneurs groupés conjoints.
Durée du contrat	-Un an renouvelable(Durée totale: 3 ans) -Ce marché est prolongé jusqu'à 31 décembre, 1992.
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenance préventive et maintenance corrective et travaux d'extension d'une liaison des réseaux câbles; -Tous travaux d'entretien de l'infrastructure des réseaux de câbles, recherche de câbles et travaux pour amélioration de l'existant ou pour l'extension du réseau -Maintenance préventive systématique et maintenance corrective des dispositifs électriques de protection des équipements techniques, des ouvrages mécano-soudés et du parc d'équipements électriques et électro-mécaniques -Mesurage sur les réseaux de transmission -Nettoyage industriel des locaux techniques et équipements d'exploitation sur le site -Le groupement n'est pas chargé de la gestion des balises ni de la maintenance des équipements électriques. -Pour les matériels sous garantie, le groupement n'a aucune obligation de maintenance. -Travaux de nuit(une nuit par mois en moyenne) et réparation ou remplacement des matériels accidentés
Délai d'intervention du titulaire	-Le délai normal d'intervention est fixé à 48 heures -Le délai d'intervention d'urgence est fixé à 8 heures
Astreinte	-A la demande de l'administration(15 jours a l'avance et durée supérieure à 7 jours)
Disponibilité des matériels ou équipements	-Taux d'indisponibilité : sans objet. -Pénalité pour retard d'intervention : $P_I = 600 \times H$ (H: nb. d'heures de retard) -Pénalité pour retard d'exécution : $P_E = (M \times J_R) / (2 \times D_E)$ Avec M : montant de la lettre de commande en francs J_R : nombre de jours de retard D_E : délai d'exécution de la lettre de commande en jours.
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-Tous les travaux, objet du présent marché, sont assortis d'une garantie de 1 an à l'exception des manchons pour les quels la garantie sera de 5 ans. -Un compte rendu établi après chaque intervention(date, anomalies constatées,travaux effectués, pièces remplacées et temps passé)
Procédure de déclenchement d'intervention	-Les commandes successives sont adressées sous forme de lettres de commandes signées par le chef de l'unité Maintenance -Les demandes d'intervention sont transmises à l'Entrepreneur soit par téléphone soit par télex
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	-Mise à disposition d'équipe d'intervention sous la responsabilité de l'administration pour effectuer les travaux d'entretien et de réparations nécessaires -Mise à disposition des ouvrages (ou partie d'ouvrage) non encore achevés aux stades d'avancement suivants de travaux(raccordements en volant des liaisons indispensables à l'exploitation; jarretierrage provisoire dans le cadre de phase de travaux)
Fournitures	-Les matériels sont fournis par l'administration selon un bordereau de prix. -La manutention et la conservation sont assurées par l'entrepreneur
Obligation de l'administration	-Fournir au titulaire toute la documentation technique relative aux différents équipements -Essai et contrôle des ouvrages en cours de travaux -Pour les matériels sous garantie: suivi de bon fonctionnement, diagnostic en cas de mauvais fonctionnement et coordination des interventions des constructeurs. -Organisation de réunion de coordination (une fois chaque semaine) -Gestion des paiements
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	-Il est impossible d'estimer l'investissement.

