

Calage et validation des modèles de trafic

Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergie et climat
Prévention des risques

Développement durable
Infrastructures, transports et mer

Présent
pour
l'avenir

Page laissée blanche intentionnellement

Guide méthodologique

Calage et validation des modèles de trafic

Techniques appliquées à l'affectation routière interurbaine



Ce guide a été élaboré, sous la direction de Pascaline Cousin, Directrice d'études "Economie des Transports et Trafic" au Sétra, par un groupe de travail mis en place en 2008 par le Sétra et composé de chargés d'études en modélisation des déplacements du Réseau Scientifique et Technique (RST) du Ministère :

- Eric Jeannière, Sétra ;
- Mathieu Jacquot, Cété de l'Est ;
- Benjamin Saubion, Cété Méditerranée ;
- Florent Bardon, Cété de Lyon.

Sont également remerciés tous ceux qui ont participé et contribué à l'amélioration de ce guide, et plus particulièrement les autres chargés d'études en modélisation en Cété ou autres modélisateurs du Ministère.



Sommaire

Chapitre 1 - Champ et contexte du guide	7
1 - Rappels sur l'utilité des modèles de déplacements	8
2 - Champ du guide	9
2.1 - Les types de modèles.....	9
2.2 - Modèles et logiciels.....	10
2.3 - De quel type de modèle traite ce guide ?	11
3 - Le calage dans la construction et l'exploitation d'un modèle	11
3.1 - Spécification du modèle	12
3.2 - Construction de la représentation de la demande	12
3.3 - Construction de la représentation de l'offre	13
3.4 - Calage d'un modèle.....	13
3.5 - Validation d'un modèle	13
3.6 - Exploitation du modèle	13
4 - Synthèse sur les objets du guide	14
Chapitre 2 - Etat des pratiques.....	15
1 - Revue bibliographique.....	16
1.1 - Le calage dans la bibliographie	16
1.2 - Méthodes de réalisation du calage	18
1.3 - Le modèle est-il calé ?	25
2 - Analyse des pratiques dans le RST	29
2.1 - Introduction	29
2.2 - La définition du calage à partir des pratiques de modélisation.....	30
2.3 - Méthodes de réalisation du calage	33
2.4 - Lacunes / Besoins.....	41
3 - Analyse critique de l'état des pratiques	41
3.1 - Inventaire des bonnes pratiques	41
3.2 - Quelles sont les pratiques en contradiction avec les ouvrages de référence ?	42
3.3 - Quels outils et méthodes pourrait-on s'approprier ?	43
3.4 - Quels outils et méthodes seraient à développer ?	43
Chapitre 3 - Recommandations sur les méthodes de calage et de validation Principes généraux.....	45
1 - Introduction	46
1.1 - Objectifs du modèle.....	46
1.2 - Modèle et territoire	48
2 - Rappels sur les principaux paramètres et variables qui peuvent être ajustés ..	50
3 - Architecture de calage proposée	52
3.1 - Phase I – Donner des bases solides au modèle : l'offre et la demande de transport	53
3.2 - Phase II – Comportement à vide du modèle d'affectation	53
3.3 - Phase III – Vérification des résultats d'affectation et ajustement itératif des paramètres	54
3.4 - Phase IV – Validation : le modèle est-il calé ?	54

