

Mémoire de master

Modélisation Dynamique Simple

Modélisation de stratégies de gestion de trafic
Méthodes des débits cumulés
Application à l'autoroute A7 : Vienne - Valence

Master Mécanique, Énergétique, Génie Civil et Acoustique
Section Génie Civil



Paul Réginal FÉLIX

Ingénieur des Travaux Publics de l'État-Exploitation des Infrastructures
Ingénieur Génie Civil - Université d'État d'Haïti

Jury



Président	Ludovic LECLERCQ	LICIT (INRETS/ENTPE)
Tuteur	Christine BUISSON	LICIT (INRETS/ENTPE)
Tuteur	Frédéric EVESQUE	CETE de Lyon/DES
Expert	Pascal LE GAUFFRE	INSA Lyon
Rapporteur	Victor KNOOP	LICIT (INRETS/ENTPE)

Septembre 2010

Identification du document

Notice analytique

	Nom	Prénom
Auteur	FÉLIX	Paul Réginal
Titre	Modélisation Dynamique Simple Modélisation de stratégies de gestion de trafic	
Organisme d'accueil	Centre d'Études Techniques et de l'Équipement 25, avenue François Mitterrand 69674, Bron	
Tuteur	EVESQUE	Frédéric
Tutrice	BUISSON	Christine
Collation	Nbre pages du rapport : 52	Nbre d'annexes : 3 Nbre pages en annexes : 20 Nbre de réf. biblio. : 16
Résumé	<p>Les coupures de l'autoroute A7 en cas d'incident ont des impacts divers sur le réseau local avec le report de trafic. Dans le cadre de la "gestion durable des trafics", l'ERA propose de traiter ces dysfonctionnements par la modélisation dynamique simple. Il s'agit d'une maquette informatique pour modéliser les stratégies de gestion de trafic par la simulation des congestions générées sur le réseau. La méthode des débits cumulés est utilisée pour analyser la propagation des flux sur le réseau. L'outil modélise un réseau simplifié et fournit en sortie des indicateurs de congestion tels que : durée de la perturbation, nombre de véhicules retardés, temps perdu par les usagers. Le développement de la maquette pourra à terme permettre l'évaluation de stratégies de gestion de trafic en utilisant les indicateurs renseignés. Complétée par la prise en compte d'autres externalités du trafic routier, la maquette pourra constituer un outil d'aide à la décision dans l'établissement de Plan de Gestion de Trafic.</p>	

Identification du document

Analytical notice

	Last name	First name
Author	FÉLIX	Paul Réginal
Title	Simplified Dynamic Modeling Modeling of traffic management strategies	
Host Organization	Centre d'Études Techniques et de l'Équipement 25, avenue François Mitterrand 69674, Bron	
Tutor	EVESQUE	Frédéric
Tutor	BUISSON	Christine
Collation	Number of pages of the report : 52	Number of annexes : 3 Number of pages in annexes : 20 Nber of biblio. references : 16
Abstract	<p>Closing section of A7 Highway in the event of incident has various impacts on the local area network with traffic transfer. Within the framework of the "durable management of the traffics", the ERA proposes to treat these dysfunctions by simplified dynamic modeling. It is about a computer data-processing to model the strategies for managing traffic by the simulation of the congestions generated on the network. The cumulative flow method is used to analyze the propagation of flows on the network. The tool modeles a simplified network and provides output indicators of congestion such as : duration of the disturbance, number of vehicles delayed, time lost by users. The development of the model may eventually allow assessment of traffic management strategies using the indicators shown. Complemented by taking into account other externalities of road traffic, the model can be a tool for decision support in the establishment of the Traffic Management Plan.</p>	

Remerciements

Après quatre années au service d'Haïti, j'ai pu intégrer l'ENTPE par admission sur titre en deuxième année en septembre 2008. Cette intégration a été possible grâce au dévouement du ministre des Travaux Publics de l'époque, l'ingénieur Frantz VERELLA. Je remercie également les membres de son cabinet qui, à l'époque, assuraient le suivi du processus d'inscription ; particulièrement M Jean Michel MAURIN. Je ne saurais oublier les membres de BETA Ingénieurs-Conseils pour leurs conseils et les multiples services rendus au cours de ces deux dernières années. Mes remerciements spéciaux à Mme Roberte MOMPLAISIR.

Mes remerciements à ma tendre épouse qui m'a soutenu et accepté mon absence au toit familial durant ces moments difficiles que connaisse Haïti.

Mon intégration et mon parcours à l'ENTPE ont été suivis et rendus facile grâce à une équipe dynamique, soucieuse de notre réussite, très attentive et réactive à nos appels. Remerciements spéciaux à : M Richard MITANCHEY, M Lionel ROYER, Mme Françoise FONTANEAU, Mme Odile JEANNIN, les secrétaires du département des transports Laurence LIJEWSKI et Florence DEJOUX.

Mes remerciements à tous ceux qui ont pu m'encadrer au cours de ma formation :

- pendant mon stage de Mise en Situation Professionnelle : messieurs Serge DUPLAIX et Eugène COLOMÈRE de GINGER-CEBTP, les membres du jury M Pascal POCHET et Mme Frédérique DUGOUJON pour leurs précieuses remarques ;
- pendant mon Travail de Fin d'Études : M Frédéric EVESQUE, Mme Christine BUISSON, M Abdallah EL-HAGE, Mlle Marie-Christine ESPOSITO acceptant d'assumer le rôle d'expert, M Pierre MICHEL président du jury de TFE.

Mes remerciements aux collègues et professeurs de la VA transport de la 55^{ème} promotion.

Enfin je remercie tous ceux et toutes celles non cités et qui m'ont apporté leur aide afin de réussir. Je veux garantir à tous, ma ferme volonté de m'engager à oeuvrer pour la relance d'Haïti pour que leurs mots d'encouragement, leur sympathie et leurs supports ne soient pas vains.

Table des matières

Introduction	1
1.- Contexte de la modélisation	4
2.- Méthode et analyse des flux	7
2.1.- Méthode des débits cumulés	7
2.1.1.- <i>Analyse de la congestion avec les débits cumulés</i>	10
2.1.2.- <i>Quelques applications de la méthode des débits cumulés</i>	12
2.1.3.- <i>Limites et possibilités d'extension des débits cumulés</i>	16
2.2.- Analyse de la propagation des flux	18
2.3.- Affectation des flux	19
3.- Principales	21
étapes de la modélisation	21
3.1.- Graphe du réseau	21
3.1.1.- <i>Définitions et caractéristiques des nœuds</i>	26
3.1.2.- <i>Définitions et caractéristiques des arcs</i>	28
3.2.- Description de la demande	30
3.2.1.- <i>Effets des poids lourds</i>	31
3.3.- Modélisation de l'incident	36
3.4.- Modélisation de Scénario de gestion de trafic	39
4.- Description de l'outil de simulation	42
4.1.- Lecture et importation de données	44
4.2.- Initialisation des débits entrants	45
4.3.- Simulation de la propagation des flux	45
4.4.- Sorties de la modélisation	47
4.5.- Résultats de la modélisation	48
Conclusion	50
Références bibliographiques	51

Annexe A : Graphes du réseau

Annexe B : Données d'entrée

Annexe C : Sorties de la modélisation

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Cartographie des coupures de l'autoroute A7 en 2006 et 2007	4
Figure 2-1 : Diagramme fondamental triangulaire	8
Figure 2-2 : Courbes des débits cumulés aux extrémités d'un tronçon AB	8
Figure 2-3 : Détermination des débits cumulés entre deux conditions amont et Aval	11
Figure 2-4 : Illustration d'une congestion au droit d'un rétrécissement	12
Figure 2-5 : Illustration d'une congestion en cas d'incident	13
Figure 2-6 : Répartition de trafic sur deux itinéraires	15
Figure 2-7 : Infrastructure avec plusieurs points d'échanges	16
Figure 2-8 : Principe de propagation de la congestion	18
Figure 2-9 : Principe de répartition des capacités de sortie	19
Figure 3-1 : Vue aérienne de l'échangeur 11, Vienne sud	23
Figure 3-2 : Modélisation de l'échangeur 11, Vienne sud	23
Figure 3-3 : Vue aérienne de l'échangeur 14, Valence nord	24
Figure 3-4 : Modélisation de l'échangeur 14, Valence nord	24
Figure 3-5 : Graphe simplifié retenu pour la modélisation du réseau	26
Figure 4-1 : Schéma de principe du fonctionnement de l'outil	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : Tronçons de réseau modélisé et leurs attributs	29
Tableau 3-2a : Trafic journalier VL émis par origine	30
Tableau 3-2b : Répartition du trafic journalier VL par destination	30
Tableau 3-3a : Trafic journalier PL émis par origine	31
Tableau 3-3b : Répartition du trafic journalier PL par destination	31
Tableau 3-4 : Répartition du trafic journalier en débit horaire	33
Tableau 3-5 : Renseignements sur un incident	36
Tableau 3-6 : Illustration de l'insertion d'un noeud fictif C0	37
Tableau 3-7 : Renseignements sur une stratégie de gestion de trafic	39
Tableau 3-8 : Matrice d'itinéraire au noeud C1 pour 3 destinations	40
Tableau 3-9 : Matrice d'itinéraire au noeud C6 pour 2 destinations	40
Tableau 4-1 : Tableaux des généralités de l'outil	44
Tableau 4-2 : Résultats de la simulation des scénarios pour les arcs principaux (A7, RN7, RD1086)	48
Tableau 4-3 : Récapitulatif du temps perdu sur les arcs principaux (A7, RN7, RD1086)	49

Introduction

Le trafic routier est un phénomène complexe se déroulant sur un réseau maillé qui fait intervenir de nombreux acteurs. Sa fluidité est mise en cause par la congestion qui survient quand la demande (nombre de véhicules voulant utiliser l'infrastructure pendant un intervalle de temps) est supérieure à l'offre (nombre de véhicules pouvant sortir d'une section pendant le même intervalle de temps).

Nombreuses sont les causes d'une congestion apparaissant sur une infrastructure linéaire de transport. Parmi les plus connues, on note : les accidents de la circulation, les interventions d'urgence ou programmées, les catastrophes naturelles (éboulement de terrain, incendie de forêt, chute de neige...). Ces événements neutralisent une partie de l'infrastructure et réduisent ainsi sa capacité. Un autre phénomène bien connu est la forte augmentation de la demande pendant les périodes des départs et des retours de vacances. Dans ce cas la demande dépasse largement la capacité de l'infrastructure.

Tant que l'événement engendrant la congestion n'est pas dissipé, le nombre de véhicules n'ayant pas pu sortir de la section de chute de capacité s'accroît vers l'amont et occupe une longueur croissante de l'infrastructure. Selon la durée de la perturbation et la stratégie de gestion de trafic, cet accroissement de la file d'attente sur l'infrastructure peut atteindre des intersections avec d'autres éléments du réseau. Des véhicules n'utilisant pas l'infrastructure où l'incident a eu lieu subiront à leur tour des effets de cette congestion.

Dans ces cas plusieurs dispositions peuvent être envisagées. L'exploitant de l'infrastructure et les autres acteurs peuvent décider une évacuation si le temps de remise en état sera trop long. Il existe aussi des dispositions pour informer l'utilisateur en temps réel de l'évolution de la congestion afin de l'orienter sur d'autres itinéraires ou pour l'inciter à différer ses déplacements. On comprend bien que l'occurrence d'un incident sur un axe, surtout autoroutier, puisse engendrer des impacts importants sur les axes secondaires du réseau par report de trafic. Ce report de trafic autoroutier sur les routes secondaires de plus faible capacité peut présenter des enjeux majeurs pour le réseau local par :

- les congestions générées et le temps perdu par les usagers locaux dans leurs déplacements ;
- l'accroissement du risque d'accident sur le réseau ;
- l'accroissement des risques liés à la circulation de matières dangereuses ;
- la forte émission de polluants dans des conditions de circulation dégradées ;
- les nuisances sonores à la traversée de certaines agglomérations ;
- l'endommagement accéléré des infrastructures non dimensionnées pour supporter un trafic autoroutier.

Depuis plus d'une cinquantaine d'années, des théoriciens du trafic cherchent à expliquer et quantifier les mécanismes à l'origine de la congestion sur un axe de transport. Les travaux de recherche ont fourni des outils pour estimer des indicateurs d'impact d'une congestion tels que : durée de la perturbation, temps perdu, retard subi, longueur de la file d'attente. Les travaux réalisés au cours du stage visent à élaborer un outil de simulation de gestion de trafic sur un réseau. Ce stage, organisé en deux phases, permettra d'obtenir un diplôme de master recherche. La première phase, s'arrêtait en juin 2010, pour l'obtention du diplôme d'ingénieur délivré par l'ENTPE. Le travail réalisé au cours de cette première phase a permis de définir les fonctionnalités nécessaires pour la réalisation de l'outil de simulation.

Au cours de la seconde phase les travaux de modélisation sont poursuivis pour conclure sur la faisabilité de l'outil dans la perspective de son extension via des projets de recherche. L'objectif final est de proposer aux exploitants d'un réseau un outil d'évaluation de stratégies de gestion de trafic. Par études comparatives de plusieurs stratégies testées, l'outil permettra de s'affranchir de la lourde et difficile tâche de calage de paramètres. Se limitant à la modélisation de gestion de crise, la maquette informatique simplifie la tâche d'évaluation de stratégies en utilisant des données que l'exploitant peut recueillir. L'outil ne fournit pas des résultats nécessitant une validation par rapport aux effets de congestion déjà constatés, mais un ordre de grandeur pour des indicateurs de congestion pouvant servir de critères d'aide à la décision.

Ce présent rapport, organisé en quatre chapitres et trois annexes, présente la modélisation de stratégies de gestion de trafic en cas d'incidents entraînant une coupure de l'autoroute A7 en vallée du Rhône. Dans un premier temps il présente le contexte des coupures de l'autoroute et les objectifs fixés pour la modélisation des stratégies. Il décrit ensuite la méthode utilisée pour décrire la congestion sur le réseau et le travail de modélisation réalisé pour tester 3 stratégies de gestion de trafic sur une partie du réseau entre Vienne et Valence. Enfin, le fonctionnement de l'outil y est exposé et les premiers résultats sont fournis. Avec des commentaires sur ces résultats nous discuterons dans la conclusion de la faisabilité de l'outil, de ses limites et des perspectives d'amélioration pour son développement futur au cours de projets de recherche. Le graphe du réseau étudié, les données nécessaires et les résultats de la modélisation sont fournis dans les annexes.

1.- Contexte de la modélisation

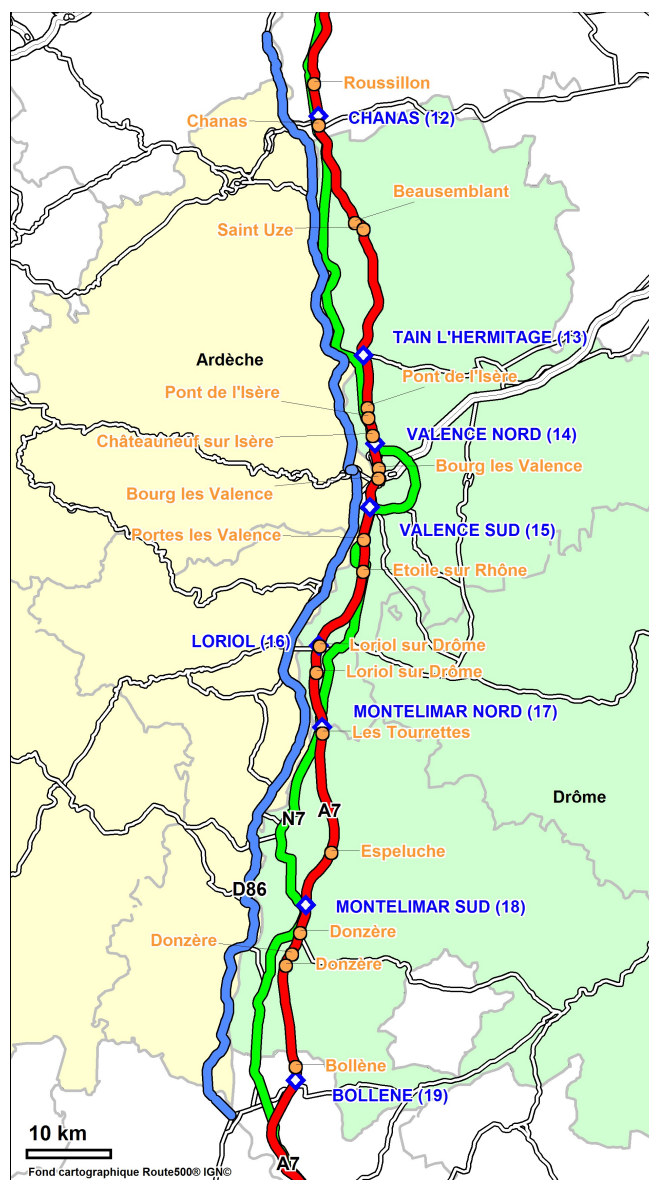
L'autoroute A7, communément appelée Autoroute du Soleil, relie Lyon et le sud de la France en traversant la vallée du Rhône. Avec 2x3 voies par sens de circulation elle supporte un très fort trafic. Selon un diagnostic de la circulation réalisé en juillet 2009 par la Division Exploitation et Sécurité du CETE de Lyon, la demande dans les deux sens de circulation peut atteindre 10 000 véh/h. Ces données ont été recueillies le samedi 18 août 2007 classé jour de grands départs. Selon le même rapport, la demande par sens de circulation peut atteindre 4900 véh/h pour une capacité totale d'environ 5 500 véh/h. Cette observation a été faite un jour ouvrable entre Valence et Lorient. On peut remarquer que l'autoroute supporte déjà un trafic à la limite de sa capacité en absence d'incident.

En 2006 et 2007 on a recensé 19 coupures de l'autoroute entre Chanas et Bollène, précise le diagnostic. Il se base sur les études de coupures réalisées par ASF et les événements de la main courante du CRICR. Ces coupures ont souvent pour origine un accident de la circulation impliquant un poids lourd. La durée des perturbations qu'elles engendrent varie de 3 à 10 heures. La figure ci-contre, issue de "Diagnostic circulation en Vallée du Rhône, CETE Lyon/DES, juillet 2009", présente les coupures de l'autoroute A7 recensées entre Chanas et Bollène en 2006 et 2007.

Légende

- ◆ localisation des échangeurs
- localisation des coupures

Figure 1-1 : Cartographie des coupures de l'autoroute A7 en 2006 et 2007



Du diagnostic de la circulation en vallée du Rhône nous constatons que la stratégie actuelle de gestion de trafic en cas de coupure de l'autoroute A7 est la sortie obligatoire vers les autres routes du réseau, notamment la RN7 et la RD1086 (ex RN86). A cette manoeuvre d'évacuation du tronçon perturbé s'ajoute la diffusion d'informations aux usagers pour les inciter à différer leurs déplacements ou les diriger vers des itinéraires plus lointains. Ces mesures sont adaptées par retour d'expérience sur le constat des perturbations générées (durée de la perturbation, celle de l'évacuation et autres conséquences).

Ce report de trafic autoroutier pénalise les activités économiques dans la vallée du Rhône. Il est à l'origine d'importantes craintes des acteurs locaux à cause notamment :

- des congestions engendrées sur les routes secondaires qui paralysent les déplacements locaux ;
- de l'augmentation des risques environnementaux avec une plus grande émission de polluants et une augmentation des nuisances sonores ;
- de l'augmentation du risque d'accidents avec une forte proportion de poids lourds sur les routes secondaires ;
- du transport de matières dangereuses et de la circulation d'un trafic élevé à proximité de sites industriels sensibles (Tricastin, centre de Cruas,...).

Il faut donc trouver une stratégie pour limiter l'impact des ces perturbations non seulement sur l'autoroute A7 mais surtout sur les autres axes secondaires du réseau. Actuellement on ne dispose pas d'outil de simulation pour évaluer à priori ces impacts et prenant en compte l'ensemble du réseau. Dans le cadre de la gestion durable du trafic l'Equipe de Recherche Associée du CETE de Lyon propose de traiter l'événement par la modélisation dynamique simple. L'objectif est de développer un outil de modélisation du trafic pour l'optimisation de l'usage du réseau en situation exceptionnelle. Il sera appliqué à l'autoroute A7 pour tester les différents scénarios de gestion de trafic en cas de perturbation événementielle.

L'outil permettra de prendre en compte les interactions (échanges de flux) entre les différents éléments du réseau, de pallier l'absence de prévision des effets d'une stratégie de gestion de trafic. Utilisant la méthode des débits cumulés, l'outil est prévu pour simuler un ensemble d'états statiques successifs. Il fournira comme sorties des indicateurs de la congestion tels que : temps total perdu, nombre de véhicules retardés, durée de la perturbation pour rechercher la meilleure stratégie de gestion de trafic en cas de coupure de l'autoroute A7.

Nous évaluerons avec ce premier travail la faisabilité de la maquette de l'outil basé sur un cas simple et de portée limitée. Cette première conclusion, si elle est positive, ouvrira les portes pour améliorer et étendre l'application de l'outil par la recherche. Il pourra alors servir d'élément d'aide à la décision en matière de planification pour la mise en place de Plan de Gestion de Trafic.