Objet	La maintenance du système informatique au PC des Ratraits
Titulaire	STERIA
Durée du contrat	-La durée du contrat est fixé à un an et trois mois.
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Formation opérationnelle des personnels de l'administration pour la maintenance des matériels -Mise à jour des logiciels lorsqu'il y a un problème -Maintenance préventive systématique sur les matériels et les logiciels du système -Maintenance corrective sur les matériels et les logiciels du système
Délai d'intervention du titulaire	-Sans objet
Astreinte	-Sans objet
Disponibilité des matériels ou équipements	-La distinction de 3 niveaux de pannes du système principal(1er défaut de présentation, 2ème défaut fonctionnel, 3ème défaut induisant l'arrêt du système) -Le taux d'indisponibilité est calculé par trimestre et pour chaque élément du système par l'application de la formule ci-contre: $ID_o = S_{Pop}/S_{Top}$ S_{Pop}=somme des temps de panne opérationnels; S_{Top} = somme des temps de service opérationnels -Pénalité pour indisponibilité opérationnelle: $I_o = 500{,}00 \times T_{op} (ID_{op_{pp}} - ID_o)$ pour chaque périphérique principal; $I_o = 200{,}00 \times T_{op} (ID_{op_{ps}} - ID_o)$ pour chaque périphérique secondaire; $I_o = 1.000{,}00 \times T_{op} (ID_{op_{sys}} - ID_o)$ pour système principal et système secours. Avec I_o: pénalité trimestrielle; Top : le temps de service opérationnel -Le montant total des pénalités relatives à la disponibilité est plafonné à 100 000,00 f par tranche ou partie de tranche de prestations et par trimestre. -l'interruption est interdite dans les périodes de 6h à 9h et de 17h à 19h du lundi à vendredi. L'interruption maximale autorisée est de 6h par jour.
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-Continuité d'exploitation ordinaire pour les périphériques secondaires: IDo ≤ 0,08 pendant les 3 mois d'essai, IDo ≤ 0,04 pour l'année suivante; -Continuité d'exploitation renforcée pour les équipements principaux, le système principal et le système de secours: IDo ≤ 0,04 pour les 3 mois d'essai, IDo ≤ 0,02 pour l'année suivante -La durée de panne est calculée comme suit: .Niveau 1 : 2h(forfait) par défaut constaté(le nombre d'occurences n'intervient pas); .niveau 2 : 6h(forfait) par défaut constaté(le nombre d'occurences n'intervient pas); .Niveau 3: ce type de panne est assimilé à une panne matérielle.
Procédure de déclenchement d'intervention	-Pour niveau 1 et niveau 2, le premier télex de déclaration informe le titulaire de la nature de la panne. L'intervention du titulaire est déclenchée sur ordre spécifique(nouveau télex); -Pour niveau 3, le télex de déclaration de panne vaut ordre d'intervention du titulaire.
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	- Sans objet
Fournitures	-Le titulaire prend en charge des matériels consommables pour toute la durée de garantie
Obligation de l'administration	-Contrôle de l'obtention des résultats par le calcul des taux d'indisponibilité des éléments du système informatique
Taux= $\frac{\text{Montant du contrat de maintenance}}{\text{investissement}}$	11,0%(sans fournitures) 15,8%(avec fournitures)

Objet	-Maintenance du système informatique au PC St. Denis et au PC Arcueil
Titulaire	-STERIA
Durée du contrat	-Un an pour TF1 , TF2 et TC1 -Un an et trois mois pour TC2
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenance préventive et corrective des matériels du système -Maintenance préventive et corrective des logiciels du système(in est convenu que STERIA fournira chaque trimestre une nouvelle version des logiciels corrigeant les "pannes" reconnues durant le trimestre. -Outils de développement
Délai d'intervention du titulaire	-Un délai maximum de 8 h entre la déclaration de la panne et la remise en service du système majeur(pour la fourchette horaire 9h-17h30 mais 7jours/7) -Un délai maximum de 12 h entre entre la déclaration d'une panne, trouvant sa cause dans le matériel et la réparation de cette panne dans la fourchette horaire 9h-17h30 les jours ouvrés.
Astreinte	-24h/24h et 7jours/7 jours
Disponibilité des matériels ou équipements	-Le taux d'indisponibilité est calculé par trimestre et pour chaque élément du système par l'application de la formule ci-contre: $ID_o = S_{Pop}/S_{Top}$ S_{Pop}=somme des temps de panne opérationnels; S_{Top} = somme des temps de service opérationnels. -Pénalité pour dépassement du nombre de pannes admises sur le système majeur : 20 000,00 F par panne; -Pénalité pour dépassement de la durée admise pour la réparation d'une panne sur système majeur : 4 000,00 F par heure; -Pénalité pour dépassement du taux d'indisponibilité du système majeur : 15 000,00 F pour pour-cent d'indisponibilité; -Pénalité pour dépassement de la durée admise pour la réparation d'une panne sur la totalité du système : 1000,00 F par heure; -L'ensemble des pénalités relatives à un même site(St. Denis ou Arcueil) est plafonné à 100 000,00 F par trimestre et pour l'ensemble des tranches.
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-Trois pannes du système majeur sont admises par trimestre de garantie -Une fois par trimestre, non cumulable, le système peut être neutralisé et donc que l'indisponibilité ne sera pas prise en compte, durant une période de 4 h, dans la fourchette horaire 9h-17h30 les jours ouvrés pour la réalisation des opérations de maintenance préventive du matériel. -Un délai de 8h maximum est fixé entre la déclaration de la panne en la remise en service du système majeur dans la fourchette horaire 9h - 17h et 7jours / 7jours. -Pour les pannes matériels, il est toléré un délai maximum de 12 h entre la déclaration d'une panne, trouvant sa cause dans le matériel et la réparation de cette panne dans la fourchette horaire 9h - 17h30 les jours ouvrés. -Les seuils de taux d'indisponibilité : . continuité d'exploitation ordinaire : $ID_o \leq 0,08$ pendant les 3 mois d'essai; $ID_o \leq 0,04$ pour l'année suivante
Procédure de déclenchement d'intervention	-Par télex
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	-Sans objet
Fournitures	-Le titulaire prend en charge des matériels consommables pour toute la durée de garantie
Obligation de l'administration	-Contrôle de l'obtention des résultats -Le calcul des taux d'indisponibilité des éléments du système
Taux= Montant du contrat de maintenance / investissement	24%