Chapitre 4 - Phase I : donner des bases solides au modèle.....	55
1 - Hiérarchie des tâches à effectuer	56
2 - Quelques erreurs courantes...	57
3 - Mise au point du zonage.....	57
3.1 - Principes de constitution du zonage	58
3.2 - Quelques éléments sur la désagrégation de matrices.....	62
4 - La matrice des déplacements.....	66
4.1 - Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale.....	67
4.2 - Compléter les trous de la matrice	72
4.3 - Ajustement de la matrice.....	74
4.4 - Décomposition de la matrice en classes de trafic.....	76
5 - L'offre de transport	77
5.1 - Choix du réseau	77
5.2 - Positionnement des connecteurs de centroïdes.....	80
5.3 - Connectivité et caractéristiques générales du réseau.....	81
5.4 - Sources de vérification détaillée de la typologie du réseau.....	81
5.5 - Renseignement du réseau en comptages.....	82
5.6 - Ajustements de certaines caractéristiques du réseau.....	82
Chapitre 5 - Phase II : vérification du comportement à vide du modèle d'affectation	91
1 - Objectifs	92
2 - Quelques sources d'erreurs à vérifier dans la phase II	92
2.1 - La connectivité du réseau	93
2.2 - La connexion de la matrice au réseau	93
2.3 - Le paramétrage du réseau	93
2.4 - La prise en compte des champs du réseau	94
2.5 - Les paramètres d'affectation à utiliser avec les Modules Sétra.....	94
3 - Techniques et outils d'analyse	94
3.1 - Les enseignements à tirer de différents types d'affectations.....	94
3.2 - Outils d'analyse	96
Chapitre 6 - Phase III : vérification des résultats d'affectation et ajustements itératifs des paramètres	99
1 - Hiérarchie des tâches à effectuer	100
2 - Vérification de la convergence	101
2.1 - Critères de convergence	101
2.2 - Ecarts entre l'itération finale N et l'itération N+1.....	101
3 - Analyse globale du modèle vis-à-vis des comptages	103
3.1 - Principes.....	103
3.2 - Vérification globale du modèle : les analyses à effectuer.....	103
3.3 - Recherche de solutions aux difficultés d'affectation.....	108
4 - Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors.....	112
4.1 - Principe.....	112
4.2 - Sélection des corridors	112
4.3 - Principes de la vérification d'un corridor	114
4.4 - Situations de calage d'un corridor	115
4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?.....	117

5 - Analyses de détail	122
5.1 - <i>De la reproduction des comptages</i>	122
5.2 - <i>Vérifier les temps de parcours</i>	123
5.3 - <i>Quels phénomènes sont correctement pris en compte ?</i>	123
Chapitre 7 - Phase IV : validation du modèle	125
1 - Valider avec le maître d'ouvrage	126
1.1 - <i>Le rapport de calage</i>	126
1.2 - <i>La crédibilité du modèle</i>	137
2 - Valider en testant les réponses du modèle à différentes situations	137
2.1 - <i>Réalisation de la validation idéale : utilisation d'un (de) jeu(x) de données différent(s)</i>	137
2.2 - <i>Valider en « expliquant » le comportement du modèle</i>	140
Conclusion - Travaux complémentaires et perspectives d'évolution	143
Bibliographie	145
Liste des sigles	149
Glossaire	151
Annexe 1 - Questionnaire pour l'état des pratiques	155
Annexe 2 - Analyses des réponses au questionnaire dans le RST : sur quelles variables doit/peut-on jouer ?	161
Affinement du zonage	162
Affinement de la description du réseau	163
Paramètres du réseau pour le calcul du temps à vide	164
Courbes débit-vitesse (CDV)	165
<i>Courbes DV au niveau du réseau</i>	165
<i>Courbes DV au niveau de la table de typologie</i>	166
Préchargements et congestion	167
Matrice	168
Autres/divers	169
Annexe 3 - Exemple de facteurs de concentration calculés	171
Annexe 4 - Tableur d'aide au calage	175

Avant-propos

Ecrire un guide méthodologique sur le calage des modèles de trafic nous semble à la fois indispensable et ambitieux. Indispensable, car au moment de construire un modèle, le chargé d'études se pose beaucoup de questions sur la manière dont il devra procéder pour s'assurer que son modèle offre une représentation conforme à l'observation de la réalité. Ambitieux, car on se heurte rapidement à des pratiques de modélisation hétérogènes, ce qui rend difficile la formalisation d'une méthode.

Après un premier chapitre introductif présentant le contexte, les enjeux et les domaines de pertinence du guide, nous avons ainsi essayé de nous attacher à restituer ce que nous apprenait la littérature académique sur le calage, tout en recensant les pratiques des modélisateurs du Réseau Scientifique et Technique du Ministère (RST). C'est l'objet du chapitre 2. Suite à la synthèse de cette double approche, nous proposons au lecteur une méthode pour l'aider dans sa démarche de calage, présentée au chapitre 3. Cette méthode ne se veut pas rigide, mais bien plus un fil conducteur. Elle ne saurait constituer une référence absolue, mais propose un cadre pour aider les chargés d'études au moment d'aborder cette tâche difficile.

C'est ainsi que ce guide s'adresse à tous les modélisateurs du Réseau Scientifique et Technique, et même au-delà, débutants ou confirmés, qui s'interrogent sur leurs pratiques ou sur les pratiques des bureaux d'études avec lesquels ils travaillent. Plus naturellement tourné vers les pratiques de modélisation statique observées en interurbain, nous pensons que les autres modélisateurs des déplacements pourront également trouver un intérêt à confronter leurs expériences aux recommandations de ce guide.