2.- Méthode et analyse des flux

L'analyse de l'écoulement du trafic sur un réseau nécessite la prise en compte d'interactions (échanges de flux) entre les différents éléments du réseau. Il faut qu'on soit capable de décrire, mesurer et modéliser ces échanges. Cette modélisation requiert la connaissance du fonctionnement du réseau, la connaissance des déplacements en terme d'origines et de destinations et la connaissance de la répartition des flux. Dans ce chapitre nous présentons d'abord le principe théorique de la méthode utilisée pour décrire la congestion, puis la modélisation de la propagation des flux.

2.1.- Méthode des débits cumulés

En 1956 Lightill, Withman et Richards proposent un modèle théorique, connu sous le nom de modèle LWR. Ce modèle met en relation débit, concentration et vitesse moyenne spatiale ($Q=K*V$). Le modèle est très utilisé en théorie du trafic pour l'analyse de l'écoulement unidirectionnel de flux. Supposant que le long de l'infrastructure il n'y a ni apport ni perte, l'équation de continuité utilisant ces trois notions s'écrit :

$$\frac{\partial K(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = 0 \quad \text{où :}$$

K (concentration): nombre de véhicules par unité de longueur de l'infrastructure à l'instant t
Q (débit) : nombre de véhicules passant en x à l'instant t.

Considérant un flux continu et homogène de véhicules, la relation $Q=KV$ exprime deux états de trafic : fluide et congestionné. Pour une même valeur du débit Q la relation peut donner deux valeurs de la vitesse V. Un état de trafic est dit fluide quand une augmentation de la concentration jusqu'à une valeur critique (K_C) entraîne une augmentation du débit. L'insertion d'un véhicule supplémentaire ne gêne pas l'écoulement du trafic en amont du point d'insertion. Il est congestionné quand une augmentation de la concentration au-delà de la valeur critique entraîne une diminution du débit. A partir d'un certain nombre de véhicules déjà présents sur l'infrastructure, l'insertion d'un véhicule supplémentaire contribue à réduire la vitesse de ceux qui le suivent. Ces deux états de trafic sont couramment représentés à l'aide du diagramme fondamental triangulaire de la page suivante.

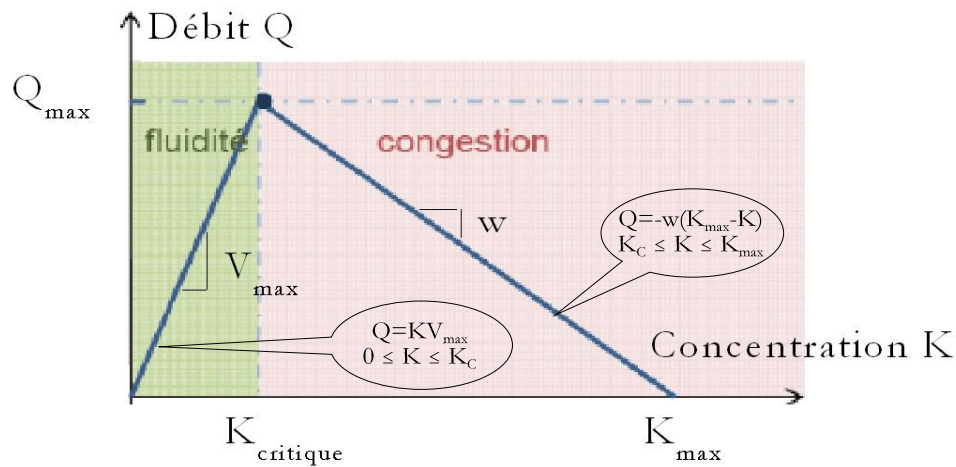


Figure 2-1 : Diagramme fondamental triangulaire

En 1992, G. F. Newell [NEWELL Part I, 1992] introduit la notion de débits cumulés pour l'analyse des files d'attente en amont d'une section de capacité réduite plutôt que de travailler directement avec les débits. Le débit cumulé ou nombre de véhicules cumulés en un point est le nombre de véhicules comptabilisé en ce point depuis le passage d'un véhicule de référence choisi arbitrairement. On note donc $N(x, t)$ le nombre de véhicules passant en x à l'instant t depuis le passage en x à l'instant t_0 du véhicule de référence noté N_0 . Sans mouvement latéral des véhicules en vue de réaliser des manoeuvres de dépassement ou de changement de voie et roulant à vitesse constante sur un segment AB on déduit les propriétés suivantes des courbes des débits cumulés en A et en B (*voir figure suivante*) :

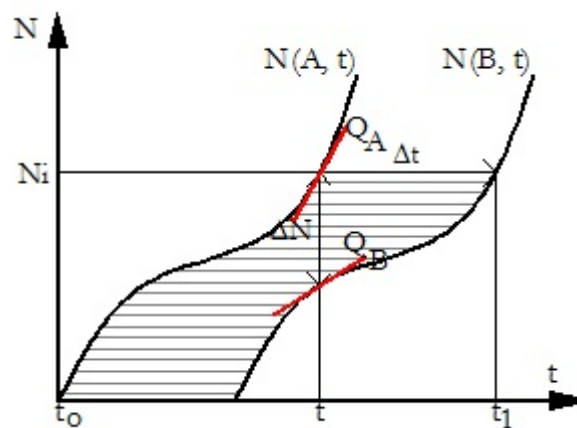


Figure 2-2 : Courbes des débits cumulés aux extrémités d'un tronçon AB

- la courbe des débits cumulés en tout point est toujours croissante ;
- la pente de la courbe à tout instant t est le débit Q ;
- la distance verticale N entre les courbes $N(A, t)$ et $N(B, t)$ est le nombre de véhicules entre A et B à l'instant t ;
- la distance horizontale t entre les courbes $N(A, t)$ et $N(B, t_1)$ est le temps de parcours entre A et B du véhicule $\#i$ arrivée en A à l'instant t ;
- l'aire entre les deux courbes (zone hachurée) est le temps de parcours total de l'ensemble des véhicules traversant le tronçon AB entre les dates t_0 et t_1 .
- les débits cumulés respectent la loi de conservation du modèle LWR

Sachant que

$$K(x, t) = -\frac{\partial N(x, t)}{\partial x} ; Q(x, t) = \frac{\partial N(x, t)}{\partial t}$$

L'équation de la continuité s'écrit :

$$\frac{\partial K(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial Q(x, t)}{\partial x} = -\frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial t \partial x} + \frac{\partial N^2(x, t)}{\partial x \partial t} = 0 \quad \text{car} \quad \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial t \partial x} = \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial x \partial t}$$

Soulignons que l'allure lisse de la courbe est une approximation du tracé réel. En effet, on augmente d'un véhicule le nombre précédent. On devrait tracer en réalité une fonction en escalier. Cette allure curviligne permet de déterminer le débit comme la dérivée par rapport au temps (t) et la concentration comme la dérivée par rapport à la position (x).

La méthode des débits cumulés offre un avantage par rapport au modèle LWR dans l'évaluation des continuités. Une discontinuité est définie par la formation d'une onde de choc quand des concentrations différentes se coupent. Le modèle LWR considère cette discontinuité qui se propage avec une vitesse $V_{\text{choc}} = \frac{Q_2 - Q_1}{K_2 - K_1}$.

Avec les débits cumulés, Newell [NEWELL Part II, 1992] propose de considérer la plus faible valeur des débits calculés en un point. La trajectoire des ondes de choc ne sera pas calculée contrairement à ce que fait le modèle LWR, mais sera déduite à posteriori. Le long d'une caractéristique la variation des débits cumulés s'écrit :

$$\frac{dN}{dx} = \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial t} \times \frac{dt}{dx}$$

Remarques :

- le long d'une caractéristique fluide, la variation des débits cumulés (dN/dx) donne $dN/dx = -K + Q/V = -K + K = 0$. Le débit cumulé est ainsi constant le long d'une caractéristique fluide. La courbe des débits cumulés se propage vers l'aval sans se déformer comme le montre la figure 2-2. Sachant N en X à l'instant t_x on déduit N en Y à l'instant $t_y = t_x + (Y-X)/V$ par translation de N suivant le vecteur $\{(Y-X)/V, 0\}$.
- le long d'une caractéristique congestionnée, la variation des débits cumulés (dN/dx) donne $dN/dx = -K + Q/w = -K - (K_{\max} - K) = -K_{\max}$. La courbe des débits cumulés se propage suivant une droite de pente $-K_{\max} \times w$ (propagation vers l'amont). Sachant N en Y à l'instant t_y on déduit N en X à l'instant $t_x = t_y + (Y-X)/w$ par translation de N suivant le vecteur $\{(Y-X)/w, K_{\max} \times (Y-X)\}$. La concentration observée en Y à l'instant t_y atteindra X à l'instant $t_x = t_y + (Y-X)/w$ et le débit cumulé à cet instant vaut $N(y, t_y) + K_{\max} \times (Y-X)$. Ici on considère un stock constant $K_{\max} \times (Y-X)$ qui est la capacité de stockage du tronçon. Ce stock peut être variable et dépend du débit sortant au point de congestion. Dans ce cas le terme $K_{\max} \times (Y-X)$ sera remplacé par $K(Q) \times (Y-X)$.

Les conditions initiales fourniront au plus deux valeurs de N en un point X à l'instant t . L'une à partir des conditions amont où l'on opère une translation unidirectionnelle vers l'aval ; l'autre à partir des conditions aval où l'on opère une translation vers l'amont dans le plan (N, t) . Si les deux courbes se croisent, leurs intersections constituent des discontinuités. A tout instant t , la courbe des débits cumulés est la courbe enveloppe inférieure.

2.1.1.- Analyse de la congestion avec les débits cumulés

La figure 2-2 illustre les courbes de débits cumulés en A et en B dans des conditions de trafic fluide. Les courbes sont donc identiques avec un décalage horizontal t équivalent au temps de parcours entre A et B. Dès l'apparition d'une congestion en B elles ne le sont plus. Notons :

$N_a(x, t)$: le débit cumulé entrant en un point x ou la demande en ce point à l'instant t

$N_s(x, t)$: le débit cumulé sortant en un point x à l'instant t .

En règle générale ce débit sortant est égal à la plus petite valeur entre la demande et l'offre de l'infrastructure. Si la capacité de l'infrastructure en B ne permet pas d'écouler la demande (rétrécissement ou présence d'incident) une congestion se crée en amont de B et se propage vers A. La figure suivante permet d'affirmer :

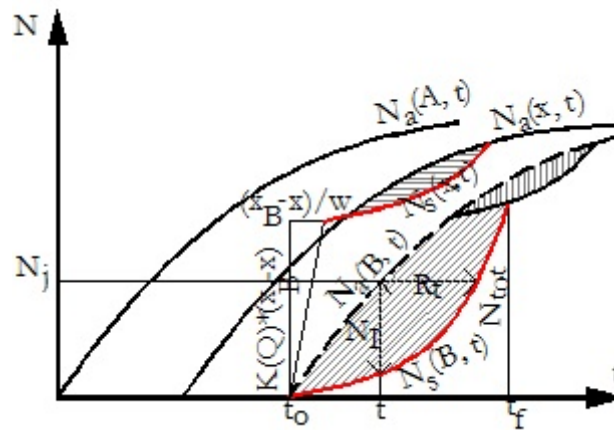


Figure 2-3 : Détermination des débits cumulés entre deux conditions amont et Aval
(Illustration de la formulation de Newell, 1992)

- $N_I = N_a(B, t) - N_s(B, t)$: le nombre de véhicules dans la file d'attente en amont de B à l'instant t. Il permet d'estimer la longueur moyenne de la file d'attente à l'instant t : $L_f(t) = N_I * L_{veh} / \text{nombre de voie} = N_I / K(Q)$;
- le véhicule N_j arrivant à la queue du bouchon à l'instant t sortira à l'instant t' . Il subira un retard $R_t = t' - t$;
- $N_{tot} = N_a(B, t_f) - N_s(B, t_0)$: le nombre total de véhicules gênés par la congestion ;
- l'aire entre les courbes $N_a(B, t)$ et $N_s(B, t)$ de t_0 à t_f (plus grande zone hachurée) représente le temps total perdu par l'ensemble des usagers subissant la congestion ;
- A tout instant t, le débit cumulé est la courbe enveloppe inférieure. Le débit cumulé en B est représenté par la courbe rouge de t_0 à t_f puis la courbe noire en trait plein après t_f .
- l'étude de la congestion en une section x située entre A et B est possible par translation de la courbe des débits cumulés sortant en B. Ici on tient compte de la capacité de stockage du tronçon pour déterminer l'instant où la congestion se forme en amont de x.

La méthode des débits cumulés permet de déterminer, par résolution graphique, les indicateurs d'une congestion (durée perturbation, temps perdu par les usagers, longueur de la file d'attente, nombre de véhicules subissant la congestion,...) depuis son point d'origine jusqu'à un certain point en amont. On peut rechercher le nombre maximal de véhicules dans la file, à quel instant le retard est maximal. Pour des courbes composées d'une succession de droites affines, des expressions analytiques peuvent être déduites. Un exemple sera donné dans le cas d'une congestion engendrée par un incident réduisant l'offre d'une infrastructure.

2.1.2.- Quelques applications de la méthode des débits cumulés

Les débits cumulés sont très utilisés dans la simulation de la congestion. Nous présentons les cas suivants :

- **demande supérieure à la capacité de l'infrastructure en absence d'incident :** la méthode fait apparaître l'importance d'un délestage pour résorber le phénomène.

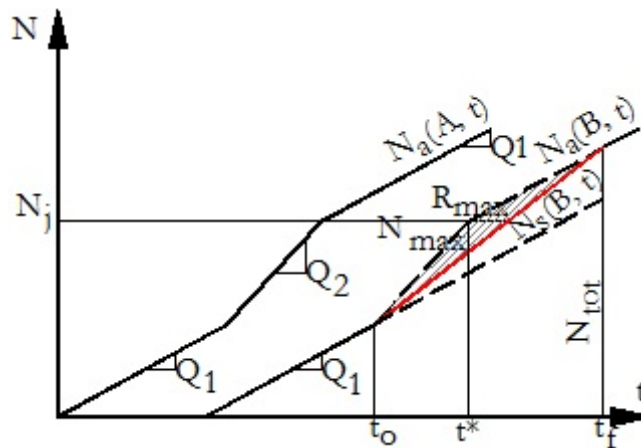


Figure 2-4 : Illustration d'une congestion au droit d'un rétrécissement

Si la capacité de l'infrastructure au droit du rétrécissement était égale à Q_1 la congestion ne serait pas dissipée. En effet, à partir de t_0 une file d'attente se crée en amont de B et croît jusqu'à atteindre une valeur $N_{max} = (Q_2 - Q_1) \times (t^* - t_0)$. Elle se stabilise jusqu'à un délestage de la demande où le phénomène va commencer à se résorber.

- **réduction de l'offre par un incident :** l'étude de la congestion met en évidence l'effet de différentes stratégies telles que réduction de la durée d'intervention,

délestage en amont de la congestion. Avec une réduction de la durée d'intervention, la capacité maximale de la voie sera disponible plus tôt. Il y aura donc moins de véhicules en attente et la perturbation disparaîtra plus tôt.

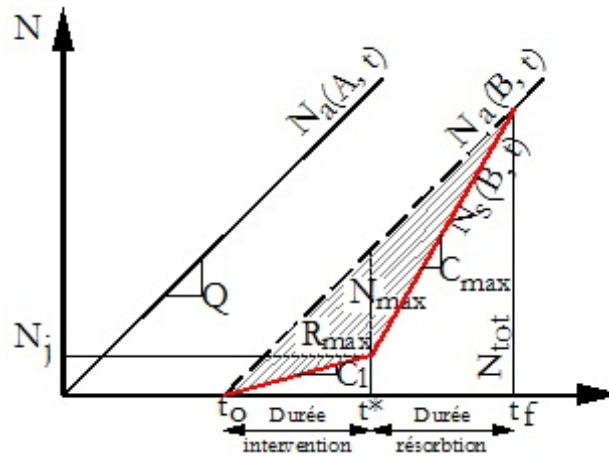


Figure 2-5 : Illustration d'une congestion en cas d'incident

La figure précédente permet d'élaborer des expressions analytiques prouvant le rôle prépondérant de la durée d'intervention dans le traitement d'une congestion avec incident. Tous les indicateurs de la perturbation peuvent être exprimés uniquement en fonction de la durée d'intervention. En effet :

Sachant Q_B pente de $N_a(B, t)$ la demande en B ; C_1 et C_{max} qui constituent $N_s(B, t)$ le débit sortant t_0 la date du début de l'incident, T_i la durée d'intervention $= t^* - t_0$ on peut calculer :

- le nombre de véhicules maximal dans la file d'attente (N_{max})

$$N_{max} = Q_B (t^* - t_0) - C_1 (t^* - t_0) = (Q_B - C_1) \times T_i$$

- la durée du résorption et celle de la perturbation (T_R et T_p)

$$Q_B (T_i + T_R) = C_1 \times T_i + C_{max} \times T_R \Rightarrow T_R = \frac{Q_B - C_1}{C_{max} - Q_B} T_i ; T_p = T_i + T_R = \frac{C_{max} - C_1}{C_{max}} T_i$$

- le nombre de véhicules subissant la congestion (N_{tot})

$$N_{tot} = Q_B \times T_p = Q_B \frac{C_{max} - C_1}{C_{max}} T_i$$

- le temps total perdu sur le tronçon (T_{tot})

$$T_{tot} = \frac{1}{2} N_{max} (T_i + T_R) = \frac{1}{2} (Q_B - C_1) \times \frac{C_{max} - C_1}{C_{max}} T_i^2$$

- le retard maximal (R_{max})

$$C_1 T_i = Q_B (T_i - R_{max}) \Rightarrow R_{max} = \frac{Q_B - C_1}{Q_B} T_i$$

- **calcul du temps de parcours d'un itinéraire** : les courbes de débits cumulés entre deux points d'un itinéraire permettent d'estimer le temps de parcours entre ces deux points. Toutefois la valeur estimée à l'instant t correspond au temps de parcours du véhicule qui sort de l'itinéraire à cet instant. En cas de congestion elles permettent de déterminer le temps de traversée du bouchon pour tout véhicule arrivant à l'instant t en utilisant le débit de sortie.
- **optimisation des interventions programmées** : la méthode peut aider à rechercher le meilleur créneau qui minimise les impacts de la perturbation pour l'utilisateur. Connaissant l'évolution de la demande journalière, la durée de l'intervention et le nombre de voies non neutralisées (donc la capacité disponible), on peut utiliser la méthode des débits cumulés pour évaluer les impacts de la perturbation. Ainsi on peut rechercher le créneau où ces impacts sont les plus faibles en décalant dans le temps la période d'intervention (ATEC 2009).
- **calcul de l'offre d'un carrefour régulé par des feux** : l'utilisation des débits cumulés montre que, dans le cas de cycle fixe, cette offre est égale au produit de la proportion du temps de vert par la capacité de l'infrastructure ($\text{Offre}_{\text{feux}} = Q_{\text{max}} * T_{\text{vert}} / T_{\text{cycle}}$). Ainsi on peut adapter cette offre en fonction de la demande en agissant sur la durée du temps de vert pour avoir un carrefour régulé par feux à cycles variables.
- **répartition dynamique du trafic** : en 2008 Jorge A LAVAL [LAVAL, 2008] publie au "Transportation Research Board" un article sur la répartition dynamique du trafic. Dans cet article il utilise les débits cumulés pour proposer une solution analytique dans le cas d'un réseau simplifié constitué d'une autoroute et de quelques routes de sortie. Tout le trafic converge vers une seule destination sans possibilité de sortir puis de revenir sur la voie principale avant la destination retenue (pas d'insertion). La figure de la page suivante décrit l'évolution de l'écoulement du trafic sur le réseau via un graphe (N, t) considérant deux routes (une route principale avec une offre réduite ϕ et une sortie en amont de la section d'offre réduite).