Nom du contrat	-L'extension de garantie du système de commande et de contrôle des portiques et supports des PMV installés sur le tronçon de l'autoroute A86 section Rosny sous Bois-A4
Titulaire	-La société SECURITE ET SIGNALISATION
Durée du contrat	-Un an renouvelable. -Durée maximale : 5 ans
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenir à niveau les équipements dont il a la charge sur la base de son mémoire technique -Autres prestations .Constitution d'une équipe d'intervention (à la demande) .Remplacement des matériels accidentés .Développement micro-informatique .Assistance technique (expertises-conseils) -Le titulaire peut sous-traiter l'exécution de certaines parties de son marché à condition d'avoir l'accord de l'administration.
Délai d'intervention du titulaire	-Délai des interventions urgentes: sans objet. -Délai d'intervention normal: sans objet -Durée d'intervention : plus courte possible
Astreinte	-sans objet
Disponibilité des matériels ou équipements	-Taux d'indisponibilité(trimestriel) $I_{Dex} = P_{ex} / T_{ex}$; avec P_{ex} :somme des temps de panne des équipements; T_{ex} : somme des temps d'exploitation -Pénalité pour retard : sans objet -Pénalité pour indisponibilité : $P_t = M_t \times I_{Dex}$ Avec P_t : la pénalité trimestrielle en F/TTC M_t : le montant forfaitaire trimestriel en F/TTC I_{Dex} : l'indisponibilité d'exploitation
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-Le niveau d'indisponibilité maximale qui doit être satisfait est : $I_{Dex} \leq 0{,}04$ -Pour les matériels et sous ensembles fournis et mise en oeuvre au titre du présent marché, la durée de la garantie est de un an.
Procédure de déclenchement d'intervention	-Par télex ou tout autre système horodaté informant le représentant du titulaire que le système est en panne pour la maintenance corrective -pour la maintenance préventive systématique, un planning est fait par le titulaire en accord avec l'administration. Le personnel chargé de la visite doit systématiquement prévenir le représentant de l'administration dès le début de son intervention. Chaque visite donne lieu d'un rapport de visite établi par le personnel chargé de l'intervention -Interventions rémunérées hors forfait soumises à commande: le titulaire intervient sur lettre de commande fixant le moment, la nature, l'importance et la durée des prestations. La lettre de commande est établie à partir d'une proposition détaillée du titulaire
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	-pas de mise à disposition des moyens humains sauf à la demande pour une période déterminée
Fournitures	-Toute pièce remplacée est neuve sauf accord entre les parties.
Obligation de l'administration	-Mettre à la disposition du titulaire les moyens de protection de nature à faciliter son intervention sur les voies rapides, sous réserve des impératifs d'exploitation -Opération de vérification de l'obtention des résultats: par se rendre sur terrain et par calculer les taux d'indisponibilité par trimestre -Les représentants de l'administration sont chargés de constater les pannes et faire des diagnostics sur les matériels du présent marché
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	2,1%(minimum) 6,3%(maximum) 2,6%(taux réel de l'année 1990)