Les rédacteurs profitent également de cet avant-propos pour remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont contribué, par leurs travaux, leurs remarques et leurs commentaires, à la publication de ce guide.

Bonne lecture à toutes et à tous.

Chapitre 1

Champ et contexte du guide

1 - Rappels sur l'utilité des modèles de déplacements

Les réflexions sur l'aménagement du territoire peuvent conduire à considérer la création de nouvelles infrastructures de transport ou l'évolution de politiques des transports plus larges, qui engagent souvent des ressources considérables pour la puissance publique. Dans ce contexte, les analyses des territoires et des déplacements doivent permettre d'apporter des éléments d'aide à la décision au décideur politique.

Selon la complexité du système à étudier, un modèle de déplacements ou de trafic peut être nécessaire. Reffet aussi proche que possible de l'observation de la réalité, ce modèle doit permettre, utilisé en projection, d'évaluer l'impact, la pertinence et l'intérêt d'un projet d'infrastructure de transport ou d'un programme d'aménagements. C'est donc cette notion d'évaluation qui préside à la construction d'un modèle.

Les modèles de déplacements sont des outils complexes qui nécessitent rigueur et organisation au cours de leur construction afin de répondre de façon pertinente aux questions des décideurs. Il convient donc d'être vigilant dans leur utilisation, non seulement du côté des maîtres d'ouvrage qui souhaiteront faire développer et exploiter un modèle, mais également du côté des techniciens qui devront les construire et les utiliser.

Le Sétra a ainsi publié en 2007 un guide méthodologique *Evaluation des projets d'infrastructures routières - Pilotage des études de trafic* [40], pour aider les maîtres d'ouvrage à gérer les commandes d'études de déplacements. Le présent guide s'adresse quant à lui aux chargés d'études en modélisation pour les assister dans l'étape dite de calage des modèles de déplacements.

En effet, les modèles fournissant une représentation abstraite, conventionnelle et simplifiée de la réalité observée, il convient de s'assurer que cette représentation est suffisamment satisfaisante au vu de l'utilisation souhaitée du modèle. Ce travail de calage du modèle est réalisé par le modélisateur et constitue une étape déterminante de la qualité du résultat final.

Pour aborder ce sujet, ce guide propose de préciser ci-après le champ d'application du guide ainsi que le contexte dans lequel il s'inscrit. Puis, dans un second chapitre, il expose l'état des pratiques, en matière de calage des modèles de trafic d'après la littérature et l'expérience du RST. Enfin, dans un troisième chapitre, il propose des recommandations sur les méthodes de calage et des exemples de mises en œuvre pratiques pour certains types de modèles utilisés au sein du RST.

2 - Champ du guide

2.1 - Les types de modèles

Il existe différents types de modèles de déplacements et en conséquence des méthodes et outils de calage plus ou moins adaptés à chaque cas. Le présent guide n'a pas vocation à traiter de tous les modèles disponibles ; nous rappelons donc ici les grandes familles de modèles existants afin d'explicitier précisément le champ du guide, tout en rappelant schématiquement leurs domaines d'emploi.

2.1.1 - Les modèles statiques

Un modèle statique est une représentation simplifiée des déplacements sur une aire d'étude et une période de temps données qui ne tient compte ni des fluctuations de la demande de déplacements sur la période considérée, ni des interactions entre les différents pas de temps et de distance. Ces modèles sont très largement répandus et servent généralement à évaluer des projets de modifications importantes du système de transport (ouverture d'une nouvelle infrastructure, amélioration de la fréquence de desserte d'une ligne de transport en commun, ...) ou de politiques publiques (aménagement urbains, tarification des transports, ...) sur les déplacements de la zone étudiée. Ils s'appuient sur un ensemble d'hypothèses sur les caractéristiques des déplacements de voyageurs et/ou de marchandises ainsi que sur une représentation simplifiée du système de transport. Ces modèles consistent alors à confronter les données d'offre et de demande de sorte à affecter des trafics sur des réseaux et/ou des services de transport. Ces modèles peuvent être mis en œuvre sur des réseaux maillés complexes et à des échelles de territoire variables, de l'agglomération au territoire national, voire au-delà.