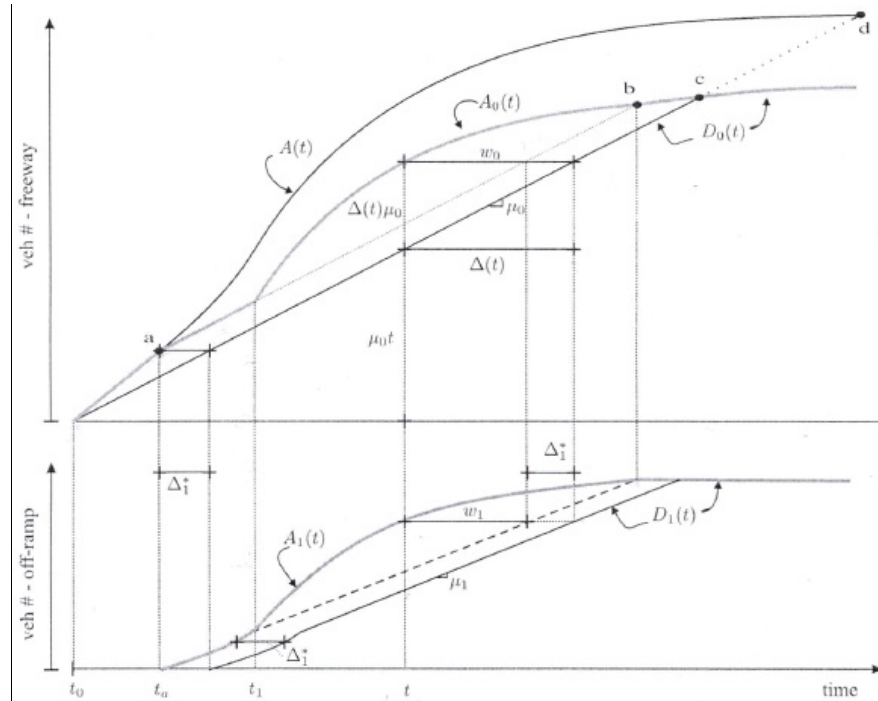


Figure 2-6 : Répartition de trafic sur deux itinéraires

Cette réduction de la capacité et l'accroissement de la demande fait progresser la congestion sur la route principale jusqu'au temps t_a où le retard sur celle-ci vaut le temps de parcours Δ_1^* sur la route 1. A partir de cet instant, la route 1 sera sollicitée pour satisfaire la condition d'équilibre optimale. En effet, tant que la route principale offre de meilleures conditions de parcours (retard sur la principale inférieur à Δ_1^*), un itinéraire alternatif ne sera pas utilisé (principe de Wardrop). Dans le cas contraire l'utilisateur doit être informé pour un report du surplus de la demande sur la route 1 pour maintenir un retard équivalent à Δ_1^* sur la route principale. De cette résolution il ressort que :

- l'affectation est une fraction constante de la demande et proportionnelle aux capacités disponibles.
- l'optimum est obtenu après séquence alternée de deux modes de répartition. La détermination du nombre de route à utiliser est donc séquentielle.
- la démarche séquentielle ne permet pas d'élaborer une résolution analytique.

Malgré ces simplifications, il reste difficile d'obtenir une résolution analytique car les modes d'affectation optimaux sont séquentiels et ne peuvent être obtenus qu'au fil du temps. Une approximation est proposée pour pallier ces inconvénients et écartant un des modes de répartition. Les résultats font apparaître un écart entre les deux approches (graphique et analytique) augmentant avec le taux d'accroissement de la demande.

Les deux résolutions ne considèrent pas d'insertion latérale sur la route principale. On écarte ainsi la possibilité de sortir puis de revenir sur l'autoroute. Il existe un fort impact mutuel entre les écoulements sur celle-ci et sur les bretelles d'insertion. On peut approfondir les approches en intégrant la possibilité d'insertion ; voire une insertion régulée qui constitue un facteur potentiel de chute de capacité sur l'autoroute.

2.1.3.- Limites et possibilités d'extension des débits cumulés

L'application directe de la méthode se heurte au cas d'itinéraire ayant plusieurs points d'échanges importants et assez éloignés pour ne pas les agréger. G. F. NEWELL [NEWELL Part II, 1992] propose de déterminer le débit net (débits entrants - débits sortants) entrant en ces points d'échanges (nœuds).

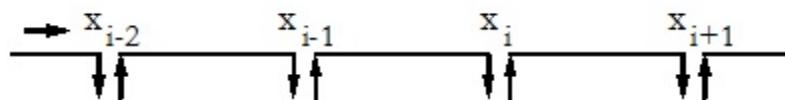


Figure 2-7 : Infrastructure avec plusieurs points d'échanges

Pour connaître le débit cumulé en un point x compris entre deux nœuds x_{i-1} et x_i il suffit d'estimer :

- les capacités en amont et en aval des nœuds ;
- le temps de propagation entre x_i et x_{i-1} ;
- le nombre maximum de véhicules entre x_{i-1} et x ;
- le débit cumulé entrant au premier nœud du système.

Le débit en aval de tout nœud vaut donc le débit en amont du nœud plus le débit net entrant. En absence de file d'attente le débit cumulé ne varie pas de l'aval du nœud x_{i-1} à l'amont du nœud x_i . Dans le cas contraire Newell propose de procéder par itération en

prenant la plus faible des quatre valeurs suivantes :

- le débit en aval du noeud x_{i-1} (le débit en amont de x_{i-1} plus le débit net entrant). Le débit n'est contraint par aucune capacité ;
- le débit, à l'instant précédent, en amont de x_i plus la capacité en amont de x_i . Le débit est contraint par la capacité amont de x_i ;
- le débit, à l'instant précédent, en aval de x_i plus la capacité en aval de x_i moins le débit net entrant en x_i à l'instant t . Le débit est contraint par la capacité en aval de x_i ;
- le débit amont du noeud x_{i+1} à l'instant précédent la propagation des ondes entre x_i et x_{i+1} plus le nombre de véhicules entre x et x_i moins le débit net en x_i . Le débit est ici contraint par une file d'attente en aval de x .

Le modèle précédent néglige l'effet de congestions sur les débits entrants et sortants aux noeuds et suppose que les débits sortants peuvent être connus. Pour l'améliorer Newell [NEWELL Part III, 1992] propose de prendre en compte les débits entrant par destination et suppose connus uniquement les débits entrants par destination. En l'absence de file d'attente, le débit cumulé passant en x à destination de x_j est la somme des débits cumulés, à destination de x_j , des noeuds en amont de x . Dans le cas contraire, on étudie la propagation du débit en aval de x_i à destination de x_j imposant la contrainte. On effectue la translation de cette contrainte suivant le vecteur (temps de propagation des ondes entre x_i et x_{i-1} ; nombre de véhicules entre x_{i-1} et x). Ce procédé permet de tracer les courbes jusqu'à l'instant où la congestion atteint le noeud x_{i-k} ou quand elle quitte x_{i-k+1} si elle n'atteint pas x_{i-k} .

2.2.- Analyse de la propagation des flux

Nous utilisons une extension de la méthode des débits cumulés en considérant à priori un pas de temps d'une minute pour pouvoir modéliser les bretelles d'entrée et de sortie. Pour chaque arc nous déterminerons les courbes $N_a(t)$ et $N_s(t)$ respectivement nombre cumulé de véhicule arrivant et sortant de l'arc.

En situation fluide, ces courbes sont décalées du temps de parcours à vide. En congestion suite à un incident entraînant une réduction de l'offre, une file d'attente dont la longueur dépend du débit sortant se crée sur l'arc (A_i). A partir de l'instant où la file occupe toute la longueur du tronçon en amont de la section de congestion, le débit sortant de l'arc A_{i-1} doit être réduit car la congestion va s'y propager. Le débit entrant sur l'arc A_i sera à son tour réduit.

A tout instant, connaissant le débit sortant en A_i , on peut déduire la concentration correspondante puis la capacité de stockage ($L \times K_{incident}$). Si le nombre de véhicules présents sur le tronçon, à cet instant, est supérieur ou égal à la capacité de stockage, on réduit le débit entrant à l'arc A_i et celui sortant de l'arc A_{i-1} au débit sortant de l'arc A_i . L'excédent de demande sera reporté sur les arcs avoisinants en tenant compte de leur réserve. La figure suivante illustre le principe de propagation.

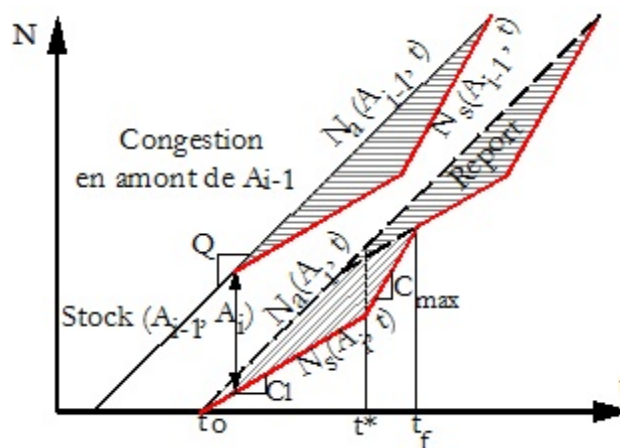


Figure 2-8 : Principe de propagation de la congestion

Dans la simulation, une variable sera prévue pour évaluer la capacité d'entrée d'un arc. Si la demande totale provenant des arcs amont dépasse la capacité d'entrée de l'arc aval, l'offre disponible sera répartie sur les arcs amont immédiats au prorata des demandes sortantes. Considérant la configuration simplifiée suivante, pour chaque arc sortant A on répartit son l'offre sur les arcs amont B et C comme suit :

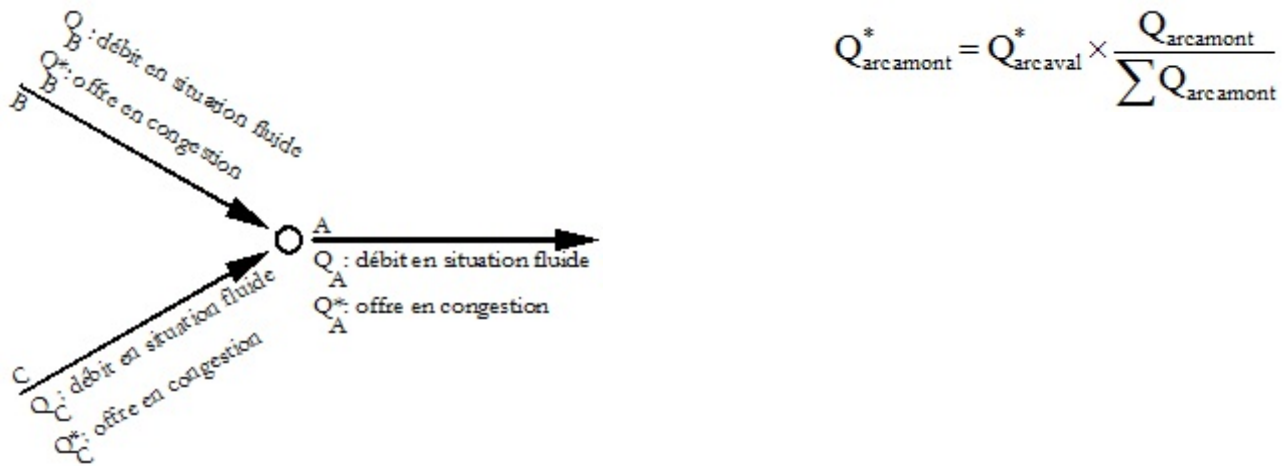


Figure 2-9 : Principe de répartition des capacités de sortie

On répartit ici l'offre disponible aux arcs amont qui alimente l'arc A au prorata des sollicitations des arcs B et C. Cette formule sera appliquée pour chaque arc aval pris séparément car chacun pouvant mener à une destination différente. Ainsi pour chaque destination, nous vérifions la capacité de l'arc pouvant y conduire aux regards des demandes vers cette destination.

2.3.- Affectation des flux aux noeuds

Ne disposant pas de données de comptages de flux directionnel en aval des noeuds, nous ne pouvons décrire la proportion réelle d'utilisateurs venant d'une entrée du noeud pour aller à chacune des sorties en fonction de leur destination finale. Nous retiendrons des coefficients d'affectation tenant compte de la destination finale de l'utilisateur et du temps de parcours des arcs aval immédiats en conditions de trafic fluide. Il s'agit d'une application du principe de Wardrop sans tenir compte de ce qui se passe aux autres noeuds.

Supposant que les usagers connaissent le réseau, ils choisiront l'arc de sortie qui minimise leur temps de parcours en conditions de trafic fluide. Ainsi l'utilisateur a tendance

à se diriger vers l'autoroute à moins qu'il existe un carrefour, voisin de sa position, directement connecté à sa destination. On obtient une matrice de coefficients 0 ou 1 qu'on appelle matrice de référence car on ne tient compte d'aucune possibilité de congestion sur le réseau. Cette matrice d'itinéraire est conçue pour tenir compte de l'apparition d'un incident et de la stratégie de gestion. Ainsi, si un arc est fermé à la circulation, son coefficient d'affectation sera toujours nul même si pour atteindre certaines destinations il est le meilleur itinéraire en terme de temps de parcours. Selon la stratégie de gestion, certains itinéraires seront imposés à partir de certains noeuds.

L'outil de simulation exécutera deux états statiques. Une répartition considérant la matrice d'itinéraire de référence avant et après la perturbation et une matrice d'itinéraire liée à la stratégie de gestion de trafic testée pendant la durée d'application de celle-ci. Cette approche de l'affectation est très simpliste et nécessite une amélioration pour le développement de l'outil. Le temps de parcours est loin d'être suffisant comme seul critère d'affectation sans se préoccuper des conditions aval jusqu'à la destination voulue.

Dans la perspective du développement de l'outil, il faut établir l'ensemble des itinéraires possibles menant d'un noeud à la destination voulue. A cet effet les notions de la théorie des graphes peuvent être très utiles (recherche du plus court chemin,...). Si toute la demande sortante peut emprunter un seul itinéraire, ce sera le chemin le plus court en terme de coût du trajet. Sinon elle devra être répartie pour optimiser les conditions de circulation sur le réseau. Les paramètres tels que : temps de parcours à vide, ratio demande sur capacité, retard, véhicules en attente peuvent être pris en compte pour le calcul du coût du trajet. Il faudra développer un mode d'affectation dynamique et automatisé pour une bonne application du principe de Wardrop. La génération automatique de ces coefficients de répartition doit prévoir la prise en compte des poids lourds qui peuvent faire l'objet de stratégies de gestion de trafic différentes des véhicules légers.

3.- Principales étapes de la modélisation

La partie du réseau à étudier se situe entre les échangeurs Vienne sud (sortie No 11) et Valence nord (sortie No 14) sur l'autoroute A7. Les axes à prendre en compte sont :

- dans le sens nord-sud : l'autoroute A7, la route départementale RD1086 (ex RN86) et la route nationale RN7 ;
- dans le sens ouest-est : les tronçons de routes départementales et nationales reliant les trois axes précédents.

La description du réseau nécessite au préalable sa cartographie pour fixer les différents éléments constitutants. Cette cartographie permettra d'élaborer un graphe du réseau illustrant les principales interactions entre les différents axes retenus. On analysera le secteur entre Vienne et Valence. Une fois la décomposition validée on peut commencer par définir les caractéristiques de ces éléments.

3.1.- Graphe du réseau

L'étude vise à simuler le fonctionnement d'une forte congestion sur le réseau. Une description assez fine de celle-ci est donc nécessaire au préalable. Elle permet de représenter toutes les interactions (échanges de flux) entre les éléments du réseau, l'offre de l'infrastructure et sa sollicitation en fonction des destinations. Utilisant une base de données mapinfo, nous avons réalisé un graphe présentant les différents courants directionnels d'échange entre les éléments (*voir annexe A, Planches 1 à 5*). Ce graphe a été réalisé par identification de sections courantes homogènes. L'homogénéité est définie ici par les caractéristiques transversales de la chaussée et de son environnement. Pour chaque sens de circulation l'axe est découpé en autant de tronçons qu'il y ait de changement pour un des critères suivants :

- nombre de voies de circulation de la chaussée sur une longueur supérieure à 100m;
- existence de voies spécifiques pour véhicules lents (voies lentes, zones de stockage);
- présence d'intersections connectant deux éléments du réseau (échange de flux) ;
- vitesse pratiquée ;

- zone traversée (agglomération, hors agglomération) ;
- catégorie administrative de l'axe (RD, RN, Autoroute).

Les figures des deux pages suivantes illustrent les échanges aux extrémités de la zone d'étude.



Figure 3-1 : Vue aérienne de l'échangeur 11, Vienne sud

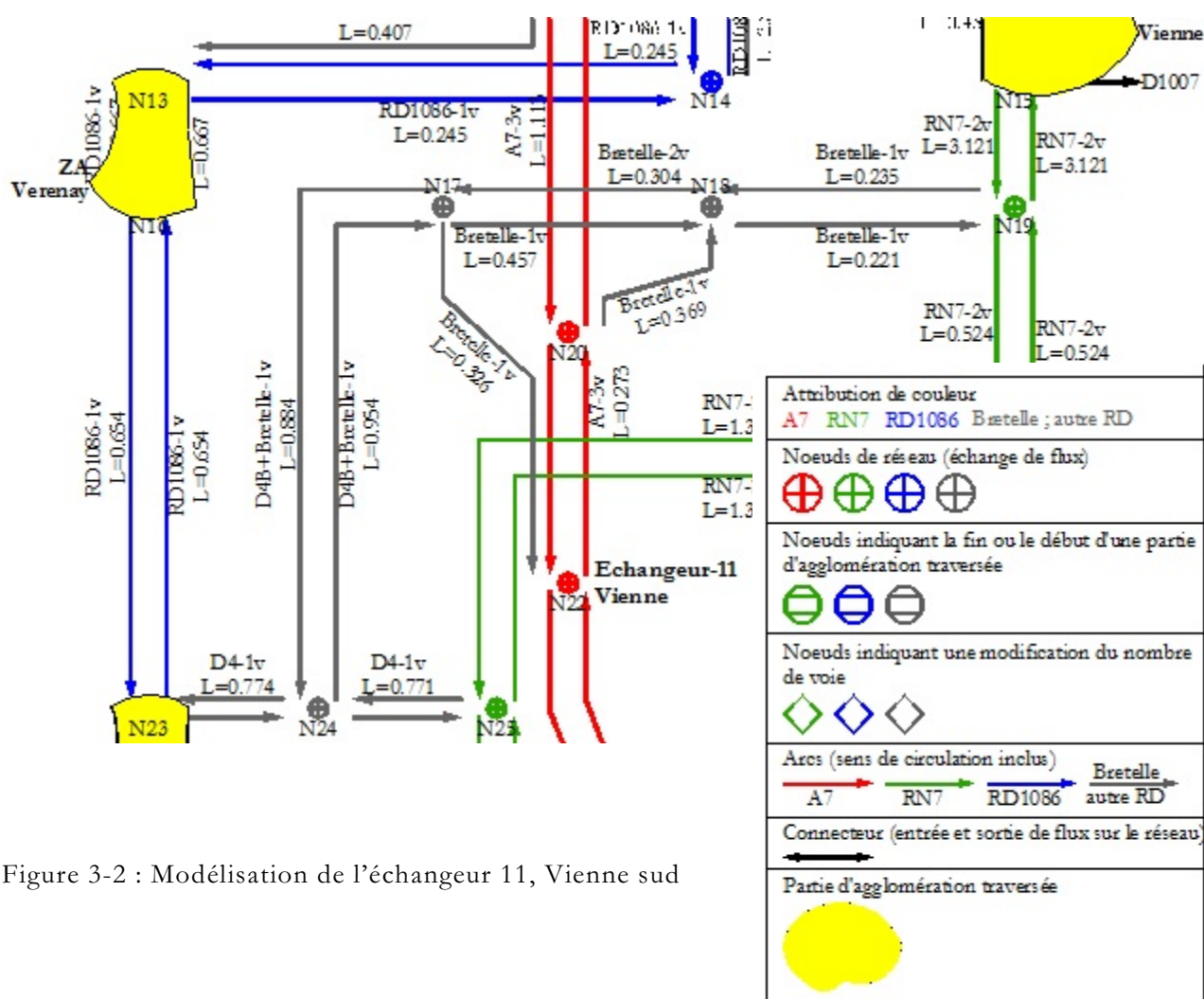




Figure 3-3 : Vue aérienne de l'échangeur 14, Valence nord

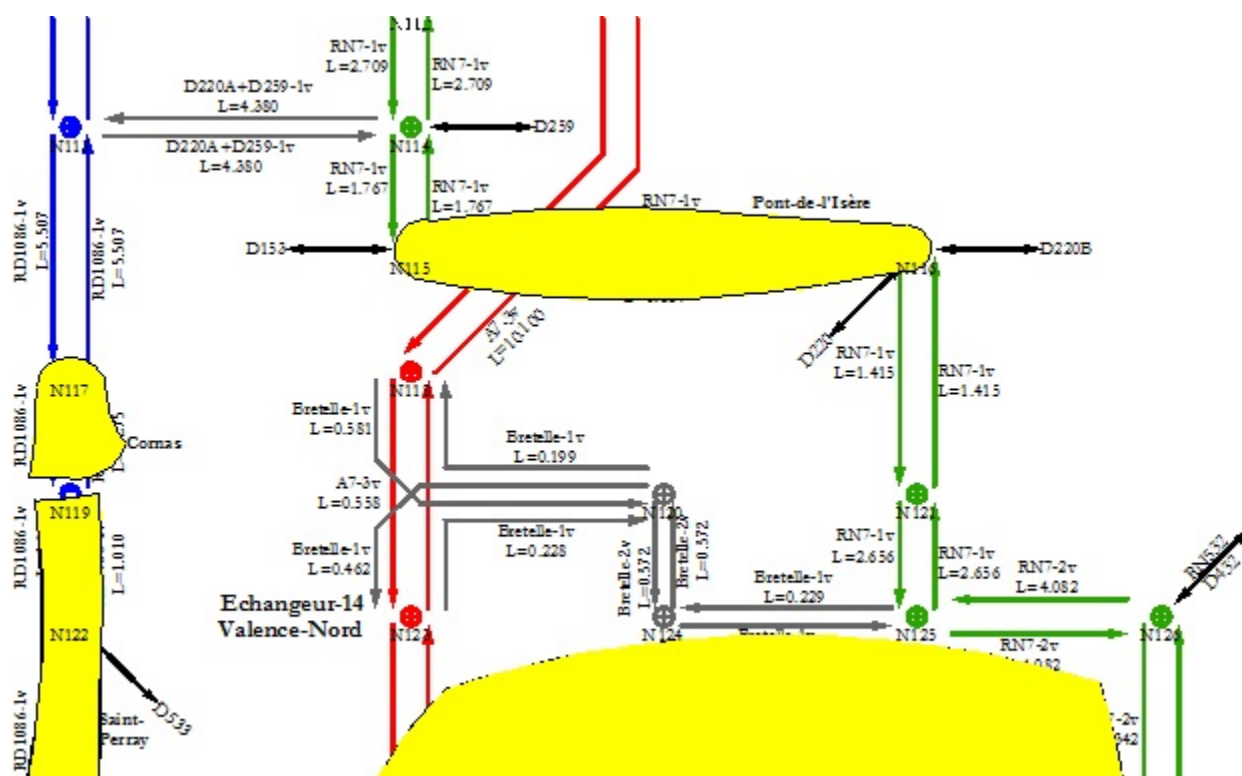


Figure 3-4 : Modélisation de l'échangeur 14, Valence nord

Le réseau est décrit par des nœuds, des liens directionnels (appelés arcs) possédant certains attributs et des flux de déplacements. Cette première représentation assez détaillée de tous les flux directionnels est analysée afin d'établir un graphe simplifié pour l'étude. Cette agrégation présente les principaux échanges entre les éléments tout en minimisant les disparités en terme de capacité entre éléments agrégés. Après agrégation on retiendra les caractéristiques les plus défavorables. La capacité, la concentration maximale, la capacité de stockage et la vitesse d'un arc retenu après regroupement sont celles ayant la plus faible valeur sur les arcs constituants.