Nom du contrat	-L'entretien et la maintenance des équipements d'automatisation et de commande à distance des contrôleurs d'accès aux autoroutes A6(section Sud, A3 et A104 (secteur Nord)
Titulaire	-THOMSON
Durée du contrat	-Un an renouvelable -Durée maximale du marché : 5 ans
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Maintenance préventive systématique -Maintenance préventive conditionnelle - maintenance corrective -Autres prestations : sans objet. -La maintenance des armoires "interface" ne fait pas partie du présent marché.
Délai d'intervention du titulaire	-Délai des interventions urgentes : sans objet -La durée des interventions doit être aussi réduite que possible
Astreinte	-Sans objet
Disponibilité des matériels ou équipements	-Le calcul des indisponibilités se fait à deux niveaux par l'application des formules: $I_{Dop} = P_{op} / T_{op}$ $I_{Dex} = P_{ex} / T_{ex}$ avec: I_{Dop} : indisponibilité opérationnelle, I_{Dex} : indisponibilité d'exploitation P_{op} : temps de panne durant le service opérationnel; T_{op} : temps de service opérationnel; P_{ex} : temps de panne durant le service d'exploitation T_{ex} : temps de service d'exploitation -Pénalité pour retard : sans objet -Pénalité pour indisponibilité: A: secteur Sud : a). Pénalité pour indisponibilité opérationnelle des accès: $P_a = V_1/150 + (V_1 / 8) \times (I_{Dop\ accès} - 0{,}06)$ b). Pénalité pour indisponibilité d'exploitation des accès: $P_b = V_1/75 + (V_1 / 4) \times (I_{Dex\ accès} - 0{,}06)$ c). Pénalité pour indisponibilité opérationnelle de la transmission harmonique et du téléphone $P_c = V_1/150 + (V_1 / 8) \times (I_{Dop\ Trans.} - 0{,}04)$ B: secteur Nord : a). Pénalité pour indisponibilité opérationnelle des accès: $P_a = V_2/150 + (V_2 / 8) \times (I_{Dop\ accès} - 0{,}04)$ b). Pénalité pour indisponibilité d'exploitation des accès: $P_b = V_2/75 + (V_2 / 4) \times (I_{Dex\ accès} - 0{,}04)$ c). Pénalité pour indisponibilité opérationnelle de la transmission harmonique et du téléphone $P_c = V_2/150 + (V_2 / 8) \times (I_{Dop\ Trans.} - 0{,}04)$
Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	Les taux des indisponibilités doivent être inférieurs ou égaux aux valeurs fixées: Secteur — $I_{Dop\ accès}$ — $I_{Dex\ accès}$ — $I_{Dop\ Trans.}$ SUD — 0,06 — 0,06 — 0,06 NORD — 0,04 — 0,04 — 0,04
Procédure de déclenchement d'intervention	-Dépannage du système : suite à la réception du télex informant le titulaire d'une panne sur un élément de système, et préalablement à son intervention, il indique, par télex , le jour et l'heure du début de son intervention prévue.
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	-Sans objet
Fournitures	-L'administration met à la disposition du titulaire un lot de rechange. -L'entretien et la reconstitution de ce lot sont à la charge du titulaire.
Obligation de l'administration	-Vérification : le responsable de l'administration peut contrôler, à tout moment, la qualité et la quantité des prestations exécutées -Contrôle de l'obtention des résultats par le calcul trimestriel des taux d'indisponibilité définis ci-dessus
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	-

Objet	-Garantie des matériels ou équipements du marché SIRUIS
Titulaire	-Compagne Générale des Eaux
Durée du contrat	-Le délai de garantie est fixé à 3 ans (y compris les trois mois de la période d'essais préalables à la mise en service)
Niveaux d'intervention du prestataire (prestations)	-Le titulaire a à sa charge la formation des personnels de l'administration pour l'exploitation des matériels et pour la maintenance des matériels -Maintenance préventive systématique -Maintenance corrective -Réparation des matériels accidentés
Délai d'intervention du titulaire	-Pour les équipements de transmission et les câbles d'énergie, les travaux de réparation doivent être terminés 72 h après notification d'effectuer les travaux de réparation -Pour les postes d'appel d'urgence, l'installation d'un nouveau poste et sa mise en service doivent être terminées 48 h après notification d'effectuer les travaux de réparation -Pour les sites techniques, les travaux doivent être effectués 150 jours après notification -Pour les autres équipements,le délai accordé est de 30 jours
Astreinte	-Sans objet
Disponibilité des matériels ou équipements	-Le service est du type opérationnel. Le niveau d'indisponibilité opérationnelle à respecter est donnée par fonction comme ci-dessous:

Fonctions	Continuité d'exploitation Ordinaire	Renforcée
Transmission		x
Energie		x
Equipements communs		x
Recueil automatique de données	x	
Panneaux à messages variables	x	
Réseaux d'appel d'urgence		x
Télésurveillance vidéo	x	
Téléphone de service	x	

Clauses de contrôle de l'efficience de prestataire	-Le système est décomposé en éléments de système par fonction, chacune des fonctions est considérée comme indépendante vis à vis du calcul de l'indisponibilité. -Un élément de système est considéré comme en panne dès lors que l'une des ses caractéristiques ne répond plus entièrement aux satisfactions du marché
Procédure de déclenchement d'intervention	-Dépannage du système : suite à la réception du télex informant le titulaire d'une panne sur un élément de système, et préalablement à son intervention, il indique, par télex , le jour et l'heure du début de son intervention prévue.
Mise à disposition des moyens(humains et matériels)	-Sans objet
Fournitures	-Les matériels consommables sont fournis par le titulaire
Obligation de l'administration	-Contrôle de l'obtention des résultats -Suivi et contrôle commun DRE/DDE/Titulaire par le biais de réunions périodiques(une fois par mois environ)
Taux = Montant du contrat de maintenance / investissement	10,5%.

Annexe N° 13

ETUDE DE CAS

ÉTUDE DE CAS*

Accident du mardi 21 novembre 1989
J. GUICHARD - Chef du poste de commandement du secteur sud (Arcueil)

Circonstances

Le mardi 21 novembre 1989 à 22 h 31, sur l'autoroute A 6a sens Paris-province, à 6,7 km de Paris, suite à un ralentissement de la circulation provoqué par un PL, à l'approche d'une zone de travaux, deux PL et trois VL se percutent; consécutivement au choc les véhicules prennent feu sous l'ouvrage en construction (un PL transporte des rouleaux de papier).
A 22 h 35, arrivée sur les lieux des sapeurs pompiers de Paris, renforcés par huit centres des départements de la petite couronne étant donnée l'ampleur du sinistre.
Deux personnes sont incarcérées dans leur véhicule et périront carbonisées.