A l'intérieur de cette famille des modèles statiques, il existe des nuances importantes. Un modèle statique peut ainsi être monomodal ou multimodal, voyageurs et/ou marchandises. De même, la méthodologie de modélisation peut être différente selon les données que l'on souhaite considérer en entrée du modèle et les sorties ou paramètres intermédiaires que l'on souhaite reproduire avec le modèle.

Parmi les modèles les plus connus, les modèles dits à quatre étapes s'appuient sur des données socio-économiques décrivant l'occupation des sols ainsi que sur la description du système de transport pour modéliser, via deux premières étapes dites de génération et distribution, les flux de déplacements entre des zones préalablement définies sur l'aire d'étude (appelés flux Origine-Destination ou flux OD). Puis, l'étape de choix modal consiste à répartir chaque flux OD entre les différents modes desservant la liaison. Enfin, l'étape d'affectation permet de répartir les flux sur les réseaux de chacun des modes et d'obtenir les débits sur les infrastructures, la fréquentation des services de transports en commun (TC), les itinéraires retenus, ...

D'autres modèles plus simples sont également largement utilisés, c'est le cas des modèles routiers interurbains dans lesquels on reconstitue dans un premier temps les flux OD en estimant directement par sondage les flux routiers sur la zone d'étude, avant de les affecter sur le réseau modélisé. Cette méthode est également utilisée dans certains modèles d'affectation TC sur les réseaux urbains. Dans ces cas, la demande de transport n'est donc pas issue d'une démarche de modélisation, c'est une donnée d'entrée.

Le choix du modèle à développer est défini en fonction du problème posé. Les modèles statiques servent essentiellement à tester des projets ou politiques de transport sur une aire d'étude donnée, mais il est évident que l'on ne retiendra pas le même type de modèle si l'on étudie un projet de transport en commun en site propre dans une agglomération, un projet autoroutier dans un milieu interurbain où la route est le seul mode disponible, une modification de la tarification d'un péage ou encore une autoroute ferroviaire...

Les pratiques de calage présentées dans ce guide au chapitre II concernent uniquement les modèles statiques d'affectation du trafic. Les étapes précédentes de constitution de la matrice OD ne sont évoquées que dans la mesure où elles permettent une amélioration significative des données d'entrée. Pour le chapitre III, qui propose une démarche pour la réalisation pratique du calage, le champ d'application est plus restreint : il s'agit de celui des modèles routiers d'affectation, et en particulier des modèles développés avec les Modules Sétra de

TransCAD (cf. 2.3 -). Néanmoins, la philosophie du calage reste valable pour tous les types de modèles statiques, les recommandations pouvant par ailleurs être applicables à de nombreux modèles d'affectation statique.



Pour faciliter la lecture du guide, les parties qui ne s'appliquent qu'à la modélisation avec les Modules Sétra de TransCAD seront visuellement repérables par cette mise en forme.

2.1.2 - Les modèles dynamiques

Au contraire d'un modèle statique, un modèle dynamique :

- s'appuie sur une demande de transport qui évolue dans la période d'étude,
- tient compte des interactions entre les résultats des différents pas de temps et sections du réseau.

Cette spécification lui permet de rendre compte de l'évolution des conditions de circulation dans le temps de façon fine et de représenter plus précisément l'écoulement des flux à un carrefour, les phénomènes de congestion tels que les remontées de file, les temps de résorption des encombrements, ... Ils aident au dimensionnement des infrastructures et en particulier des échangeurs et carrefours ou permettent de simuler les effets de mesures de gestion des trafics.

Comme pour les modèles statiques, il existe plusieurs types de modèles dynamiques et quel que soit le modèle retenu, sa mise en œuvre nécessite un temps de calage. Néanmoins, le calage de ce type de modèle reste assez particulier, même s'il peut faire appel à des techniques qui sont présentées dans ce guide, entre autres parce que les données nécessaires diffèrent de celles utilisées pour le calage des modèles statiques. Le présent guide n'a donc pas vocation à couvrir directement le champ des modèles dynamiques.

2.1.3 - Autres types de modèles

Enfin, il existe d'autres types de modèles dont beaucoup relèvent essentiellement du domaine de la recherche. Certains commencent à se développer dans des contextes opérationnels ou dans des partenariats entre collectivités et laboratoires comme les modèles d'interface urbanisme/déplacements, les modèles basés sur les activités ou encore les modèles fret adaptés aux politiques de livraison en milieu urbain, ...