On retient un réseau simplifié entre Vienne et Valence avec des arcs à sens unique nord-sud pour l'autoroute A7, la RD1086 et la RN7 et des arcs à double sens pour les routes départementales reliant ces trois axes. La prise en compte de l'autre sens ne posera aucune difficulté pour l'outil. Ce choix est dû à l'insuffisance de données pour modéliser tous les échanges (problèmes de la répartition aux noeuds) d'une part, par l'objectif fixé pour cette phase des travaux d'autre part. Ici on s'intéresse à un cas de portée limitée pour tester l'outil et analyser sa faisabilité. Il n'est pas nécessaire d'avoir à cette étape une modélisation très détaillée du réseau. Il est même recommandé de commencer avec un cas simplifié qui permettra de définir les fonctionnalités de l'outil pour mieux intégrer d'autres contraintes ultérieurement. Des améliorations sont à prévoir dans le cadre de projet de recherche donnant suite aux travaux réalisés au cours de ce stage.

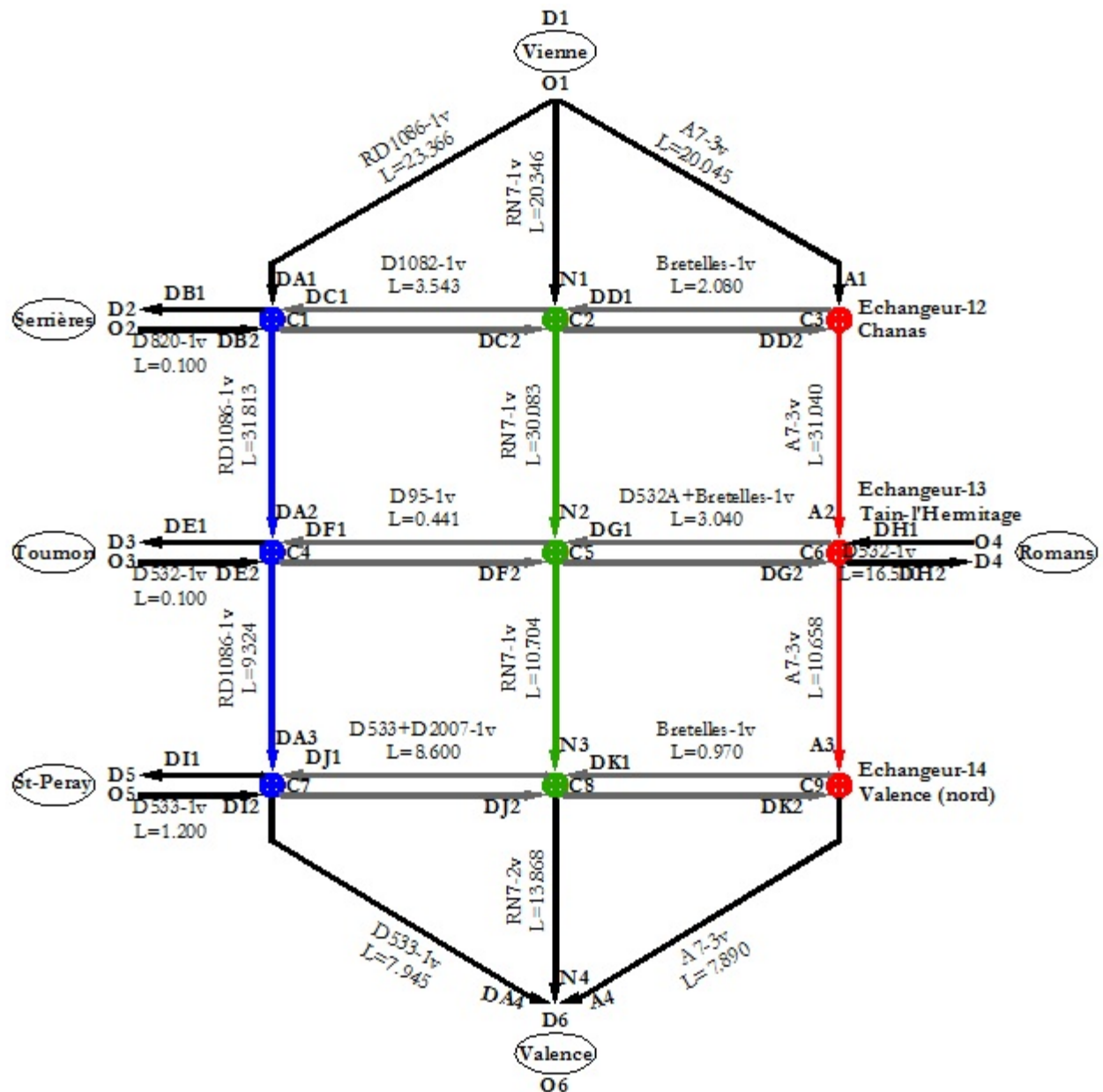


Figure 3-5 : Graphe simplifié retenu pour la modélisation du réseau

3.1.1.- Définitions et caractéristiques des nœuds

Nous retenons trois types de nœuds : le centroïde de zone, le nœud d'injection et le nœud de réseau.

Les centroïdes de zone sont des nœuds fictifs qui représentent dans notre cas une destination à atteindre ou une origine de flux de déplacements. Ils sont obtenus par découpage du secteur d'étude en considérant comme frontière de zones des axes routiers

structurants, des cours d'eau importants, des limites communales, départementales... Toutefois un centroïde peut regrouper plusieurs agglomérations. Dans le cadre de ce projet nous retenons les principales origines / destinations suivantes regroupées en :

Échanges de flux nord-sud :

- un secteur nord représentant les flux d'échanges avec Vienne et le nord de Vienne. Ces flux atteignent le réseau via la RD1086, la RN7 et l'autoroute A7. Nous l'appelons centroïde de Vienne ;
- un secteur sud représentant les flux d'échanges avec Valence et le sud de Valence. Ces flux atteignent le réseau via la D533 se connectant avec la D1086, la RN7 et l'autoroute A7. Nous l'appelons centroïde de Valence.

Échanges ouest-est

- Serrières : échanges avec le réseau via la D820 ;
- Tournon : échanges avec le réseau via la D532 côté ouest ;
- Romans : échanges avec le réseau via la D532 côté est ;
- St-Peray : échanges avec le réseau via la D533 côté ouest.

Chaque centroïde constitue un lieu d'émission et de réception de flux. Omettant les échanges sud-nord, les flux vers Vienne ni ceux originaires de Valence ne seront pris en compte. Dans le fonctionnement du réseau retenu, le centroïde de Vienne ne constitue qu'une origine de flux, et celui de Valence qu'une destination. Les déplacements dont l'origine et la destination appartiennent à la même la zone ne seront pas pris en compte. Ces flux sont dits internes et n'utilisent pas le réseau. Seules les échanges avec un autre centroïde nous intéressent. Les flux d'échanges entre ces différents centroïdes seront regroupés sous forme d'une matrice appelée "matrice Origines-Destinations".

Les noeuds d'injection sont généralement utilisés pour injecter la demande provenant d'une zone extérieure de la zone d'études ou pour isoler un générateur ponctuel. Pour la modélisation du réseau d'étude ils ont le rôle de filtrage des flux en distinguant flux émis et flux reçus. Les flux émis par un centroïde arrivent d'un noeud noté O_i et ceux reçus par le centroïde aboutissent à un noeud noté D_i ($i=1,...,6$). Ces noeuds assurent l'interface entre centroïde et réseau.

Les noeuds de réseau sont les intersections entre les arcs du réseau. Dans le graphe détaillé certains noeuds de réseau sont placés pour différencier des arcs dont certaines caractéristiques n'ont pas la même valeur pour la même route. Dans les autres cas les noeuds de réseau représentent les carrefours.

Les centroïdes sont renseignés par le trafic journalier total qu'ils émettent (somme pour toutes les destinations) ou reçoivent (somme pour toutes les origines dont la destination est le centroïde en question). On fournit donc les débits entrants aux noeuds d'injection de type "origine" et les débits sortants des noeuds d'injection de type "destination". Ces noeuds sont aussi dotés des attributs des noeuds de réseau

Pour les carrefours (noeuds de réseau) on fournit un nom (code) pour les identifier, l'ensemble des arcs arrivant au nœud (arcs amont), ceux partant du nœud (arcs aval) le débit entrant (somme des débits des arcs amont), le débit sortant (somme des débits des arcs aval).

3.1.2.- Définitions et caractéristiques des arcs

Sur le réseau il y a deux types de liens : les connecteurs de centroïdes et les liens de réseau appelés arcs puisqu'ils sont conçus pour modéliser un sens de circulation.

Les connecteurs de centroïdes sont généralement des liens fictifs qui assurent la connexion entre le centroïde et le réseau. Nous choisissons de préférence des tronçons de route pour relier les centroïdes au réseau. En effet, les centroïdes retenus sont généralement à proximité de certains noeuds de réseau. Le choix d'une infrastructure physique semble plus pertinent pour jouer ce rôle. Leurs caractéristiques, que nous décrirons plus loin, peuvent avoir un impact sur les conditions de trafic au carrefour le plus proche. Ce choix facilite aussi la modélisation car les caractéristiques renseignées sont les mêmes pour les autres liens. En outre, il n'est plus nécessaire d'effectuer une agrégation pour déterminer des valeurs moyennes ou minimales de l'ensemble des infrastructures du centroïde pour définir un connecteur représentatif.

Les liens de réseau correspondent aux tronçons d'infrastructure support du trafic sur le réseau. Dans le cas d'une description fine, on se rapproche de la réalité. Dans le graphe simplifié on traduit les fonctionnalités principales. Tous les liens (connecteurs et arcs) sont dotés d'un ensemble d'attributs nécessaire à la modélisation. Pour chaque lien nous précisons :

- les caractéristiques physiques de l'infrastructure : un nom (code) pour l'identifier, le nombre de voie, la longueur ;
- sa localisation dans le graphe : il est repéré par les noeuds amont et aval ;
- les paramètres liés au trafic sur le lien : la capacité (celle à la sortie), le débit maximal qui peut varier suite à un incident, la concentration maximale, la vitesse libre, le temps de parcours à vide calculé à partir de la vitesse libre, la capacité de stockage.

Le tableau suivant présente quelques arcs modélisés et les attributs retenus.

No Arc	Catégorie route	Sens	Nom Arc	Nœud amont	Nœud aval	Nbre Voie	Long km	Tvide mn	Capacité véh/h	Qmax véh/h	Kmax véh/km	Vmax km/h
1	Connecteur	N->S	A1	O1	C3	3	20.045	8	9000	9000	600	150
2	Autoroute	N->S	A2	C3	C6	3	31.040	16	5400	5400	360	120
3	Autoroute	N->S	A3	C6	C9	3	10.658	5	5400	5400	360	120
4	Connecteur	N->S	A4	C9	D6	3	7.890	3	9000	9000	600	150
5	Connecteur	N->S	N1	O1	C2	1	20.346	8	3000	3000	200	150
6	RN	N->S	N2	C2	C5	1	30.080	20	1200	1200	100	90
7	RN	N->S	N3	C5	C8	1	10.704	7	1200	1200	100	90
8	Connecteur	N->S	N4	C8	D6	2	13.868	6	6000	6000	400	150
9	Connecteur	N->S	DA1	O1	C1	1	23.366	9	3000	3000	200	150
10	RD	N->S	DA2	C1	C4	1	31.813	27	1000	1000	100	70
11	RD	N->S	DA3	C4	C7	1	9.324	8	1000	1000	100	70
12	Connecteur	N->S	DA4	C7	D6	1	7.945	3	3000	3000	200	150
13	Connecteur	E->O	DB1	C1	D2	1	0.100	1	3000	3000	200	150
14	Connecteur	O->E	DB2	O2	C1	1	0.100	1	3000	3000	200	150
15	RD	E->O	DC1	C2	C1	1	3.543	3	1000	1000	100	70
16	RD	O->E	DC2	C1	C2	1	3.543	3	1000	1000	100	70
17	Bretelle	E->O	DD1	C3	C2	1	2.080	2	1000	1000	100	50
18	Bretelle	O->E	DD2	C2	C3	1	2.080	2	1000	1000	100	50
19	Connecteur	E->O	DE1	C4	D3	1	0.100	1	3000	3000	200	150
20	Connecteur	O->E	DE2	O3	C4	1	0.100	1	3000	3000	200	150

Tableau 3-1 : Tronçons de réseau modélisé et leurs attributs

3.2.- Description de la demande

La demande est fournie sous forme de trafic journalier dans une matrice origine-destination. Cette matrice est établie à partir de données d'enquêtes de 2005 au péage de Vienne. Les valeurs sont actualisées en considérant les indices annuels de débits sur le réseau routier national. Le coefficient de majoration est le ratio entre l'indice de l'année en cours (2010) et celle de 2005. Ainsi nous multiplions les valeurs de 2005 par le ratio 1.115/1.080 pour avoir des valeurs tendance de 2010. Cette matrice est ensuite transformée en pourcentage pour avoir la répartition de la demande totale par destination.

Tableau 3-2a			Destinations						Total
			38	07	07	26	07	26	
Origines		Zone	Vienne	Serières	Toumon	Romans	St-Peray	Valence	
	38	Vienne	0	4 574	2 556	2 480	226	17 133	26 970
	07	Serières		0	0	0	0	215	215
	07	Toumon			0	0	0	297	297
	26	Romans				0	0	760	760
	07	St-Peray					0	95	95
	26	Valence						0	0
Tableau 3-2b			Destinations						Total
			38	07	07	26	07	26	
Origines		Zone	Vienne	Serières	Toumon	Romans	St-Peray	Valence	
	38	Vienne	0.000	0.170	0.095	0.092	0.008	0.635	1.000
	07	Serières		0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000
	07	Toumon			0.000	0.000	0.000	1.000	1.000
	26	Romans				0.000	0.000	1.000	1.000
	07	St-Peray					0.000	1.000	1.000
	26	Valence						0.000	0.000

Tableau 3-2a : Trafic journalier VL émis par origine

Tableau 3-2b : Répartition du trafic journalier VL par destination

			Destinations						
Tableau 3-3a			38	07	07	26	07	26	
Origines		Zone	Vienne	Serrières	Toumon	Romans	St-Peray	Valence	Total
	38	Vienne	0	929	395	288	16	1 526	3 154
	07	Serrières		0	0	10	0	0	10
	07	Toumon			0	5	0	0	5
	26	Romans				0	0	231	231
	07	St-Peray					0	0	0
	26	Valence						0	0
			Destinations						
Tableau 3-3b			38	07	07	26	07	26	
Origines		Zone	Vienne	Serrières	Toumon	Romans	St-Peray	Valence	Total
	38	Vienne	0.00	0.29	0.13	0.09	0.00	0.48	1.00
	07	Serrières		0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
	07	Toumon			0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
	26	Romans				0.00	0.00	1.00	1.00
	07	St-Peray					0.00	0.00	0.00
	26	Valence						0.00	0.00

Tableau 3-3a : Trafic journalier PL émis par origine

Tableau 3-3b : Répartition du trafic journalier PL par destination

A partir de comptages effectués sur le réseau, nous établissons l'évolution du débit horaire dans la journée (évolutions distinctes VL, PL). On déduit des coefficients de répartition horaire obtenus à partir du ratio entre le débit à l'heure h et la demande journalière observée. Cette répartition permettra d'avoir le débit horaire du trafic émis par chaque origine. Il s'agit de répartir le trafic total émis par une origine sur la journée. Pour un noeud d'injection de type "origine" la demande journalière qu'il aura à injecter sur le réseau est répartie suivant l'évolution du trafic dans la journée.

3.2.1.- Effets des poids lourds

La présence de poids lourds a un impact notamment sur le temps de parcours, le temps intervéhiculaire, la visibilité et l'apparition rapide d'une congestion dans des zones non adaptées à leurs caractéristiques physiques ou mécaniques. La gestion de trafic peut devenir plus difficile en cas d'un taux important de poids lourds qui restreignent la capacité d'écoulement du trafic. L'influence des poids lourds, tant sur le débit que sur la concentration diffère de celle des véhicules légers. Cette différence de comportement confère au trafic routier un caractère hétérogène. Krammes et Crowley [Krammes et

Crowley, 1986], puis Al-Khaisy, Hall et Reisman [Al-Khaisy, Hall et Reisman, 2002] ont expliqué ces différences qui sont de trois ordres :

- les caractéristiques physiques plus importantes des poids lourds font d'eux des consommateurs d'espace et rendant ainsi la circulation plus dense ;
- les caractéristiques cinématiques et l'usage font que les poids lourds roulent à une vitesse plus faible et sont plus sensibles aux sites difficiles ;
- le comportement du conducteur diffère suivant le type de véhicules dans son environnement immédiat. La présence de poids lourds exige une meilleure visibilité pour effectuer certaines manoeuvres.

Kochelman [Kochelman, 1998] et Wu [Wu, 2002] ont montré que la présence de poids lourds a une influence notable sur le Diagramme Fondamental. Les résultats de leurs recherches ont mis en évidence la diminution de la capacité, de la concentration maximale, de la vitesse et de l'efficacité de l'écoulement du trafic en cas de présence de poids lourds.

Pour le dimensionnement des infrastructures et l'évaluation du niveau de service, les américains utilisent un coefficient d'équivalence. Il s'agit du "nombre de véhicules légers qui utiliseraient la même fraction de capacité de l'infrastructure qu'un poids lourd dans les mêmes conditions de trafic et de régulation" [Transportation Research Board, 2000]. A l'aide de ce coefficient le débit est exprimé en unités de véhicules légers (uVL). A titre d'exemple, les valeurs utilisées aux Etats-Unis, sont données dans le "Highway Capacity Manual" en fonction du relief : 1.5 en terrain plat, 2.5 en terrain vallonné et 4.5 en montagne. Toutefois, de nombreux paramètres peuvent être considérés comme critères d'équivalence (vitesse, concentration, retard,...). Le choix d'un critère doit être motivé par la finalité recherchée. Le coefficient d'équivalence doit être décliné pour chaque situation à étudier (états de trafic, diversités de poids lourds, caractéristiques de l'infrastructure...).

En France le coefficient d'équivalence est pris généralement égal à 2.5. C'est cette valeur que nous retenons pour la conversion des PL en VL au cours de la simulation. Comme nous travaillons avec des demandes journalières obtenues à partir d'une matrice de trafic O-D, nous utiliserons les données de comptages pour la répartition de cette demande journalière et ainsi obtenir des débits horaires. A partir des données de comptages on calcul les proportions de chaque type de véhicule à chaque date :

Modélisation Dynamique Simple

$\%VL(t) = \text{Nb}VL(t) / \text{Nb}VL(\text{jour})$; $\%PL(t) = \text{Nb}PL(t) / \text{Nb}PL(\text{jour})$. Il suffit ensuite d'appliquer le coefficient de répartition de chaque catégorie à la demande correspondante puis de convertir le nombre de PL en VL avant de faire la somme. On a donc :

- Demande horaire par destination d : $D_{uVL}(t, d) = d_{VL} \times \%VL \times D_{VL} + d_{PL} \times \%PL \times D_{PL}$
- Demande horaire totale : $D_{uVL}(t) = \%VL \times D_{VL} + \%PL \times D_{PL}$

: coefficient d'équivalence PL-VL ; d_{VL} , d_{PL} part de la demande journalière VL respectivement PL vers la destination d.

Le tableau suivant présente la demande horaire provenant de Vienne ainsi que la répartition de cette demande par destination.