Mesures d'exploitation

A 23 h 20:
— coupure sens Paris-province des accès à l'autoroute A 6a et A 6b à partir des boulevards périphériques intérieur et extérieur, (aucune circulation n'étant possible dans ce sens au droit de l'incendie);
— coupure sens province-Paris de l'autoroute A 6a à l'échangeur de Wissous (autoroutes A 6 et A 10).
Seule la branche Paris-Est (autoroute A 6b) circule vers Paris, on note un bouchon d'environ 3 km créé par le phénomène de curiosité.
1re action: Informer les usagers des différentes coupures et déviations par l'intermédiaire des panneaux à message variable en service sur le réseau autoroutier ainsi qu'aux différents accès.
A savoir, accès fermés à partir d'Evry sur l'autoroute A 6 ainsi qu'au niveau des pistes d'Orly, de même sur l'autoroute A 10 avec les panneaux situés aux accès à partir de la nationale 20.
Idem pour les panneaux actionnés à partir du PC périphérique pour l'autre sens de circulation (PMV situés d'une part sur le BP extérieur pour l'accès à A 6a, d'autre part sur le BP intérieur pour les accès à A 6a et A 6b ainsi que ceux qui équipent les boulevards des maréchaux).
2e action: Contacter l'entreprise responsable des travaux afin d'évaluer les dégâts occasionnés à l'ouvrage en construction; en effet les poutres métalliques constituant le tablier ont subi des déformations importantes suite à l'incendie, tant sur la voie considérée (A 6a) que sur celle adjacente (A 6b). Les piles et la chaussée béton ont elles aussi été dégradées.
Toutes les poutres surplombant la chaussée Paris-province de l'autoroute A 6a durent d'ailleurs être déposées une à une, car la hauteur libre sous l'ouvrage ne permettait plus la circulation des poids lourds.
3e action: Inciter les usagers stockés en amont de l'accident sur A 6a à se délester par la route nationale 7 via l'autoroute A 106; ceci sur le terrain véhicule par véhicule.
4e action: Constitution d'un PC de crise au centre d'Arcueil regroupant outre les forces de police, les responsables de la ville de Paris, de la DDE 94 et de la DRE, afin de coordonner au mieux la prise des décisions.
A 3 h 26, réouverture de la branche Paris-Ouest (A 6a) dans le sens province-Paris, l'incendie étant totalement circonscrit.
Une première analyse des conséquences nous permet alors de prévoir le rétablissement total de la circulation pour le début d'après-midi. Il faut donc assurer la pointe de trafic du matin dans des conditions qui ne s'annoncent pas brillantes.
Il faut impérativement retarder l'ouverture de l'autoroute à partir du périphérique de manière à éviter un stockage inutile des véhicules sur l'autoroute puisque la capacité admissible au droit de l'accident ne pourra excéder les deux voies (rétrécies) de l'autoroute A 6b; il est donc convenu d'attendre un seuil de saturation du BP pour effectuer celle-ci. L'objectif étant de conserver lors de l'ouverture un minimum de fluidité sur l'autoroute afin de ne pas pénaliser les usagers en direction d'Orly (C 106), a priori non concernés par la restriction de capacité.
A 5 h 05 réouverture des accès à A 6a à partir de boulevards périphériques intérieur et extérieur (mesure qui permet de limiter la demande au droit de l'accident et permet d'assurer les mouvements tant en provenance de l'Est parisien que de l'Ouest).
L'autoroute A 6b restant toujours fermée de même que A 6a en aval de la voie lente (liaison A 6a vers A 6b).
Cette situation put être maintenue jusqu'à 6 h 00, heure à laquelle il fallut réouvrir A 6b car le bouchon sur le boulevard périphérique intérieur remontait sur les autoroutes A 3 et A 1.
5e action: Assurer une information la plus large possible par les médias, de façon à minimiser les congestions prévisibles durant la pointe de trafic du matin; ce qui fut réalisé d'ailleurs de manière très satisfaisante par l'intermédiaire du CRICR tenu en permanence informé de l'évolution de la situation.

Evaluation des mesures prises

La conjonction de toutes ces actions et la bonne coordination de tous les services concernés ont permis de limiter de façon très sensible les conséquences de cet accident, qui restera un des plus graves du secteur Sud.
Les répercussions constatées sur le trafic furent très importantes dans les deux sens de circulation. En effet les restrictions occasionnées par les différentes fermetures de même que l'effet de curiosité dans l'autre sens ont provoqué des retenues inhabituelles entre 5 h 00 et 15 h 00 (heure à laquelle la chaussée A 6a fut rétablie).
A 8 h 00 on notait les bouchons suivants:
— sens province-Paris:
- sur A 6 et A 6a: 14 km;
- sur A 10 et A 6b: 15 km;

— sens Paris-province:
- sur A 6a et A 6b: 7 km;
- sur BP intérieur: 17 km;
- sur BP extérieur: 9 km;

les mesures prises ont permis de gérer ces perturbations dans le temps. En effet en conservant au maximum les capacités disponibles sur le réseau, le retour au trafic normal s'est effectué très rapidement lors de la réouverture totale à 15 heures.

Ouverture sur l'avenir

La mise en place du projet SIRIUS dans les prochaines années permettra de gérer dans l'espace ce type de situation. En effet le maillage du réseau futur permettra de fournir aux usagers lors d'accident très perturbant des itinéraires de substitution.
Un guidage pourra en fait être mis en place, de manière à éviter les sections concernées par l'incident, ceci grâce à l'activation de panneaux à message variable situés en amont de chaque divergent. De plus la présence d'opérateurs 24 h sur 24 dans les différents centres d'exploitation sera effective; le centre d'Arcueil expérimentant d'ailleurs ce fonctionnement depuis le 1er janvier 1990.