Tous ces outils nécessitent une étape de calage au cours de leur développement mais le présent guide ne s'applique pas à ces modèles.

2.2 - Modèles et logiciels

Ce guide s'applique donc au champ des modèles statiques pour la revue de l'état des pratiques puis traite essentiellement des modèles d'affectation routière pour les recommandations méthodologiques et plus particulièrement de ceux développés avec les Modules Sétra de TransCAD. Enfin, il illustre les méthodes proposées uniquement sur le cas pratique des Modules Sétra de TransCAD.

Dans le document, on distinguera donc le modèle du logiciel avec lequel il est développé pour les parties méthodologiques et on abordera la question du logiciel, en particulier celle de TransCAD, lors des illustrations pratiques. Par abus de langage, modèle et logiciel pourront lors des illustrations être confondus mais nous souhaitons rappeler que ces deux notions doivent en théorie être distinguées :

- un modèle est une représentation abstraite, conventionnelle et simplifiée de la réalité observée. Un modèle est défini par un ensemble de règles logiques et mathématiques reliant des paramètres et des variables d'entrée. Dans la notion de modèle, on englobe parfois par extension les données d'entrée comme par exemple le réseau sous forme de tables de données géoréférencées ;
- un logiciel est une application informatique. Il regroupe un ensemble de programmes, de procédés et de règles afin de pouvoir mettre en œuvre les modèles. De nombreux logiciels commerciaux de planification des transports sont utilisés en France (CUBE, DAVISUM, EMME, ...), dont TransCAD utilisé dans le Réseau Scientifique et Technique avec ses Modules Sétra (cf. 3.1 - Spécification du modèle).

Les logiciels de modélisation permettent de construire et d'exploiter de nombreux modèles de types divers et variés. Ils ont chacun des outils et des fonctions qui leur sont propres, plus ou moins bien documentées, certaines parties techniques des algorithmes restant secrètes car soumises à concurrence. Globalement, on peut dire que tous ces logiciels ont approximativement les mêmes possibilités. Les différences les plus évidentes se trouvent dans l'ergonomie et les possibilités de paramétrages avancées.

2.3 - De quel type de modèle traite ce guide ?

Le présent guide traite, dans la revue bibliographique synthétisée au chapitre 2, le domaine des modèles d'affectation statiques puis se limite dans le chapitre 3, c'est-à-dire dans les recommandations, aux modèles d'affectation du trafic routier en milieu interurbain, et en particulier ceux construits avec les Modules Sétra de TransCAD pour certaines méthodes et pour les illustrations pratiques. Ce sont des modèles statiques et monomodaux où le choix d'itinéraire est régit par une loi d'affectation prix-temps, utilisés pour l'évaluation de projets routiers, dans des contextes où il n'y a pas de concurrence directe entre la route et un autre mode et où le réseau reste modérément maillé, c'est-à-dire en milieu interurbain. Une spécification de ce modèle des Modules Sétra est donnée à la partie suivante (*cf.* 3.1 - Spécification du modèle).

Ce choix d'une focalisation plus spécifique sur les modèles routiers interurbains dans le chapitre 3 est lié à l'homogénéité des outils et pratiques dans ce domaine au sein du Réseau Scientifique et Technique où les modèles interurbains pour l'évaluation des projets routiers sont tous développés avec un outil commun, à savoir les Modules Sétra de TransCAD.

Néanmoins, le travail mené conduit à aborder les grands principes de calage commun à tous les modèles d'affectation selon les modes de transport individuel et collectif : définition du zonage, élaboration et amélioration de la matrice OD, arbitrage entre le coût et le temps de transport, effets de la congestion, ... Il en résulte que de nombreuses méthodes et techniques de calage (notamment toutes celles de description de l'offre et de la demande, (*cf.* 3.3 - et 3.2 - Construction de la représentation de la demande) et présentées dans ce guide peuvent être utiles à ceux qui construisent ou utilisent d'autres types de modèles.

Enfin, la plupart des modèles – notamment les modèles multimodaux – nécessitent une bonne connaissance du niveau de service offert par la route. Qu'il y ait une boucle de rétroaction ou pas permettant de prendre en compte l'effet de la congestion routière sur la demande de transport et/ou le choix modal, la mise au point d'un modèle d'affectation routier correctement calé est la seule méthode qui garantisse une bonne description des temps et coûts de parcours des modes de transport empruntant la route. Le calage de l'affectation routière peut ainsi être considéré comme une étape à part entière, nécessaire à la mise au point d'un modèle de déplacements plus complet, incluant les problématiques de mobilité, de choix de mode, ... Le présent guide s'applique à cette étape, maillon parmi d'autres, mais incontournable, d'une même chaîne.