		Trafic O1			Destinations				
Date		Données comptage		Vienne	Serières	Tournon	Romans	St-Peray	Valence
				26970	0.17	0.09	0.09	0.01	0.64
				3154	0.29	0.13	0.09	0.00	0.48
Hre	mn	VL	PL						
1	0	206	135	367	80	39	34	3	212
2	0	146	128	295	67	32	27	2	167
3	0	114	136	269	64	30	25	2	149
4	0	121	157	298	71	33	27	2	164
5	0	146	192	363	87	41	33	2	200
6	0	249	254	540	125	59	50	4	302
7	0	547	319	934	201	99	86	7	542
8	0	1105	360	1585	317	162	146	12	949
9	0	1421	354	1922	373	194	177	15	1164
10	0	1401	355	1902	370	192	175	15	1151
11	0	1616	388	2171	420	218	199	17	1317
12	0	1681	431	2287	445	231	210	18	1383
13	0	1445	397	1995	391	202	183	15	1203
14	0	1461	398	2013	394	204	185	15	1215
15	0	1663	431	2267	442	229	208	17	1371
16	0	1810	431	2428	469	244	223	19	1473
17	0	1912	437	2545	490	255	234	20	1546
18	0	2002	423	2628	502	263	241	21	1601
19	0	1846	384	2417	461	242	222	19	1473
20	0	1462	340	1952	376	196	179	15	1185
21	0	970	298	1373	272	140	126	10	824
22	0	668	268	1011	207	105	93	8	599
23	0	468	221	743	155	78	68	5	437
24	0	334	175	549	116	58	50	4	321
		24790	7407						

Tableau 3-4 : Répartition du trafic journalier en débit horaire

On peut vérifier que, à tout instant, la somme des demandes par destination est égale à la demande totale d'une part, la somme des demandes réparties est égale à la demande totale convertie en uVL d'autre part. Une fois cette demande injectée sur le réseau, elle sera répartie aux noeuds de réseau à l'aide d'une matrice d'itinéraire. Cette matrice définit, en chaque noeud, pour chaque destination la proportion de la demande empruntant le meilleur itinéraire pour aller à la destination voulue.

L'effet des poids lourds sur la demande peut être pris en compte en utilisant un coefficient d'équivalence. On construit ainsi un flux homogène. L'objectif de la simulation étant de modéliser des stratégies de gestion de trafic en cas de forte congestion, il n'y a pas un grand inconvénient de considérer le trafic homogène, d'appliquer un coefficient d'équivalence et de considérer des concentrations calculées sur la base du nombre de véhicules total exprimés en uVL. Les vitesses pratiquées par les différentes classes de véhicules sont proches et dépendent très peu des caractéristiques de la classe. La concentration peut donc être indépendante de la composition du trafic.

Toutefois, cette conversion a ses limites car les PL et les VL ne circulent pas à la même vitesse. La prise en compte des PL n'est pas aussi facile quand il faut considérer la concentration. De nombreux modèles macroscopiques sont développés pour adapter le modèle LWR aux cas de trafic hétérogène. Ces modèles décomposent le trafic hétérogène, avec ses différents types de véhicules, en différentes classes de trafic homogène. On étudie ensuite chaque classe en considérant leurs caractéristiques ($Q_{PL} = K_{PL} \times V_{PL}$; $Q_{VL} = K_{VL} \times V_{VL}$). Pour appliquer cette méthode il faut décomposer le plus finement possible les classes de véhicules. La catégorie des poids lourds peut regrouper des véhicules de gabarits très variés et peut conduire à une hétérogénéité en terme d'occupation d'espace.

Le modèle multi-classe et mono vitesse proposé par Zhang et Jin [Zhang et Jin, 2002] considère deux classes avec des vitesses différentes en situation fluide mais une vitesse homogène en cas de congestion car la vitesse des VL vont approcher celle des PL. Ce modèle offre une résolution analytique plus simple et est applicable dans le cas de classes différenciées par leur destination. Toutefois, il nécessite l'actualisation de la concentration maximale à tout instant qui dépend du pourcentage de PL. Les concentrations critique et

maximale ne sont plus une caractéristique intrinsèque de l'infrastructure mais dépendent de la composition du trafic.

Dans le cadre du développement de cette modélisation, des stratégies de gestion spécifiques aux PL seront prévues. On ne peut ignorer les interactions entre ces deux classes de véhicules. Pour une modélisation dynamique, d'autres considérations peuvent être prévues. Il fut notamment prendre en compte l'influence de la longueur des PL et celle de la différence de vitesse. Pour le calcul des concentrations on peut retenir [CHANUT, 2005] : $K = K_i / (K_i \times L_i)$ avec K_i concentration de la classe i , L_i espace (longueur véhicule + interdistance) occupé par le véhicule type de la classe i . La concentration et la vitesse globale dépendra de la composition du trafic et seront dynamique.

3.3.- Modélisation de l'incident

Il s'agit de préciser les caractéristiques d'un événement perturbant l'écoulement du trafic. On ne s'intéresse pas ici à la cause de l'incident. On considère une coupure partielle ou totale d'un tronçon du réseau. Nous renseignons son heure d'apparition, son impact sur la capacité de l'infrastructure et la date de remise en état de l'infrastructure.

Dans la codification du réseau tous les arcs sont dotés d'un certain nombre d'attributs dont la capacité et le débit maximal. En présence d'un incident, l'offre (ou encore débit maximal sortant) de l'infrastructure sera inférieure à sa capacité. Il s'agit ici de préciser l'évolution de l'offre pour l'arc où l'incident s'est produit. Cette évolution est fonction de la durée de l'incident, de la stratégie d'intervention et de celle de la gestion de trafic. Dans beaucoup de cas, après l'apparition d'un incident neutralisant un certain nombre de voies de l'infrastructure, les intervenants s'empressent de libérer dans les meilleurs délais une voie supplémentaire. Ces modifications seront considérées dans le calcul des propagations.

Incident			
Tronçon : Nom / No	A3	3	Q _{max}
Capacité		5400	
Début incident	10	0	0
Début intervention	10	30	1800
Fin intervention	13	0	5400

Tableau 3-5 : Renseignements sur un incident

Le tableau précédent illustre un incident survenu à 10h00 sur l'arc A3 (tronçon de l'autoroute A7) de capacité initiale 5400 véh/h. L'incident a engendré une coupure totale de l'infrastructure ($Q_{\max}=0$ à 10h00). Vers 10h30 l'équipe d'intervention libère une voie de circulation. L'offre disponible est de 1800 véh/h à 10h30 et 5400 véh/h vers 13h00 à la fin de l'intervention.

Pour l'instant la localisation de l'incident est fixé en fin de tronçon (au droit de la sortie à un noeud). Pour palier à cet inconvénient et modéliser un incident survenu à une distance X de l'entrée du tronçon nous proposons deux méthodes :

• Méthode 1 : *Modification de la table des tronçons*

L'objectif consiste à décomposer un arc en deux parties tout en conservant certains attribut. Dans la table des tronçons on insère une ligne supplémentaire en dessous de celle décrivant l'arc choisis pour localiser l'incident et actualiser le numéro des arcs. Le nouveau tronçon créé héritera des attributs du tronçon précédent. Le tableau suivant illustre les modifications apportées à la table des arcs pour modéliser un incident localisé à 5 km de l'entrée de l'arc A

No Arc	Catégorie route	Sens	Nom Arc	Nœud amont	Nœud aval	Nbre Voie	Long km	Tvide mn	Capacité véh/h	Qmax véh/h	Kmax véh/km	Vmax km/h
1	Connecteur	N->S	A1	O1	C3	3	20.045	8	9000	9000	600	150
2	Autoroute	N->S	A2	C3	C6	3	31.040	16	5400	5400	360	120
3	Autoroute	N->S	A3	C6	C0	3	5.000	3	5400	5400	360	120
4	Autoroute	N->S	A3b	C0	C9	3	5.658	3	5400	5400	360	120
5	Connecteur	N->S	A4	C9	D6	3	7.890	3	9000	9000	600	150
6	Connecteur	N->S	N1	O1	C2	1	20.346	8	3000	3000	200	150
7	RN	N->S	N2	C2	C5	1	30.080	20	1200	1200	100	90
8	RN	N->S	N3	C5	C8	1	10.704	7	1200	1200	100	90
9	Connecteur	N->S	N4	C8	D6	2	13.868	6	6000	6000	400	150
10	Connecteur	N->S	DA1	O1	C1	1	23.366	9	3000	3000	200	150
11	RD	N->S	DA2	C1	C4	1	31.813	27	1000	1000	100	70
12	RD	N->S	DA3	C4	C7	1	9.324	8	1000	1000	100	70
13	Connecteur	N->S	DA4	C7	D6	1	7.945	3	3000	3000	200	150
14	Connecteur	E->O	DB1	C1	D2	1	0.100	1	3000	3000	200	150

Tableau 3-6 : Illustration de l'insertion d'un noeud fictif C0

Sans incident, l'arc A3 de longueur 10.658 km est localisé entre les noeuds C6 et C9. Pour pouvoir modéliser un incident sur cet arc, un noeud fictif C0 est crée à 5 km de l'entrée de l'arc A3 (No 3) et la longueur de A3 est modifiée. L'arc A3b (No 4) suit l'Arc A3 et est localisé entre les noeuds C0 et C9. La longueur totale donne toujours 10.658 km. Les autres attributs ne changent pas sauf pour ceux qui sont mis à jour automatiquement comme le temps de parcours à vide. Il suffit de modifier la longueur de A3 et A3b pour faire varier la position de l'incident le long de A3.

Cette méthode à pour principal inconvénient une intervention non automatisée à chaque fois qu'on change l'arc où l'incident a eu lieu. Elle nécessite la sauvegarde d'une table originale, décrivant les éléments du réseau sans prendre en compte aucun incident. Il existe aussi le risque, par oubli, de la non mise à jour du numéro des arcs.

- **Méthode 2 :** *Création automatique d'un noeud fictif*

Pour pallier aux inconvénient de la méthode précédente et donner une plus grande souplesse à la modélisation il est indispensable d'automatiser la création du noeud fictif C0. Il s'agit d'opérer les mêmes modifications dans la première méthode sans intervention de l'utilisateur ou du programmeur. Les attributs des deux arcs modifiés A3 et A3b seront stockés dans une autre table. Les informations du tableau 3-5 renseignant sur l'incident, complétées par sa position sur l'arc suffisent au programme pour modéliser l'incident. Si cette méthode parait plus appropriée, son implémentation n'est pas évidente et peut être source de résultats erronés.

En effet, il sera question de la modélisation de deux états du même réseau. Elle nécessite une nouvelle lecture du réseau et une duplication de l'état des flux à l'instant précédent l'apparition de l'incident. La plus grande difficulté réside dans la propagation des flux. Dès l'apparition de l'incident il est impératif de dupliquer les flux à l'instant précédent sur le réseau modifié d'une part et distinguer les véhicules qui sont en amont du point de chute d'autre part. Sinon on risque de créer instantanément un écart considérable entre nombre de véhicules sur l'arc et sa capacité de stockage puisque la longueur du même arc sera modifiée. Il faudra aussi automatiser la génération de coefficients de répartition des flux aux carrefours. Cette méthode ne peut être implémentée que dans le cadre de projet de recherche futur pour le développement de l'outil.

3.4.- Modélisation de Scénario de gestion de trafic

En réponse à un incident, différentes stratégies et combinaisons de stratégies peuvent être adoptées. Nous considérons un incident sur l'autoroute à l'entrée de Valence nord (arc A3). Pour tester l'outil nous retenons dans un premier temps les trois stratégies suivantes :

- **Scénario 1** : tous les usagers sont stockés en amont de la coupure. On ne prévoit pas de dispositifs d'évacuation du tronçon ni de délestage en amont. Cette stratégie permettra de tester l'influence du temps d'intervention.
- **Scénario 2** : tous les usagers sont déviés vers le réseau local. Au noeud C6 aucun usager n'ira au noeud C9 via le tronçon A3. Ils doivent tous se diriger vers C5 pour rejoindre leur destination en empruntant un tronçon de la RN7 ou de la RD1086.
- **Scénario 3** : il reprend le scénario précédent et on applique un délestage de 20% dès le noeud C1 pour toutes les directions pouvant conduire vers un tronçon de l'autoroute. Cette stratégie vise à utiliser au mieux les routes secondaires pour tester l'impact sur ces routes.

L'outil est conçu pour tester une seule stratégie à chaque lancement de la simulation. Nous renseignons les dates (début et fin) d'application de la stratégie.

Stratégie gestion de trafic	1	Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la cou				
Début application stratégie	11	0				
Fin application stratégie	14	0				

Tableau 3-7 : Renseignements sur une stratégie de gestion de trafic

Une stratégie de gestion de trafic est prise en compte à l'aide des coefficients de répartition des flux aux noeuds (coefficients de la matrice d'itinéraire). Les valeurs de ces coefficients diffèrent selon la stratégie appliquée. Durant les instants hors application d'une stratégie les coefficients de la matrice d'itinéraire de référence sont utilisés.

	Serrières				Tournon				Romans			
	DA2	DB1	DC2		DA2	DB1	DC2		DA2	DB1	DC2	
C1	DA1	0	1	0	DA1	1	0	0	DA1	0	0	1
	DB2	0	1	0	DB2	1	0	0	DB2	0	0	1
	DC1	0	1	0	DC1	1	0	0	DC1	0	0	1

Tableau 3-8 : Matrice d'itinéraire au noeud C1 pour 3 destinations
(en lignes les arcs entrants, en colonnes les arcs sortants au noeud C1)

Le tableau ci-dessus présente la matrice d'itinéraire retenu au noeud C1 pour trois destinations. Considérant le graphe simplifié retenu (*planche 6 à l'annexe A*), un usager se trouvant au noeud C1 fera les choix suivants, quel que soit l'arc d'entrée qu'il avait emprunté :

- pour aller à Serrières : il prendra la sortie DB1 menant directement à Serrières ;
- pour aller à Tournon : il prendra la sortie DA2 pour ensuite atteindre le noeud C4, noeud le plus proche directement connecté à sa destination, ;
- pour aller à Romans, Saint-Peray, Valence : il prendra la sortie DC2 pour rejoindre l'autoroute.

	St-Peray				Valence			
	A3	DG1	DH2		A3	DG1	DH2	
C6	A2	0	1	0	A2	0	1	0
	DG2	0	1	0	DG2	0	1	0
	DH1	0	1	0	DH1	0	1	0

Tableau 3-9 : Matrice d'itinéraire au noeud C6 pour 2 destinations
(en lignes les arcs entrants, en colonnes les arcs sortants au noeud C6)

Le tableau ci-dessus présente la matrice d'itinéraire retenu au noeud C6 pour deux destinations. Les coefficients sont fixés en considérant un incident sur l'arc A3 et un report des usagers sur le réseau local comme stratégie de gestion de trafic. Nous comprenons bien pourquoi tous les usagers sont dirigés vers la sortie DG1 alors que la sortie A3 est la meilleure sans incident.

La modélisation d'une stratégie spécifique aux poids lourds nécessite un calcul automatique des coefficients de la matrice d'itinéraire en cas d'incident. En effet, pour pouvoir dévier une proportion de poids lourds indépendamment de la stratégie adoptées pour les véhicules légers, il faut fournir à l'outil le nombre de poids lourds présents à sur le tronçon à tout instant. Cette affectation sera bien dynamique car la proportion de poids lourds sur le réseau varie dans la journée. Connaissant le trafic à l'instant t, pour dévier x%PL à partir d'un noeud le coefficient d'affectation est déterminé comme suit :

$$\text{Nbre uVL (t)} = D_{VL}(t) \frac{\text{Trafic}_{VL}(t)}{\sum_{\text{jour}} \text{Trafic}_{VL}(t)} + \alpha D_{PL}(t) \frac{\text{Trafic}_{PL}(t)}{\sum_{\text{jour}} \text{Trafic}_{PL}(t)}$$

$$\text{Coefficient t d'itinéraire pour x\%PL : } \frac{x \times \left[\alpha D_{PL}(t) \times \text{Trafic}_{PL}(t) \right]}{100 \left[\sum_{\text{jour}} \text{Trafic}_{PL}(t) \right]} \Bigg/ \text{Nbre uVL (t)}$$

4.- Description de l'outil de simulation

L'outil informatique est une maquette de calcul des débits cumulés sur des éléments constituant un réseau. Considérant la demande fournie par une matrice origines-destinations, les attributs des éléments du réseau il simule la propagation des flux en utilisant la méthode des débits cumulés pour fournir en sortie quelques indicateurs d'analyse d'une congestion. On peut décomposer le fonctionnement de l'outil en plusieurs étapes. La figure de la page suivante illustre le fonctionnement de la maquette.

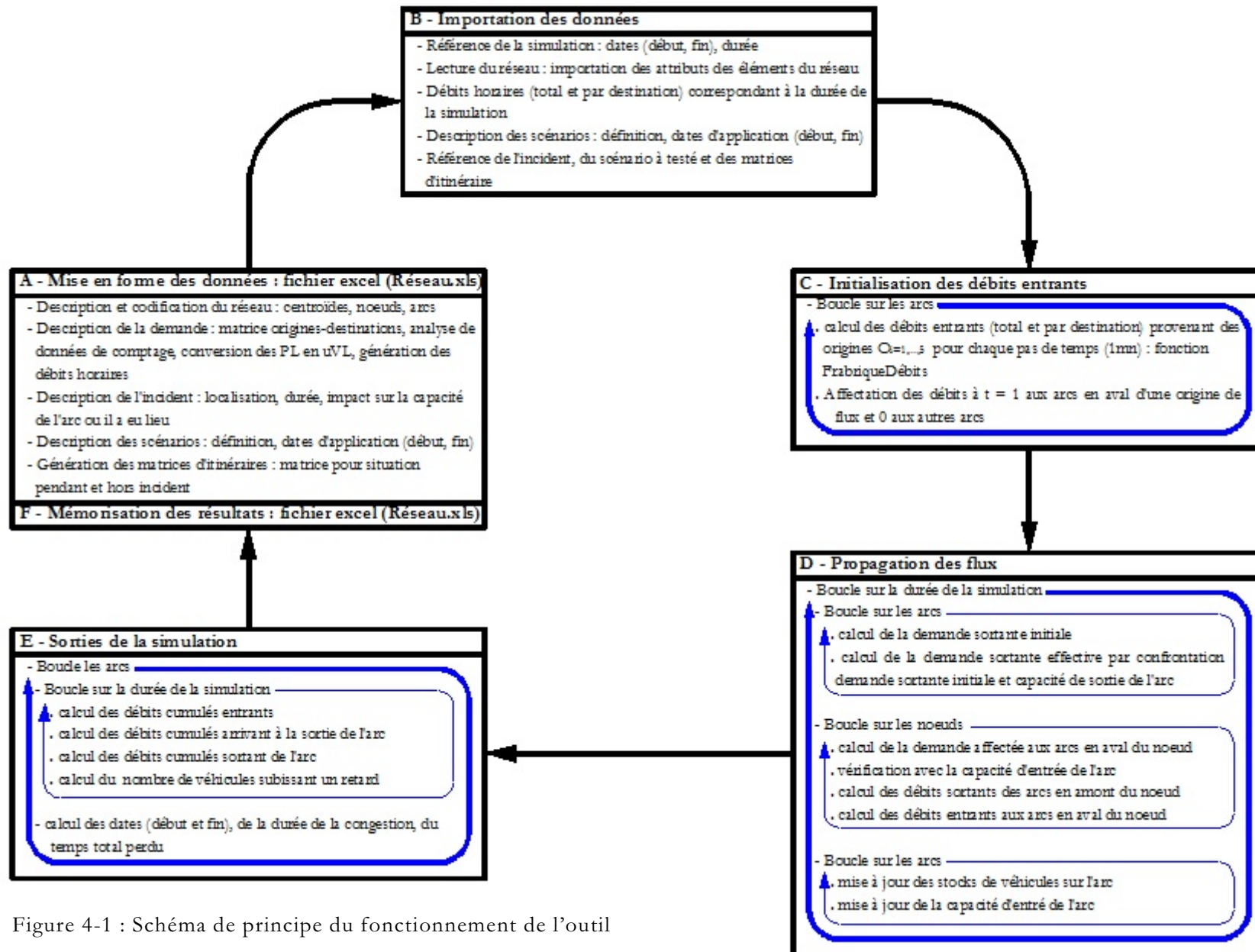


Figure 4-1 : Schéma de principe du fonctionnement de l'outil

4.1.- Lecture et importation de données (figure 4-1, étape B)

Après le choix du réseau à modéliser, les attributs des éléments constitutants sont renseignés dans des tableaux conçus à cet effet. Toutes les données sont enregistrées dans un fichier ‘Excel’. Différents onglets avec des appellations significatives sont créés. Après codification du réseau, l'utilisateur doit décrire les constituants dans l'onglet ‘Arcs’. Il passe ensuite à l'onglet ‘Généralités’ pour décrire l'incident, la stratégie de gestion de trafic à tester. Des boutons affectés à des ‘macros’ permettent d'éditer le nombre d'éléments du réseau, les dates (début et fin) retenues pour la simulation.