Annexe N° 14

REGLES D'AFFICHAGE DES PMV EN ILE-DE-FRANCE

Règles d'affichages en Ile-de-France

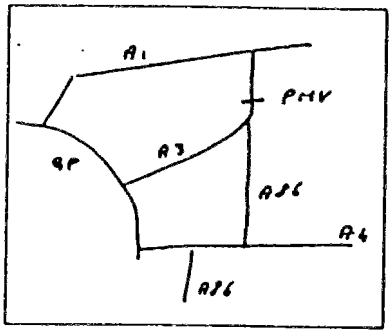
Les PMV installés sur le réseau de voies rapides d'Ile-de-France (PMVHA) auront tous, à terme, 2 lignes de 18 caractères (PMVA). D'autres PMV se trouveront sur le réseau, associés en amont des entrées sur autoroute, et auront suivant les cas 2 lignes de 18 caractères ou 2 lignes de 12 caractères.

Les règles de bases sont les suivantes:

a. Les autoroutes sont désignées par leur nom: «Ai» qui se trouve normalement dans un cartouche rouge sur tous les panneaux de signalisation fixe. Le boulevard périphérique est désigné par les lettres BP.

b. La zone d'influence est précisée par le signe > qui signifie «jusqu'à» suivi du nom de l'autoroute rencontrée:

Exemple:



Les zones de ce PMV seront A 3 > BP et A 86 > A 4.

c. En situation «normale» on trouve donc les messages suivants.

PMV en amont d'un divergent (PMVD)

Ai > Aj: Bouchon = X KM Ak > Al: Bouchon = Y KM

«Aj» ou «Al» peuvent être remplacés par «BP».

«Bouchon = X KM» peut être remplacé par Fluide.

PMV en section courante, en amont d'un diffuseur (PMVS)

Ai: à X KM Bouchon = Y KM

ou

Ai > Aj : Fluide

Si le nombre de caractères est insuffisant, on supprimera dans l'ordre:

— le M de KM;
— les .

d. En presence d'élément perturbant comme un accident, on trouve:

PMVD

Ai > Aj: Bouchon = X KM Accident à Y KM

En alternat avec:

Ak > Al: Bouchon = Z KM

PMVS

Ai: Accident à Z KM

En alternat avec le message habituel

Ai: à X KM Bouchon: Z KM

Quand un accident a des conséquences très importantes, cette politique d'affichage doit être complétée par des messages de guidage qui, dans la même logique doivent s'appuyer sur les noms des autoroutes et les mentions de la signalisation fixe. On pourrait alors avoir des messages du type suivant:

A 4 > A 86: Accident à X KM Bobigny-Lille

En alternat avec

Suivre Paris et périphérique Nord

«Paris» et «Périphérique Nord» sont des mentions qui se trouvent sur les panneaux de signalisation.

Ces messages ne peuvent pas être automatisés comme pour la situation normale, ce qui est cohérent avec le fait que les messages de guidage ne sont possibles que lorsque l'exploitant reprendra la main sur le système automatique.

Dans le cas de la fermeture d'un tunnel, on peut programmer les mentions et utiliser les itinéraires de substitution qui sont fléchés «SI» en orange (expérience du Val-de-Marne). On aura alors:

A 86: Tunnel fermé suivre Si

e. Par ailleurs l'affichage des PMVHA doit s'inspirer de celui des PMVA. Ces PMV étant implantés en amont des entrées sur une autoroute, ils peuvent concerner soit un seul sens de circulation, soit les deux.

Dans le premier cas le message doit être:

Ai > Aj Bouchon = X KM

Dans le deuxième cas, on aura en alternat:

Ai > Aj Bouchon: X KM

Ai > Ah Bouchon = Y KM

La mention «Bouchon = X KM» peut être remplacée par «Fluide».

En cas d'accident, on privilégiera le sens qui se rapporte à cet accident avec l'alternat suivant:

Ai > Aj Bouchon = X KM

Accident à Y KM

Diapo 2: PMV sur A 3 en amont du divergent A 3/A 86 qui indique 2 km de bouchon sur A 3 entre le PMV et le boulevard périphérique et une circulation fluide sur A 86 entre le PMV et A 4.