3 - Le calage dans la construction et l'exploitation d'un modèle

Le calage s'inscrit dans un processus plus large de construction d'un modèle de déplacement qui passe par plusieurs étapes dont voici les principales.

Le fil conducteur de cette démarche est d'aboutir à une représentation d'une ou plusieurs situation(s) connue(s) (passées ou présentes) suffisamment fidèle(s) par rapport à ce que l'on mesure pour pouvoir utiliser le modèle en projection, afin d'évaluer des politiques ou projets de transport à l'étude.

3.1 - Spécification du modèle

L'étape préalable à la construction d'un nouveau modèle (ou au développement d'un modèle existant) est la formulation des objectifs de l'étude afin de construire un modèle susceptible d'y apporter un éclairage. Il s'agit de traduire du point de vue de la modélisation ces objectifs en choisissant le périmètre du modèle, sa structure générale (variables d'entrées, lois mathématiques, ...) et son niveau de finesse.

Dans de nombreux cas, la structure générale du modèle ou une partie de celle-ci est standardisée (modules à 4 étapes, modèles d'affectation routiers, ...) et les choix de lois mathématiques pour les différentes étapes des modèles portent sur un ensemble d'outils déjà disponibles. C'est en particulier le cas pour les modèles utilisés pour l'évaluation des projets routiers interurbains au sein du RST avec les Modules Sétra de TransCAD. L'encadré ci-après donne les spécifications de ce type de modèle.



Les Modules Sétra de TransCAD sont des programmes accessibles dans l'interface du logiciel TransCAD. Ils servent à l'évaluation socio-économique des projets routiers. Ils offrent à l'utilisateur trois principaux outils : un gestionnaire de scénarios d'aménagement (qui permet de définir le projet routier à étudier), un modèle d'affectation du trafic routier et un outil de calcul du bilan socio-économique du projet routier considéré.

Le modèle d'affectation du trafic routier utilisé dans ces modules suit une loi prix-temps avec une distribution log-normale des valeurs du temps. Le coût ou prix de transport est estimé selon une méthode normalisée sur la base des éventuels péages de concession, des coûts du carburant, de l'usure du véhicule et de l'inconfort relatif des routes (malus). La congestion est prise en compte par des lois débit-vitesse de type BPR [1].

Quelle que soit la spécification du modèle retenue, le modélisateur doit ensuite travailler à la description de la demande et de l'offre de transport. Le but est de respecter ces deux critères du modèle sous un format adapté à celui-ci (bases de données géoréférencées, matrices, ...) et avec une précision définie en fonction des objectifs finaux du modèle.

3.2 - Construction de la représentation de la demande

Pour représenter la demande de transport, le modélisateur doit en premier lieu définir un zonage, c'est-à-dire préciser le découpage de l'aire d'étude en zones homogènes d'un point de vue des choix de transport. La demande sera par la suite représentée par des flux (de voyageurs/véhicules/marchandises) entre ces zones. Plus précisément, les flux auront pour origine ou destination un nœud représentatif de la zone appelé centroïde. Ceux-ci sont souvent placés au centre de gravité des zones mais peuvent être déplacés. Ces points fictifs sont connectés au reste du réseau par un (ou plusieurs) arc(s) appelé(s) connecteur(s) de centroïde.

Selon le niveau de finesse recherché, et les données dont on dispose, on choisira un niveau de zonage pertinent en fonction des objectifs du modèle.

La représentation de la demande se fait traditionnellement dans un modèle de déplacements par la construction d'une matrice origines-destinations (OD) où l'on retrouve les flux entre zones. Selon les modèles, la matrice OD sera elle-même issue d'une démarche de modélisation ou d'observations directes des flux.

Quelle que soit la méthode retenue, nous verrons que le calage des modèles de déplacements peut conduire à revoir les choix et les résultats réalisés à cette étape.



Pour la modélisation avec les Modules Sétra de TransCAD, la matrice est directement issue d'observations via la réalisation d'enquêtes de circulation [33]. Dans le chapitre 3, partie 4 - , sont disponibles des recommandations pour l'élaboration de ces matrices.