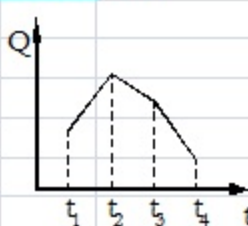
Nb're d'éléments du réseau		Incident							
Nb're O/D	5	Tronçon : Nom / No	A3	3	Q _{max}				
Nb're Nœuds	9	Capacité		5400					
Nb're Tronçons	32	Début incident	10	0	0				
Nb're Tam/Nœud	3	Début intervention	11	0	1800				
Nb're Tav/Nœud	3	Fin intervention	13	0	5400				
		Stratégie gestion de trafic	1	Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la coup					
		Début application stratégie	11	0					
Début simulation	9 H	Fin application stratégie	14	0					
Fin simulation	16 H								
Durée simulation	420 mn								
Profil débits	1 Profil en escalier								
				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Génération nœuds Q I Origines Destinations Carrefours </div>					
1- Profil en escalier		2- Pr							
Equivalence PL =	2	VL							

Tableau 4-1 : Tableaux des généralités de l'outil

L'utilisateur doit ensuite renseigner dans l'onglet “Trafic_OD” les demandes journalières (VL, PL) provenant de chaque origine, la part de ces demandes correspondant à chaque destination, des données de comptages recueillies sur les connecteurs pour déterminer l'évolution de la demande journalière. Le tableau 3-4 (Répartition du trafic journalier en débit horaire) illustre la répartition de la demande provenant de Vienne. Enfin, il reste la matrice d'itinéraire de référence et celles relatives aux différentes

stratégies de gestion de trafic (onglets Mat_Réf, Mat_Strat-1,...). Une première importation est réalisée directement depuis l'onglet "Généralités". Il s'agit du nombre d'éléments du réseau (nombre d'arcs, nombre de noeuds, nombre d'arcs entrants et sortants par noeud) et des dates de la simulation. L'importation des autres données est réalisée par 4 fonctions:

- Importation des arcs (LectureTronçons) : importation des attributs des arcs ;
- Importation des noeuds (LectureNoeud) : importation des attributs de noeuds de réseau et de deux matrices d'itinéraires (matrice de référence et celle relative à la stratégie à appliquée) ;
- Importation du trafic (LectureTrafic) : importation des débits horaires (totaux et par destination) pour toute la durée de la simulation ;
- Importation des données caractérisant l'incident (LectureIncident) : importation des dates de l'incident (*cf tableau 4-1 de la page précédente*) , la référence et les dates concernant la stratégie envisagée.

4.2.- Initialisation des débits entrants (figure 4-1, étape C)

On crée d'abord les tables nécessaires pour stocker ces informations. On en aura besoin pour mémoriser les débits (entrants et sortants) totaux et par destination ainsi que le stock de véhicule. Une fonction se charge de l'initialisation des valeurs des débits entrants au début de la simulation. Cette fonction utilise la table de génération de la demande importée par la fonction "LectureTrafic". A l'aide d'une boucle sur le nombre d'arcs tous les tronçons dont le noeud amont est un noeud d'injection de type "origine" ont des valeurs initiales non nulles pour les débits entrants (total et par destination). Il est important de vérifier que le débit entrant total ne dépasse la capacité des connecteurs.

4.3.- Simulation de la propagation des flux

Une fois l'initialisation des débits entrants réalisée à l'instant $t=1$, il faut dès l'instant $t=2$ modéliser la propagation de ces flux sur les arcs. A partir de l'instant équivalent au temps de parcours de l'arc une demande sortante se crée en amont du noeud se trouvant en aval de l'arc. Utilisant une boucle sur la durée de la simulation, les débits sortants (totaux et par destination) vont être évalués pour tous les arcs.

Pour chaque arc en amont d'un noeud on vérifie d'abord que sa capacité suffit pour écouler la demande sortante totale sur l'arc. Si la condition est vérifiée, la demande sortante totale et par destination constitue bien la demande sortante effective (totale, respectivement par destination). Dans le cas contraire, les demandes sortantes effectives (totale et par destination) sont obtenues par application du ratio "Capacité(arc)/DemandeTotale(arc)" aux demandes sortantes initiales (totale et par destination). Ce qui va créer un premier stock de véhicules qui sera ajouté à la demande sortante à l'instant suivant.

On déduit la demande sortante au noeud qui est la somme des demandes provenant des arcs en amont du noeud. L'application des coefficients de la matrice d'itinéraire à ce débit entrant au noeud permet de déterminer les demandes sortantes effectives affectées aux arcs en aval du noeud. Pour les périodes hors incident, on utilise la matrice d'itinéraire de référence. Sinon c'est la matrice d'itinéraire liée à la stratégie de gestion de trafic appliquée. Il reste maintenant à déterminer quelle proportion de cette demande sera sortie tenant compte des conditions de trafic sur les arcs en aval du noeud.

A ce stade deux vérifications s'imposent. La première consiste à vérifier si la capacité totale des arcs en aval du noeud peut écouler la demande sortante totale provenant des arcs en amont. Si la condition n'est pas vérifiée, on applique une répartition de l'offre totale en considérant la capacité de l'arc aval et la demande totale (cf figure 2-9). La deuxième consiste à vérifier si l'itinéraire aval prévu peut écouler la demande qui lui est affectée. Si la condition n'est pas vérifiée, on applique une répartition de l'offre de l'arc en considérant sa capacité et sa demande pour toutes les destinations. Ce qui contribue à augmenter le nombre de véhicules en attente. Soulignons qu'il s'agit ici de vérification par rapport à la capacité d'entrée de l'arc qui peut être différent de celle à la sortie du tronçon. Tant que le stock de véhicules sur le tronçon reste inférieur à sa capacité de stockage on considère que toute l'offre est disponible.

Une fois les répartitions effectuées, on obtient ainsi les débits sortants effectifs (total et par destination) des arcs amont et ceux entrants aux arcs aval. Les stocks de véhicules (total et par destination) doivent être actualisés pour achever le processus de propagation. Les stocks actualisés à l'instant t est le nombre de véhicules en attente plus le débit entrant

(Demandes sortantes initiales-Débits effectifs sortants+Débits effectifs entrants).

Enfin il faut mettre à jour la capacité d'entrée des arcs. Si la capacité de stockage de l'arc est atteinte, il faut limiter les débits entrants. On vérifie l'état de trafic à l'aide des stocks de véhicules. En cas de congestion ($K > K_C$) le débit maximum sortant vaut : $Q_{\max} \text{ entrant} \times (K - K_C) / (K_{\max} - K_C)$. Sinon il vaut le débit max entrant à l'instant $t-1$.

4.4.- Sorties de la modélisation (figure 4-1, étapes E et F)

A la fin de la boucle sur la durée de la simulation, on dispose des informations nécessaires pour tracer les courbes des débits cumulés et déduire les valeurs des indicateurs d'analyse de la congestion. L'outil est prévu pour fournir, pour l'ensemble du réseau et pour chaque stratégie de gestion de trafic, les dates de la perturbation (début et fin), sa durée, le nombre de véhicules retardés et le temps total perdu. D'autres informations disponibles permettront de déduire la longueur moyenne de la file d'attente à tout instant et de tracer les courbes de débits cumulés (débit entrant à l'arc, demande sortante en fin de tronçon et débit effectif sortant). Ces éléments permettront d'analyser les stratégies et la faisabilité du développement de l'outil.

Modélisation Dynamique Simple

4.5.- Résultats de la modélisation

Après de multiples séances d'exécution du code les anomalies constatées au cours de la première phase du travail sont résolues. Les résultats sont cohérents pour les stratégies simulées. Les graphes de débits cumulés montre bien la réduction du débit entrant à partir de la saturation du tronçon (cf *Annexe C, graphes des débits cumulés*). Nous présentons ici les premiers résultats obtenus pour les tronçons de l'autoroute A7, la RN7 et la RD1086.

Indicateurs de la congestion																				
Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la coupure							Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont							Scénario 3 : Sortie obligatoire et délestage amont de 20%						
Arc	Route	Début	Fin	Durée	Véh retardés	Temps perdu	Arc	Route	Début	Fin	Durée	Véh retardés	Temps perdu	Arc	Route	Début	Fin	Durée	Véh retardés	Temps perdu
No		h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh	No		h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh	No		h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh
1	A7	10:47	13:21	154	5522	1657	1	A7	10:47	15:02	255	8855	7797	1	A7	10:47	16:00	313	10356	12735
2		10:09	13:49	220	7779	4595	2		10:09	15:31	322	10800	7139	2		10:09	16:00	351	11475	8635
3		09:59	13:30	211	6379	1603	3		09:59	11:21	82	657	696	3		09:59	11:21	82	657	696
4		09:00	09:00	0	0	0	4		09:00	09:00	0	0	0	4		09:00	09:00	0	0	0
5	RN7	09:08	16:00	412	6614	25521	5	RN7	09:08	16:00	412	5592	27735	5	RN7	09:08	16:00	412	6606	23539
6		09:00	09:00	0	0	0	6		09:00	09:00	0	0	0	6		11:19	15:30	251	2461	1760
7		09:00	09:00	0	0	0	7		09:00	09:00	0	0	0	7		09:00	09:00	0	0	0
8		09:00	09:00	0	0	0	8		09:00	09:00	0	0	0	8		09:00	09:00	0	0	0
9	RD1086	09:09	16:00	411	3253	36044	9	RD1086	09:09	16:00	411	3072	36406	9	RD1086	09:09	16:00	411	4504	31363
10		09:00	09:00	0	0	0	10		09:00	09:00	0	0	0	10		11:28	15:55	267	2606	2009
11		09:00	09:00	0	0	0	11		09:00	09:00	0	0	0	11		09:00	09:00	0	0	0
12		09:00	09:00	0	0	0	12		09:00	09:00	0	0	0	12		09:00	09:00	0	0	0

Tableau 4-2 : Résultats de la simulation des scénarios pour les arcs principaux (A7, RN7, RD1086)

Le tableau suivant résume le temps total perdu sur les axes structurant du réseau.

Temps perdu	A7	RN7	RD1086	Autres RD	Total
Scénario 1	7855	25521	36044	6289	75709
Scénario 2	15632	27735	36406	7265	87038
Scénario 3	22066	25299	33372	3373	84110
Total	45553	78555	105822	16927	

Tableau 4-3 : Récapitulatif du temps perdu sur les arcs principaux (A7, RN7, RD1086)

Du tableau précédent nous déduisons que le temps perdu est stable sur la RN7 et la RD1086 par contre elle varie fortement sur la A7 avec la stratégie de gestion de trafic. Les temps perdus sur la RN7 et la RD1086 sont essentiellement dûs au fait que la demande sur le premier tronçon de ces routes est largement supérieur à la capacités des arcs en aval. La grande variation observée pour l'autoroute A7 est lié à l'écart de sa capacité par rapport aux autres routes. Compte tenu des capacités retenues, les routes secondaires ne constituent pas une alternative pour le report du trafic de l'autoroute A7. Avec l'application de stratégies restreignant l'entrée de l'autoroute, la congestion se propage très vite sur les tronçons amont du point de déviation.

Au vue de cette simulation il serait mieux de stocker sur l'autoroute. Les options avec sorties obligatoires sont très défavorables. Quant au scénario 3, il montre l'importance du délestage amont. Pendant la période de simulation (9h-16h), les poids lourd présents sur le réseau constituent environ 20% du trafic. La prise en compte de cette catégorie de véhicules par conversion en uVL contribuent à augmenter le temps total perdu en cas de déviation obligatoire pour tous. D'où la nécessité de prévoir des stratégies spécifiques à cette catégorie.

Les capacités des arcs doivent être mieux renseignés pour mieux refléter les conditions de trafic sur le réseau. Il faut également prévoir un meilleur mode d'affectation au noeud. L'affectation statique de toute la demande a un seul arc n'est pas optimale. Tous les arcs en aval d'un noeud doivent être affectés pour permettre l'écoulement de la plus grande part de la demande en amont du noeud.

Conclusion

La qualité et surtout la quantité de données disponibles ont été des obstacles non négligeables tout au long de ce travail de modélisation. Nous avons été amené à adopter certaines hypothèses pour simplifier la modélisation. Ces simplifications concernent la codification du réseau, la génération de la demande, la génération des coefficients d'affectation. La modélisation du fonctionnement du réseau telle qu'elle est conçue ne fait pas de distinction totale entre les classe de véhicules. On opère une simple conversion des poids lourds en véhicules légers équivalents.

Ces limites biaisent notre compréhension du fonctionnement du réseau. Des pistes sont identifiées pour améliorer l'outil qui fait appel à beaucoup de notions alimentant la recherche (effet des poids lourds, affectation dynamique de flux, sensibilité d'une simulation par rapport à une matrice origine-destination de flux,...). Conscient de ces limites, nous avons développé un outil de portée limitée sur la base de simplifications admissibles aux regards des objectifs fixés. Les premiers résultats obtenus sont cohérents aux effets attendus de l'application des stratégies testées. Le développement de la maquette pour intégrer d'autres fonctionnalités et d'autres contraintes lui conférera sa place dans la gamme d'outils dont dispose un exploitant d'un réseau pour l'établissement de Plan de Gestion de Trafic après évaluation de plusieurs stratégies.

Nous tenons à souligner que la congestion n'est qu'un aspect des impacts engendrés par la circulation routière. L'évaluation globale d'une stratégie de gestion de trafic ne peut avoir la congestion comme seul critère avec les indicateurs fournis. Le trafic routier a aussi d'autres externalités tels que : les nuisances sonores, les émissions de polluants, l'insécurité routière, les dégradations de structures de chaussées. Ce sont autant d'effets néfastes que l'exploitant doit chercher à minimiser.

Références bibliographiques

Ouvrages, rapports

Centre d'Etudes Techniques et de l'Equipement de Lyon/Département Exploitation et Sécurité, "Stratégies d'exploitation Vallée du Rhône en Drôme-Ardèche Phase 1: Diagnostic circulation". Septembre 2009 ; 50p.

Centre d'Etudes Techniques et de l'Equipement de Normandie, SETRA. "Réserve de capacité d'un itinéraire, Méthode de calcul". Mai 2002, 40p.

CHANUT S, BUISSON C. Etude bibliographique internationale des effets des poids lourds sur les conditions de trafic. Rapport INRETS/LICIT n° 0401, 2004, 61 p.

CHEVALLIER E, "Modélisation des carrefours à feux", ENTPE/LICIT. 2008, 8p.

LECLERCQ L, "Elément de théorie de trafic", ENTPE/LICIT. 2009, 111p.

Thèse, Articles

[AL-HAISY, HALL, REISMAN 2002], AL-HAISY A, HALL F, REISMAN E. Developping passenger car equivalent for heavy vehicles on freeway during queue discharge flow. Transportation Research Part A, 2002, vol 36, n°8, pp 725-742.

[CHANUT, 2005], CHANUT S. Modélisation dynamique macroscopique de l'écoulement d'un trafic routier hétérogène poids lourds et véhicules légers. Thèse MEGA. ENTPE/INSA-Lyon, 2005, 293p.

[KOCKELMAN 1998], KOCKELMAN K M. Change in flow density relationship due to environmental, vehicle and drivers characteristics. Transportation Research Records , 1998, vol1644, pp47-56.

[KRAMMES, CROWLEY 1986], KRAMMES R A, CROWLEY K W. Passenger car equivalent for trucks on level freeway segments. Transportation Research Record, 1986, vol 1091, pp 10-17.

[LAVAL, 2008], LAVAL J A. Graphical solution and continuum approximation for the single destination dynamic user optimum. Transportation Research Part B, 2008, vol 43, pp 108-118.

[NEWELL, 1992], NEWELL G. F. A simplified theory of kinematic wave in highway traffic. Part I : General theory. Transportation Research Part B, 1992, Vol 27B No 4, pp 281-287.

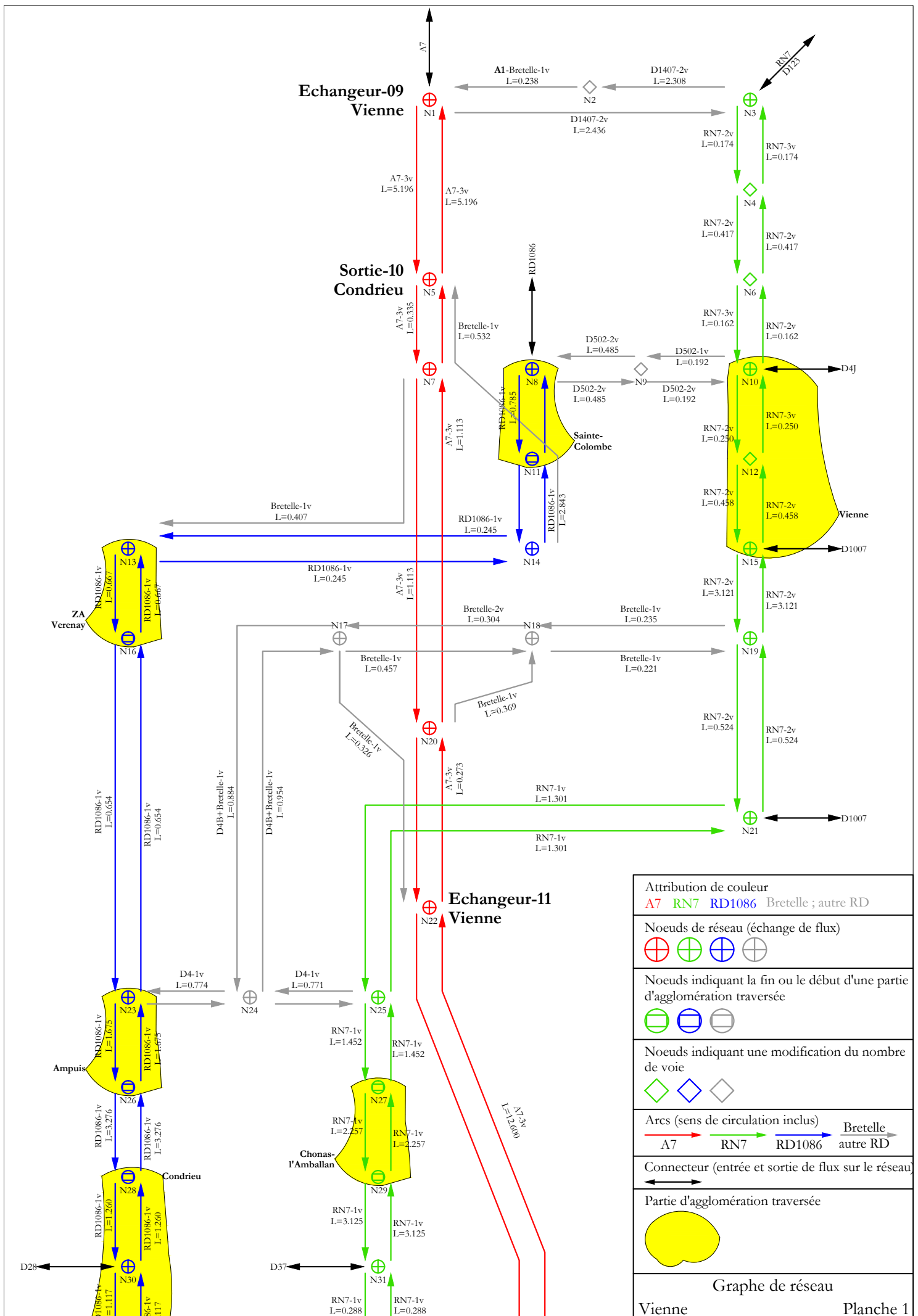
[NEWELL, 1992], NEWELL G. F. A simplified theory of kinematic wave in highway traffic. Part II : Queueing at freeway bottlenecks. Transportation Research Part B, 1993, Vol 27B No 4, pp 289-303.

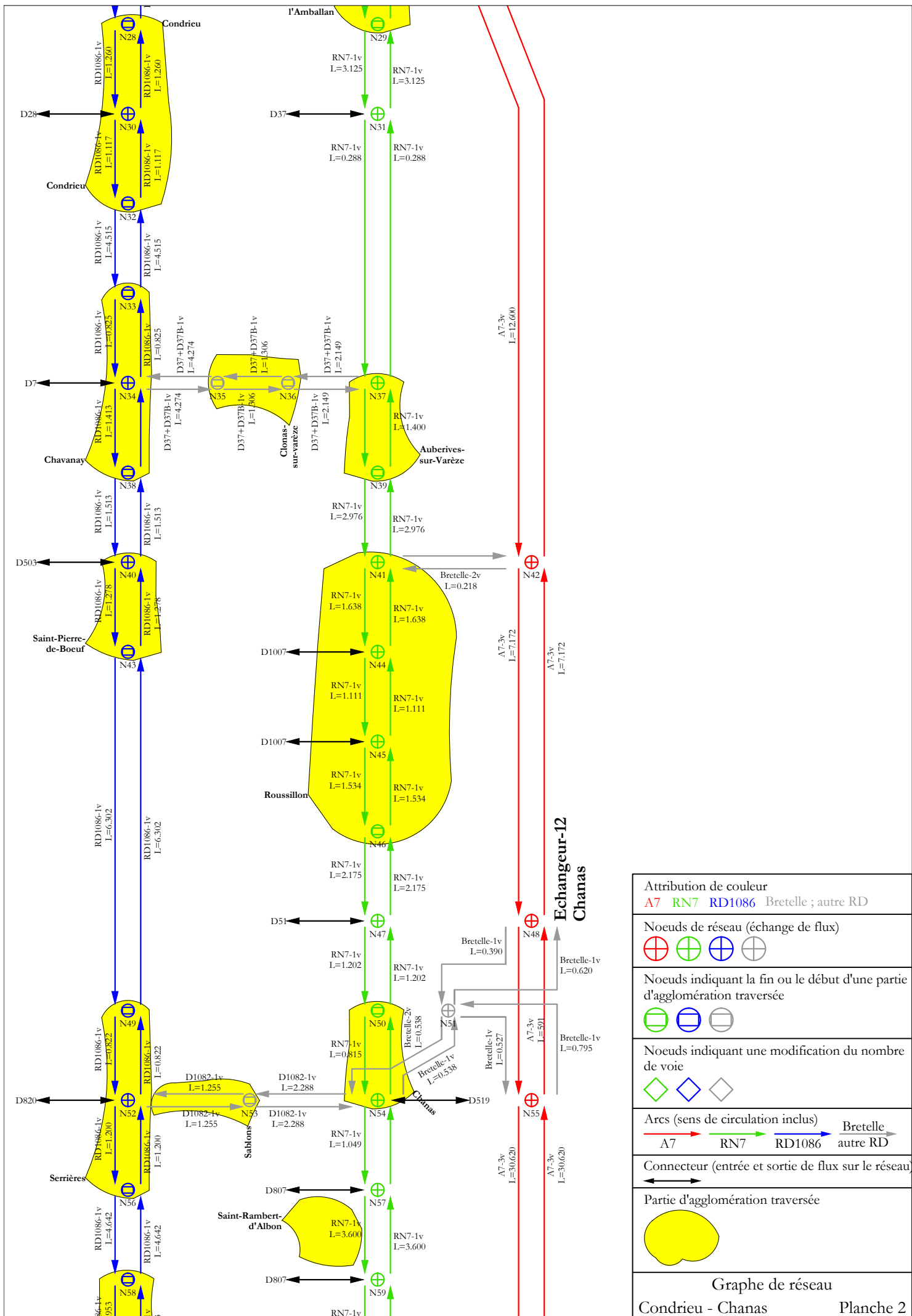
[NEWELL, 1992], NEWELL G. F. A simplified theory of kinematic wave in highway traffic. Part III : Multi destination flows. Transportation Research Part B, 1993, Vol 27B No 4, pp 305-313.

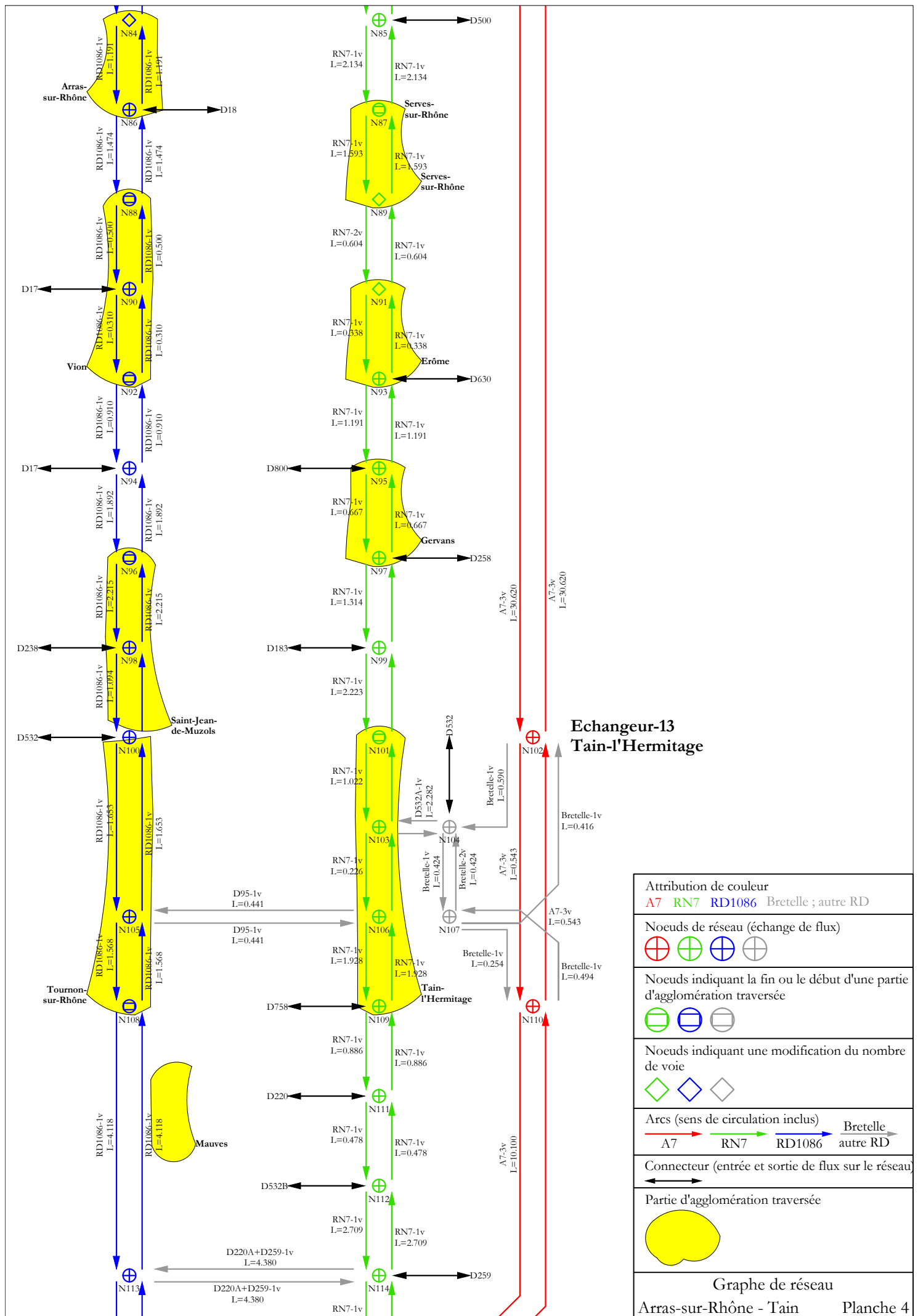
[WU, 2002], WU N. A new approach for modeling o fundamental diagrams. Transportation Research Part A, 2002, vol 36, pp 683-706.

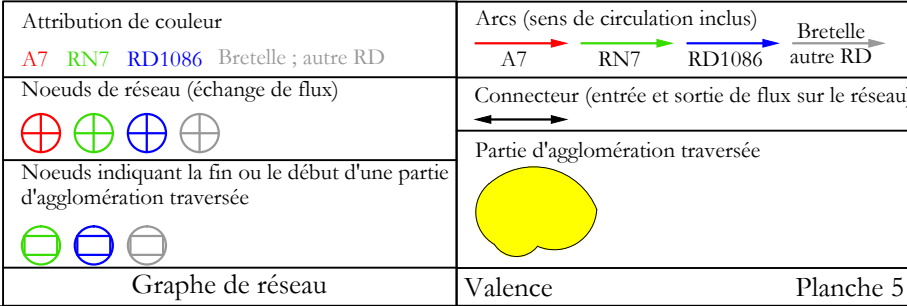
[ZHANG, JIN 2002], ZHANG H M, JIN W L. A kinematic wave traffic flow model for mixed traffic. Transportation Research Record, 2002, vol 1802, pp197-204.

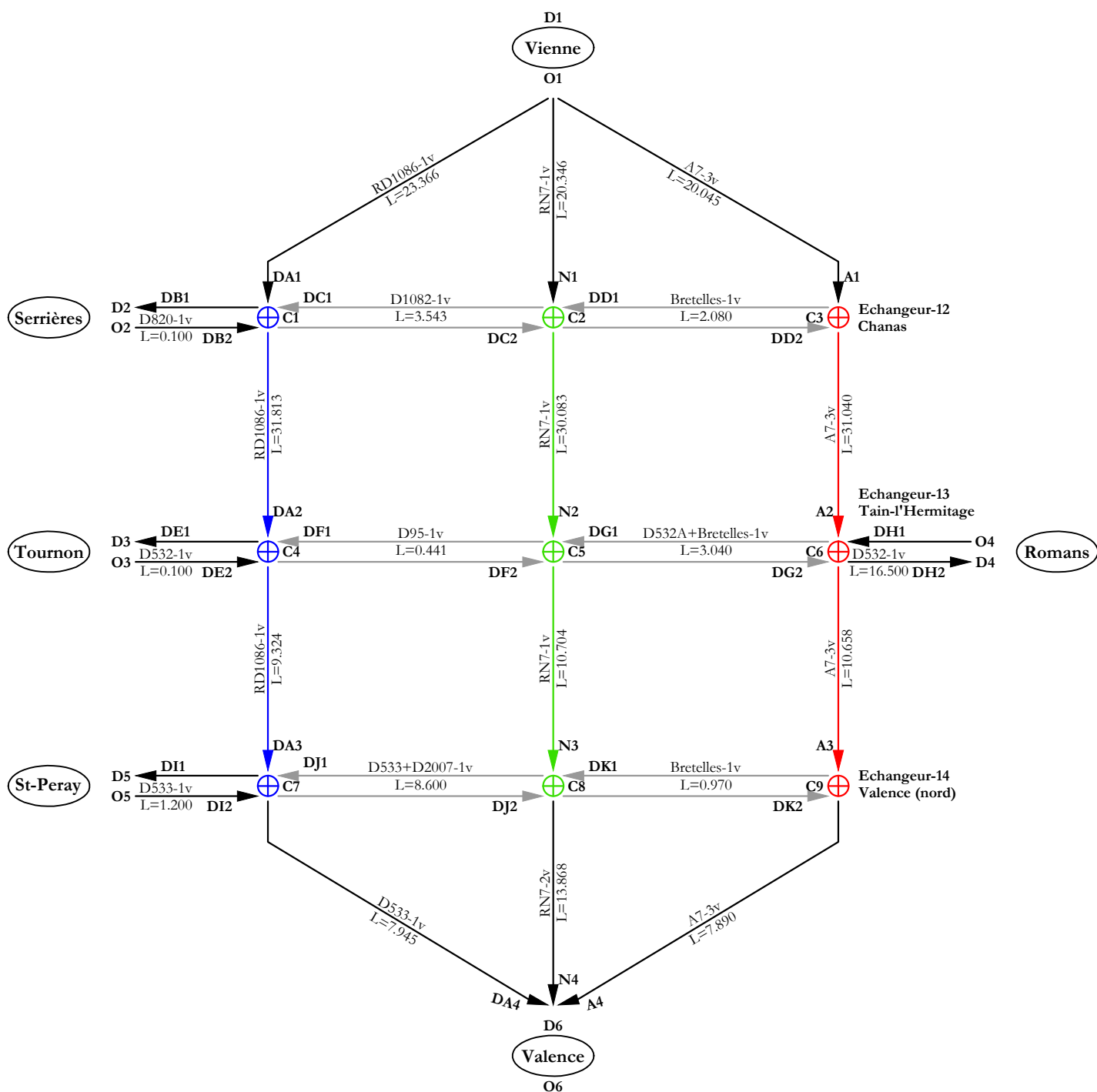
Annexe A : graphes du réseau







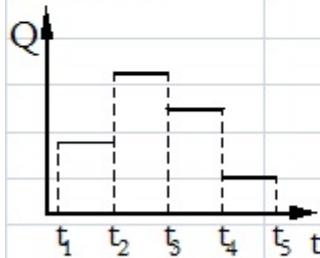
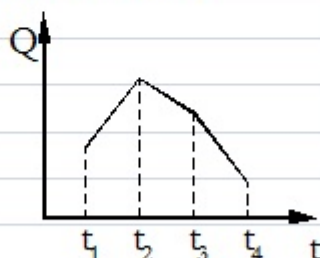




Attribution de couleur	
A7	RN7 RD1086 Bretelle ; autre RD
Noeuds de réseau (échange de flux)	
Arcs (sens de circulation inclus)	
Centretoide (émission et réception de flux)	
Connecteur (entrée et sortie de flux sur le réseau)	
	Origine flux
	Destination flux
<div> <div>Graphes de réseau simplifié</div> <div>Vienne - Valence</div> <div>Planche 6</div> </div>	

Annexe B : Données d'entrée

Modélisation Dynamique Simple

Nbre d'éléments du réseau		Incident					
Nbre O/D	5	Tronçon : Nom / No	A3	3			
Nbre Nœuds	9	Capacité		5400	Qmax		
Nbre Tronçons	32	Début incident	10	0	0		
Nbre Tam/Nœud	3	Début intervention	11	0	1800		
Nbre Tav/Nœud	3	Fin intervention	13	0	5400		
		Stratégie gestion de trafic	1	Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la coupure			
		Début application stratégie	11	0			
		Fin application stratégie	14	0			
Début simulation	9 H						
Fin simulation	16 H						
Durée simulation	420 mn						
Profil débits	1	Profil en escalier					
				<div>Génération noeuds: O, D, C</div> <div><div>Origines</div><div>Destinations</div><div>Carrefours</div></div>			
1- Profil en escalier		2- Profil linéaire					
Equivalence PL =	2.5	VL					

Attention!!! Cellules contenant des formules

Attention!!! Cellules contenant des formules

Modélisation Dynamique Simple

No #	Catégorie route	Sens	Nom code	Noeud_am code	Noeud_av code	Nombre Voie	Longueur km	Tvide mn	Capacité véh/h	Qmax véh/h	Kmax véh/km	Vmax km/h	Stock véh
1	Connecteur	N->S	A1	O1	C3	3	20.045	8.02	9000	9000	600	150	12027
2	Autoroute	N->S	A2	C3	C6	3	31.040	15.52	5400	5400	360	120	11174
3	Autoroute	N->S	A3	C6	C9	3	10.658	5.33	5400	5400	360	120	3837
4	Connecteur	N->S	A4	C9	D6	3	7.890	3.16	9000	9000	600	150	4734
5	Connecteur	N->S	N1	O1	C2	1	20.346	8.14	3000	3000	200	150	4069
6	RN	N->S	N2	C2	C5	1	30.080	20.05	1200	1200	100	90	3008
7	RN	N->S	N3	C5	C8	1	10.704	7.14	1200	1200	100	90	1070
8	Connecteur	N->S	N4	C8	D6	2	13.868	5.55	6000	6000	400	150	5547
9	Connecteur	N->S	DA1	O1	C1	1	23.366	9.35	3000	3000	200	150	4673
10	RD	N->S	DA2	C1	C4	1	31.813	27.27	1000	1000	100	70	3181
11	RD	N->S	DA3	C4	C7	1	9.324	7.99	1000	1000	100	70	932
12	Connecteur	N->S	DA4	C7	D6	1	7.945	3.18	3000	3000	200	150	1589
13	Connecteur	E->O	DB1	C1	D2	1	0.100	1.00	3000	3000	200	150	20
14	Connecteur	O->E	DB2	O2	C1	1	0.100	1.00	3000	3000	200	150	20
15	RD	E->O	DC1	C2	C1	1	3.543	3.04	1000	1000	100	70	354
16	RD	O->E	DC2	C1	C2	1	3.543	3.04	1000	1000	100	70	354
17	Bretelle	E->O	DD1	C3	C2	1	2.080	2.50	1000	1000	100	50	208
18	Bretelle	O->E	DD2	C2	C3	1	2.080	2.50	1000	1000	100	50	208
19	Connecteur	E->O	DE1	C4	D3	1	0.100	1.00	3000	3000	200	150	20
20	Connecteur	O->E	DE2	O3	C4	1	0.100	1.00	3000	3000	200	150	20
21	RD	E->O	DF1	C5	C4	1	0.441	1.00	1000	1000	100	70	44
22	RD	O->E	DF2	C4	C5	1	0.441	1.00	1000	1000	100	70	44
23	Bretelle	E->O	DG1	C6	C5	1	3.040	3.65	1000	1000	100	50	304
24	Bretelle	O->E	DG2	C5	C6	1	3.040	3.65	1000	1000	100	50	304
25	Connecteur	E->O	DH1	O4	C6	1	16.500	6.60	3000	3000	200	150	3300
26	Connecteur	O->E	DH2	C6	D4	1	16.500	6.60	3000	3000	200	150	3300
27	Connecteur	E->O	DI1	C7	D5	1	1.200	1.00	3000	3000	200	150	240
28	Connecteur	O->E	DI2	O5	C7	1	1.200	1.00	3000	3000	200	150	240
29	RD	E->O	DJ1	C8	C7	1	8.600	7.37	1000	1000	100	70	860
30	RD	O->E	DJ2	C7	C8	1	8.600	7.37	1000	1000	100	70	860
31	Bretelle	E->O	DK1	C9	C8	1	0.970	1.16	1000	1000	100	50	97
32	Bretelle	O->E	DK2	C8	C9	1	0.970	1.16	1000	1000	100	50	97

Modélisation Dynamique Simple

No	Nom	Arc_am_1	Arc_am_2	Arc_am_3	Arc_av_1	Arc_av_2	Arc_av_3
1	O1	Z	Z	Z	A1	N1	DA1
2	O2	Z	Z	Z	DB2	Z	Z
3	O3	Z	Z	Z	DE2	Z	Z
4	O4	Z	Z	Z	DH1	Z	Z
5	O5	Z	Z	Z	DI2	Z	Z

Noeuds d'injection de type "origine"

No	Nom	Arc_am_1	Arc_am_2	Arc_am_3	Arc_av_1	Arc_av_2	Arc_av_3
1	D2	DB1	Z	Z	Z	Z	Z
2	D3	DE1	Z	Z	Z	Z	Z
3	D4	DH2	Z	Z	Z	Z	Z
4	D5	DI1	Z	Z	Z	Z	Z
5	D6	A4	N4	DA4	Z	Z	Z

Noeuds d'injection de type "destinations"

No	Nom	Arc_am_1	Arc_am_2	Arc_am_3	Arc_av_1	Arc_av_2	Arc_av_3
1	C1	DA1	DB2	DC1	DA2	DB1	DC2
2	C2	N1	DC2	DD1	N2	DC1	DD2
3	C3	A1	DD2	Z	A2	DD1	Z
4	C4	DA2	DE2	DF1	DA3	DE1	DF2
5	C5	N2	DF2	DG1	N3	DF1	DG2
6	C6	A2	DG2	DH1	A3	DG1	DH2
7	C7	DA3	DI2	DJ1	DA4	DI1	DJ2
8	C8	N3	DJ2	DK1	N4	DJ1	DK2
9	C9	A3	DK2	Z	A4	DK1	Z

Noeuds de réseau (carrefours)

Modélisation Dynamique Simple

		Trafic O1			Destinations					Trafic O2			Destinations				
Date		Données comptage		Vienne	Serières	Tournon	Roman	St-Péray	Valence	Données comptage		Serières	Serières	Tournon	Roman	St-Péray	Valence
				26970	0.17	0.09	0.09	0.01	0.64			4789	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Hre	mn	VL	PL	3154	0.29	0.13	0.09	0.00	0.48	VL	PL	10	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
1	0	206	135	367	80	39	34	3	212	12	6	11	0	0	0	0	11
2	0	146	128	295	67	32	27	2	167	12	5	11	0	0	0	0	11
3	0	114	136	269	64	30	25	2	149	19	7	18	0	0	0	0	17
4	0	121	157	298	71	33	27	2	164	20	8	18	0	0	0	0	18
5	0	146	192	363	87	41	33	2	200	42	19	39	0	0	0	0	38
6	0	249	254	540	125	59	50	4	302	58	32	54	0	0	1	0	53
7	0	547	319	934	201	99	86	7	542	204	60	188	0	0	1	0	187
8	0	1105	360	1585	317	162	146	12	949	576	60	528	0	0	1	0	527
9	0	1421	354	1922	373	194	177	15	1164	539	74	494	0	0	2	0	493
10	0	1401	355	1902	370	192	175	15	1151	316	90	291	0	0	2	0	289
11	0	1616	388	2171	420	218	199	17	1317	278	81	256	0	0	2	0	254
12	0	1681	431	2287	445	231	210	18	1383	240	64	221	0	0	1	0	219
13	0	1445	397	1995	391	202	183	15	1203	266	88	245	0	0	2	0	243
14	0	1461	398	2013	394	204	185	15	1215	321	66	295	0	0	2	0	293
15	0	1663	431	2267	442	229	208	17	1371	309	81	284	0	0	2	0	283
16	0	1810	431	2428	469	244	223	19	1473	294	70	270	0	0	2	0	269
17	0	1912	437	2545	490	255	234	20	1546	369	95	340	0	0	2	0	337
18	0	2002	423	2628	502	263	241	21	1601	441	75	405	0	0	2	0	403
19	0	1846	384	2417	461	242	222	19	1473	359	42	329	0	0	1	0	328
20	0	1462	340	1952	376	196	179	15	1185	244	34	224	0	0	1	0	223
21	0	970	298	1373	272	140	126	10	824	159	17	146	0	0	0	0	145
22	0	668	268	1011	207	105	93	8	599	77	14	71	0	0	0	0	70
23	0	468	221	743	155	78	68	5	437	56	3	51	0	0	0	0	51
24	0	334	175	549	116	58	50	4	321	27	1	25	0	0	0	0	25
		24790	7407							5238	1092						