3.3 - Construction de la représentation de l'offre

La représentation de l'offre de transport est généralement effectuée en parallèle de la demande. Il s'agit d'offrir une vision du système de transport avec ses réseaux d'infrastructures et ses services. Aujourd'hui, les logiciels de planification des transports offrent des outils SIG intéressants pour cette représentation.

Le réseau d'infrastructures est généralement représenté par une suite d'arcs et de nœuds correspondant aux sections homogènes d'infrastructure et aux carrefours. Le codage des services de transport en commun varie quant à lui selon les logiciels mais en général, les services sont caractérisés par les temps de parcours, les fréquences ou horaires de desserte des arrêts et leur capacité.

Nous verrons ici aussi que les choix initiaux effectués à cette étape peuvent être remis en cause au moment du calage des modèles qui intervient juste après avoir constitué une première représentation de l'offre et de la demande de transport.

3.4 - Calage d'un modèle

En première approche et d'un point de vue technique, le calage d'un modèle de déplacements peut se définir comme l'ensemble des processus d'ajustements des variables d'entrée et des paramètres du modèle, dans l'objectif de reproduire certains aspects de la réalité en comparant des variables de sortie à des données observées. Dit autrement, il s'agit, en ajustant les paramètres de la confrontation de l'offre et de la demande modélisées, d'obtenir un niveau satisfaisant de comparabilité avec la situation observée en réalité.

Il s'agit d'une des étapes les plus consommatrices en temps de travail lors de la construction du modèle. Elle est fondamentale dans la mesure où elle détermine la qualité du modèle. C'est pourquoi elle fait l'objet du présent guide.

3.5 - Validation d'un modèle

Souvent négligée ou improprement confondue avec l'étape de calage (par abus de langage, on pourra désigner par calage à la fois les étapes de calage tel que décrit ci-dessus et de validation présentée ici), la validation consiste à s'assurer que le modèle réagit correctement à des variations des données d'entrée et qu'il est apte à fonctionner en projection.

Idéalement, le modélisateur dispose pour cette étape d'un jeu de données d'observations qui n'ont pas servi lors du calage. Il est alors en mesure de les utiliser pour valider le fonctionnement du modèle. Il peut s'agir par exemple de deux années différentes d'observation, avec un réseau qui a évolué entre ces deux années.

En pratique, le modélisateur ne dispose pas la plupart du temps de suffisamment de données pour procéder de la sorte, aussi ce guide proposera-t-il quelques recommandations pour s'assurer dans la mesure du possible de la qualité du modèle sans pour autant procéder à une validation complète.

3.6 - Exploitation du modèle

Le modèle de déplacements peut finalement être utilisé en projection, une fois celui-ci calé et validé. Le modélisateur pourra alors l'utiliser pour évaluer des projets ou politiques de transport, en s'assurant à chaque exploitation que son modèle reste pertinent pour répondre à la question posée.

4 - Synthèse sur les objets du guide

Le calage et la validation sont des étapes essentielles de la construction de tous les modèles de déplacements.

Le premier objectif de ce guide est de dresser un état des pratiques de calage et validation des modèles statiques de déplacements, au travers d'une revue bibliographique et d'un recensement des méthodes employées au sein du Réseau Scientifique et Technique (RST). Il propose également un glossaire adapté au domaine de la modélisation et du calage des modèles.

Le second objet de ce guide, se limitant volontairement à la classe des modèles statiques d'affectation du trafic routier, voire à celle des modèles de ce type développés avec les Modules Sétra de TransCAD (que l'on appellera plus simplement modèle de trafic dans la suite du document), est d'aboutir à des recommandations pour faciliter le travail des modélisateurs, en se basant sur l'analyse des bonnes pratiques, inventoriées dans la littérature ou recensées au sein du RST du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM). Dans ce contexte, les étapes de construction de l'offre et de la demande ne seront pas décrites de manière exhaustive, mais leurs relations étroites avec le calage d'un modèle nous permettront d'en souligner certains aspects, et parfois de renvoyer le lecteur vers d'autres ouvrages appropriés.

Le guide se focalise volontairement sur une classe particulière de modèle, mais tous les modèles statiques, mono ou multimodaux, interurbains comme urbains, ont une étape d'affectation. Aussi les recommandations de cet ouvrage pourront, pour la plupart, se généraliser, ou à tout le moins donner des idées, pour réussir le calage d'autres types de modèles.