Modélisation Dynamique Simple

		Trafic O3				Destinations				Trafic O4				Destinations				
Date		Données comptage		Tournon	Serières	Tournon	Romans	St-Peray	Valence	Données comptage		Romans	Serières	Tournon	Romans	St-Peray	Valence	
				2853	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00			3240	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
Hre	mn	VL	PL	5	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	VL	PL	231	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
1	0	12	6	7	0	0	0	0	7	12	6	11	0	0	0	0	11	
2	0	12	5	7	0	0	0	0	7	12	5	10	0	0	0	0	10	
3	0	19	7	10	0	0	0	0	10	19	7	15	0	0	0	0	15	
4	0	20	8	11	0	0	0	0	11	20	8	17	0	0	0	0	17	
5	0	42	19	23	0	0	0	0	23	42	19	36	0	0	0	0	36	
6	0	58	32	32	0	0	0	0	32	58	32	53	0	0	0	0	53	
7	0	204	60	112	0	0	1	0	111	204	60	158	0	0	0	0	158	
8	0	576	60	314	0	0	1	0	314	576	60	388	0	0	0	0	388	
9	0	539	74	294	0	0	1	0	294	539	74	373	0	0	0	0	373	
10	0	316	90	173	0	0	1	0	172	316	90	243	0	0	0	0	243	
11	0	278	81	152	0	0	1	0	151	278	81	215	0	0	0	0	215	
12	0	240	64	131	0	0	1	0	131	240	64	182	0	0	0	0	182	
13	0	266	88	146	0	0	1	0	145	266	88	211	0	0	0	0	211	
14	0	321	66	176	0	0	1	0	175	321	66	233	0	0	0	0	233	
15	0	309	81	169	0	0	1	0	168	309	81	234	0	0	0	0	234	
16	0	294	70	161	0	0	1	0	160	294	70	219	0	0	0	0	219	
17	0	369	95	202	0	0	1	0	201	369	95	278	0	0	0	0	278	
18	0	441	75	241	0	0	1	0	240	441	75	312	0	0	0	0	312	
19	0	359	42	196	0	0	0	0	196	359	42	244	0	0	0	0	244	
20	0	244	34	133	0	0	0	0	133	244	34	169	0	0	0	0	169	
21	0	159	17	87	0	0	0	0	87	159	17	107	0	0	0	0	107	
22	0	77	14	42	0	0	0	0	42	77	14	55	0	0	0	0	55	
23	0	56	3	31	0	0	0	0	31	56	3	36	0	0	0	0	36	
24	0	27	1	15	0	0	0	0	15	27	1	17	0	0	0	0	17	
		5238	1092							5238	1092							

Modélisation Dynamique Simple

		Trafic O5			Destinations				
Date		Données comptage		St-Peray	Serières	Toumon	Romans	St-Peray	Valence
				321	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Hre	mn	VL	PL	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0	12	6	1	0	0	0	0	1
2	0	12	5	1	0	0	0	0	1
3	0	19	7	1	0	0	0	0	1
4	0	20	8	1	0	0	0	0	1
5	0	42	19	3	0	0	0	0	3
6	0	58	32	4	0	0	0	0	4
7	0	204	60	13	0	0	0	0	13
8	0	576	60	35	0	0	0	0	35
9	0	539	74	33	0	0	0	0	33
10	0	316	90	19	0	0	0	0	19
11	0	278	81	17	0	0	0	0	17
12	0	240	64	15	0	0	0	0	15
13	0	266	88	16	0	0	0	0	16
14	0	321	66	20	0	0	0	0	20
15	0	309	81	19	0	0	0	0	19
16	0	294	70	18	0	0	0	0	18
17	0	369	95	23	0	0	0	0	23
18	0	441	75	27	0	0	0	0	27
19	0	359	42	22	0	0	0	0	22
20	0	244	34	15	0	0	0	0	15
21	0	159	17	10	0	0	0	0	10
22	0	77	14	5	0	0	0	0	5
23	0	56	3	3	0	0	0	0	3
24	0	27	1	2	0	0	0	0	2
		5238	1092						

Modélisation Dynamique Simple

			Destinations														
			Sernières			Tournon			Romans			St-Peray			Valence		
Carrefours	C1		DA2	DB1	DC2	DB1	DA2	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2
		DA1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DB2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DC1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	C2		N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2
		N1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DC2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DD1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	C3		A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z
		A1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
		DD2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
		Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4		DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2
		DA2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
		DE2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
		DF1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
	C5		N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2
		N2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DF2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DG1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	C6		A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2
		A2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
		DG2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
		DH1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
	C7		DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2
		DA3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DI2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DJ1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	C8		N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2
		N3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DJ2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DK1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	C9		A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z
		A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DK2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Z		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Modélisation Dynamique Simple

			Destinations														
			Sernières			Tournon			Romans			St-Peray			Valence		
Carrefours	C1		DA2	DB1	DC2	DB1	DA2	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2
		DA1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DB2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	DC1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
	C2		N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2
		N1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
		DC2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	DD1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
	C3		A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z
		A1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
		DD2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4		DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2
		DA2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
		DE2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
	DF1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	C5		N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2
		N2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
		DF2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
	DG1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
	C6		A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2
		A2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
		DG2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
	DH1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
	C7		DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2
		DA3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DI2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	DJ1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
	C8		N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2
		N3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DJ2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	DK1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	
	C9		A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z
		A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DK2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Modélisation Dynamique Simple

			Destinations														
			Sernières			Tournon			Romans			St-Peray			Valence		
Carrefours	C1		DA2	DB1	DC2	DB1	DA2	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2	DA2	DB1	DC2
		DA1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8
		DB2	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8
	DC1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	
	C2		N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2	N2	DC1	DD2
		N1	0	1	0	1	0	0	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8
		DC2	0	1	0	1	0	0	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8
		DD1	0	1	0	1	0	0	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8
	C3		A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z	A2	DD1	Z
		A1	0	1	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0
		DD2	0	1	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0	0.8	0.2	0
		Z	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4		DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2	DA3	DE1	DF2
		DA2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0.2	0	0.8
		DE2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0.2	0	0.8
		DF1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0.2	0	0.8
	C5		N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2	N3	DF1	DG2
		N2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
		DF2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
		DG1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
	C6		A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2	A3	DG1	DH2
		A2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
		DG2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
		DH1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
	C7		DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2	DA4	DI1	DJ2
		DA3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DI2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DJ1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	C8		N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2	N4	DJ1	DK2
		N3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DJ2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DK1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	C9		A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z	A4	DK1	Z
		A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
		DK2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Z		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Annexe C : Sorties de la modélisation

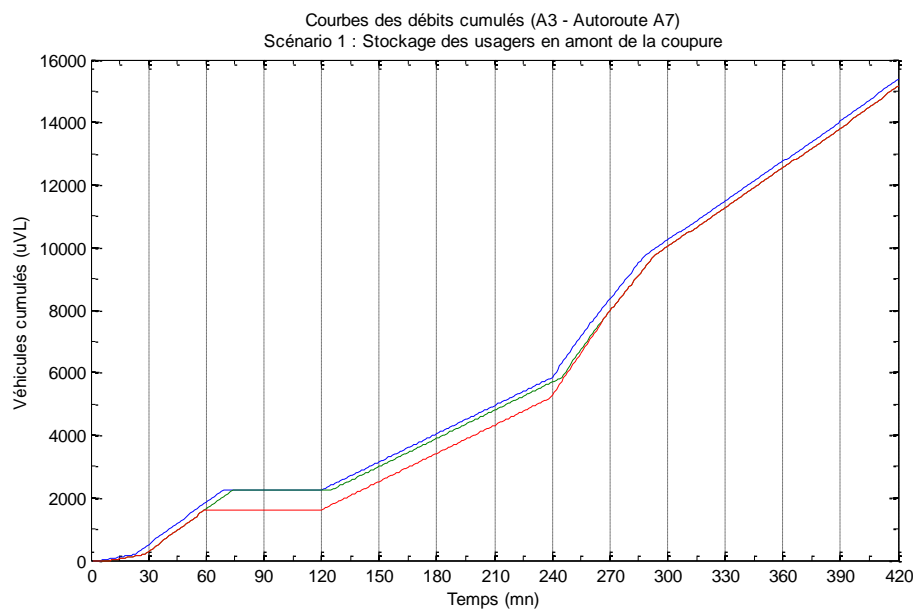
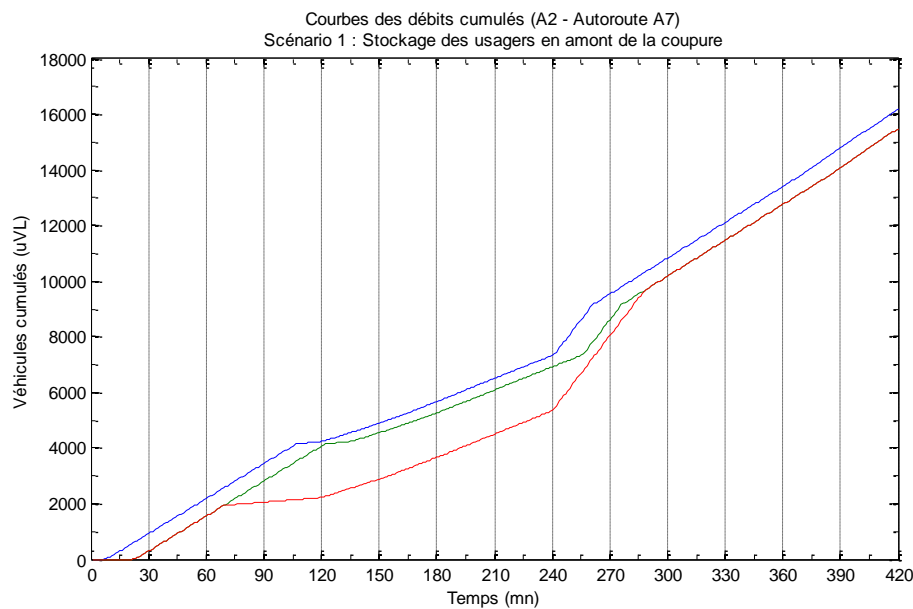
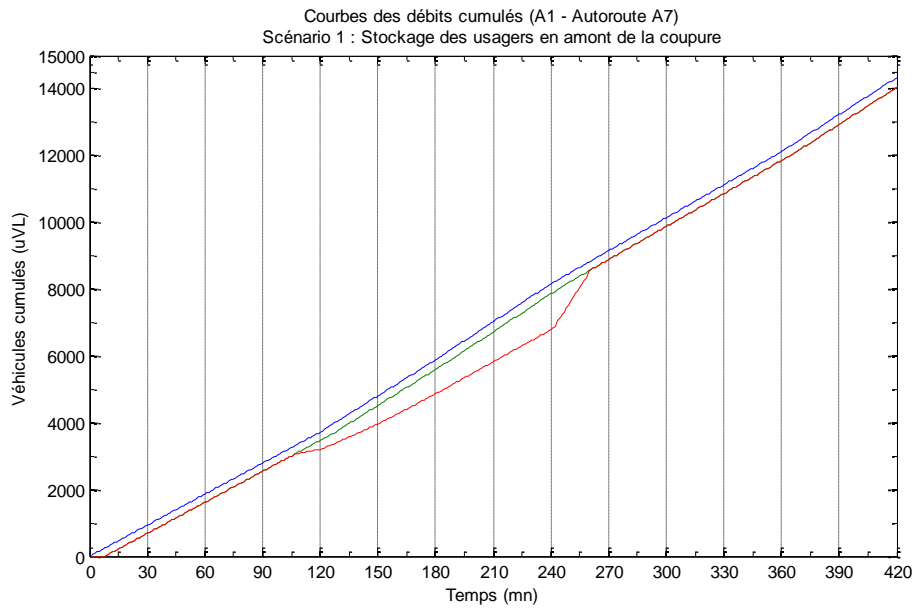
Modélisation Dynamique Simple

Indicateurs de la congestion																				
Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la coupure							Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont							Scénario 3 : Sortie obligatoire et délestage amont de 20%						
	Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu		Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu		Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu
	No	h mn	h mn	mn	uVL	uVLh		No	h mn	h mn	mn	uVL	uVLh		No	h mn	h mn	mn	uVL	uVLh
A7	1	10:47	13:21	154	5522	1657	7855	1	10:47	15:02	255	8855	7797	15632	1	10:47	16:00	313	10356	12735
	2	10:09	13:49	220	7779	4595		2	10:09	15:31	322	10800	7139		2	10:09	16:00	351	11475	8635
	3	09:59	13:30	211	6379	1603		3	09:59	11:21	82	657	696		3	09:59	11:21	82	657	696
	4	09:00	09:00	0	0	0		4	09:00	09:00	0	0	0		4	09:00	09:00	0	0	0
RN7	5	09:08	16:00	412	6614	25521	25521	5	09:08	16:00	412	5592	27735	27735	5	09:08	16:00	412	6606	23539
	6	09:00	09:00	0	0	0		6	09:00	09:00	0	0	0		6	11:19	15:30	251	2461	1760
	7	09:00	09:00	0	0	0		7	09:00	09:00	0	0	0		7	09:00	09:00	0	0	0
	8	09:00	09:00	0	0	0		8	09:00	09:00	0	0	0		8	09:00	09:00	0	0	0
RD1086	9	09:09	16:00	411	3253	36044	36044	9	09:09	16:00	411	3072	36406	36406	9	09:09	16:00	411	4504	31363
	10	09:00	09:00	0	0	0		10	09:00	09:00	0	0	0		10	11:28	15:55	267	2606	2009
	11	09:00	09:00	0	0	0		11	09:00	09:00	0	0	0		11	09:00	09:00	0	0	0
	12	09:00	09:00	0	0	0		12	09:00	09:00	0	0	0		12	09:00	09:00	0	0	0

Modélisation Dynamique Simple

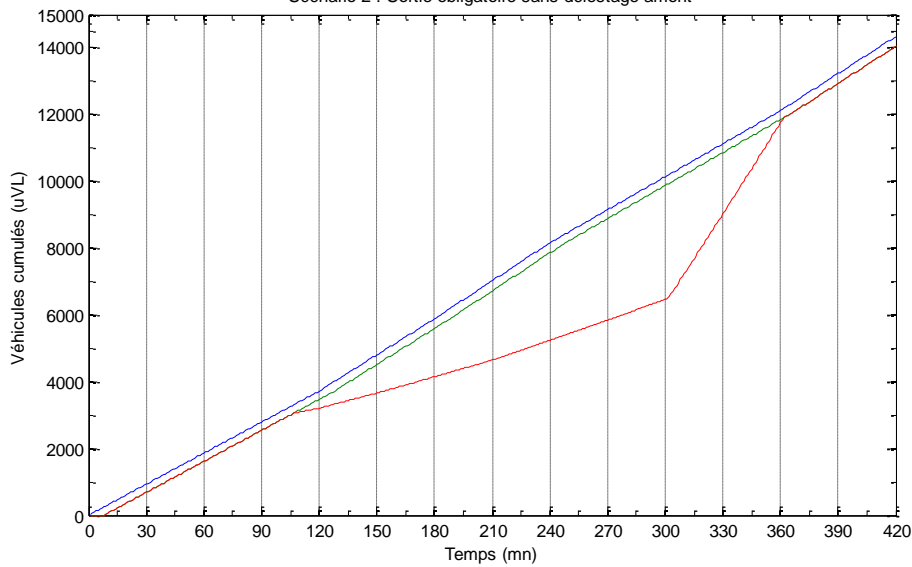
Indicateurs de la congestion																			
Scénario 1 : Stockage des usagers en amont de la coupure						Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont						Scénario 3 : Sortie obligatoire et délestage amont de 20%							
Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu		Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu		Arc	Début	Fin	Durée	Nbre véh retardés	Temps perdu
No	h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh		No	h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh		No	h:mn	h:mn	mn	uVL	uVLh
Autres RD	13	09:00	09:00	0	0	0	13	09:00	09:00	0	0	0	0	13	09:00	09:00	0	0	0
	14	09:09	16:00	411	682	5116	14	09:09	16:00	411	422	5906	5906	14	09:09	16:00	411	1625	1295
	15	09:00	09:00	0	0	0	15	09:00	09:00	0	0	0	0	15	09:00	09:00	0	0	0
	16	09:08	16:00	412	1214	551	16	09:08	16:00	412	793	579	579	16	09:08	16:00	412	1232	550
	17	09:00	09:00	0	0	0	17	09:00	09:00	0	0	0	0	17	11:01	16:00	299	1847	217
	18	10:47	16:00	313	3180	185	18	10:47	16:00	313	1764	256	256	18	10:47	16:00	313	1860	260
	19	09:00	09:00	0	0	0	19	09:00	09:00	0	0	0	0	19	09:00	09:00	0	0	0
	20	10:34	12:06	92	270	56	20	10:34	11:11	37	111	24	24	20	10:34	15:33	299	777	35
	21	09:00	09:00	0	0	0	21	09:00	09:00	0	0	0	0	21	09:00	09:00	0	0	0
	22	10:29	12:19	110	312	37	22	10:29	11:15	46	138	10	10	22	10:29	15:46	317	2136	67
	23	09:00	09:00	0	0	0	23	11:03	14:10	187	3099	116	116	23	11:03	14:42	219	1835	249
	24	10:09	13:02	173	461	182	24	10:09	14:10	241	168	74	74	24	10:09	16:00	351	2094	179
	25	10:09	13:02	173	635	162	25	10:09	14:02	233	872	300	300	25	10:09	14:17	248	932	921
	26	09:00	09:00	0	0	0	26	09:00	09:00	0	0	0	0	26	09:00	09:00	0	0	0
	27	09:00	09:00	0	0	0	27	09:00	09:00	0	0	0	0	27	09:00	09:00	0	0	0
	28	09:00	09:00	0	0	0	28	09:00	09:00	0	0	0	0	28	09:00	09:00	0	0	0
29	09:00	09:00	0	0	0	29	09:00	09:00	0	0	0	0	29	09:00	09:00	0	0	0	
30	09:00	09:00	0	0	0	30	09:00	09:00	0	0	0	0	30	09:00	09:00	0	0	0	
31	09:00	09:00	0	0	0	31	09:00	09:00	0	0	0	0	31	09:00	09:00	0	0	0	
32	09:00	09:00	0	0	0	32	09:00	09:00	0	0	0	0	32	09:00	09:00	0	0	0	

Modélisation Dynamique Simple

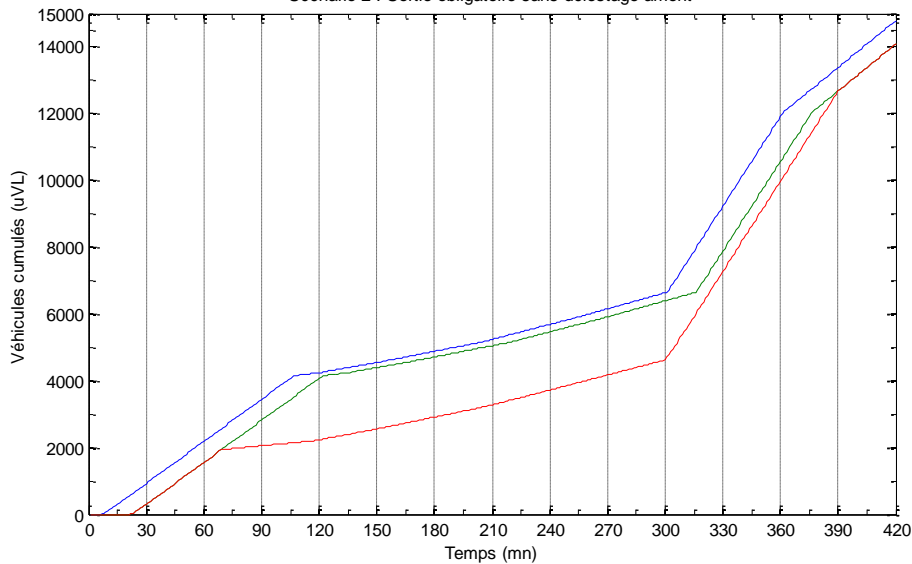


Modélisation Dynamique Simple

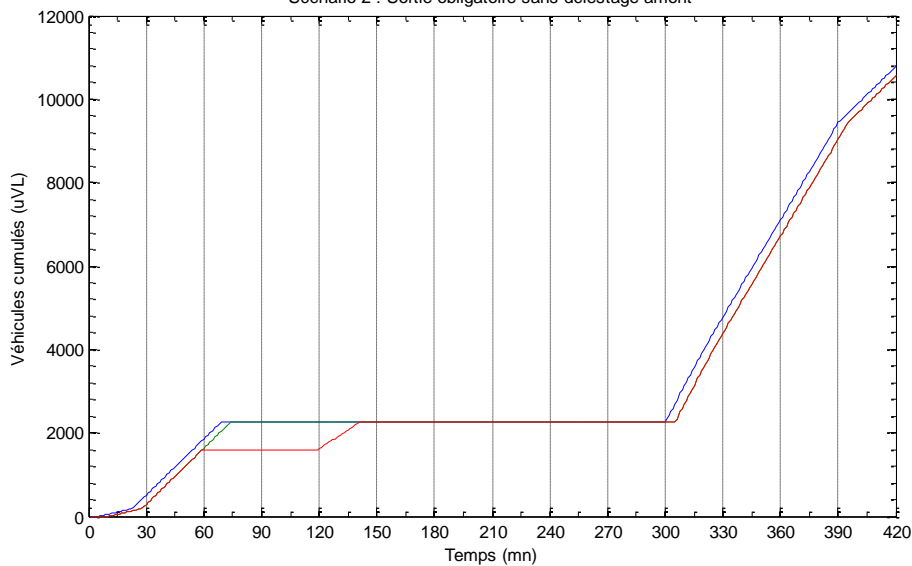
Courbes des débits cumulés (A1 - Autoroute A7)
Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont



Courbes des débits cumulés (A2 - Autoroute A7)
Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont



Courbes des débits cumulés (A3 - Autoroute A7)
Scénario 2 : Sortie obligatoire sans délestage amont



Modélisation Dynamique Simple