Chapitre 2

Etat des pratiques

Après avoir présenté dans un premier chapitre comment s'inscrivait le calage dans le processus de construction d'un modèle de trafic, en lien avec les objectifs d'utilisation de celui-ci, cette seconde partie dresse un état des lieux des pratiques de calage.

Elle s'articule en deux parties. La première apporte les notions et concepts présents dans la littérature scientifique. La deuxième partie fait état des pratiques du Réseau Scientifique et Technique suite à l'analyse d'un questionnaire adressé aux différents modélisateurs du ministère.

L'objectif est donc de dresser un état de l'art des concepts et pratiques de calage des modèles de trafic et d'identifier les éléments critiques de la réalisation opérationnelle du calage.

1 - Revue bibliographique

Les documents analysés selon une grille de lecture commune ont été choisis dans le but d'obtenir un panel le plus large possible de ce qui a été publié et effectué en matière de calage, par exemple :

- des documents de recherches scientifiques : thèse de F. Leurent *Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation* [2] ;
- des guides pratiques : documentation TransCAD [3] et manuels du Sétra [4] et [5] guide des pratiques du Certu sur la modélisation des déplacements urbains de voyageurs [6].

La revue a ainsi porté sur des ouvrages publiés en interne et externe au ministère, en France (*Prévoir la demande de transport* de P. Bonnel [7]) et à l'étranger (*Manuel validation and Reasonableness Checking Manual FHWA*) [8] et traitant de la modélisation à différentes échelles : urbaine [6], interurbaine [3], [4] et [5] régionale [8] .

1.1 - Le calage dans la bibliographie

A travers ces différentes lectures, les définitions des grands concepts comme le calage, le calibrage et la validation ont pu être établies. Concernant ces définitions déjà abordées dans le chapitre précédent, il est intéressant de noter que suivant le contexte dans lequel se trouve le modélisateur, de la recherche ou de l'opérationnel, quelques nuances apparaissent.

1.1.1 - La définition du calage

Afin de ne pas mélanger les deux termes calage et calibrage, on définit tout d'abord le calibrage comme un des processus du calage : c'est le fait de déterminer des paramètres d'un modèle à partir d'un jeu de données observées. En conséquence, le calibrage peut être une des étapes du calage d'un modèle.

Quel que soit le contexte d'un modèle, recherche ou opérationnel, l'étape de calage apparaît toujours comme indispensable. Cependant, il existe des nuances que la littérature traduit dans les exemples présentés ci-dessous.

Dans le domaine de la recherche, le modélisateur portera une grande attention à la construction du modèle ainsi qu'à la définition des règles théoriques le régissant, alors que dans l'opérationnel, le modélisateur vérifiera les principes de base de construction de son modèle par rapport aux objectifs et finalités qui ont été fixés avec le maître d'ouvrage.

Les définitions relevées dans la recherche bibliographique rendent compte de ces nuances. Ainsi, on relève dans les documents de recherches les définitions suivantes :

- « le principe du calage d'un modèle est de parvenir à reproduire un jeu de données en estimant un certain nombre de paramètres du modèle », *Prévoir la demande de transport*, P. Bonnel [7] ;
- « le calage consiste à l'ajustement numérique des inputs afin de reproduire les observations », *Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation*, thèse de F. Leurent [2].

Celles-ci font apparaître une première définition du calage. L'analyse des documents tirés d'activités opérationnelles confirme ces premières définitions mais mettent en avant d'autres points qui relèvent bien souvent des objectifs fixés au modèle afin de répondre aux questions et problématiques soulevées par le maître d'ouvrage :

- « le calage est une opération relativement longue, réalisée de façon itérative et consistant à reproduire un jeu de données en calant et estimant un certain nombre d'éléments du modèle. Ce travail peut être réalisé pour chacune des étapes qui constituent une chaîne de modélisation (génération, distribution, choix modal et affectation par exemple pour un modèle à 4 étapes) ». *Recherche bibliographique sur les méthodes de calage*, DREIF [9] ;
- « par caler, on entend reconstituer au mieux les phénomènes réels (débit, temps de parcours, flux origine-destination, taux de correspondance pour un modèle TC, répartition modale pour un modèle multimodal), ce qui impose de disposer de mesures propres à chacun de ces critères pour les périodes considérées ». *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs – Guide des pratiques*, Certu [6];
- le *Manuel Validation and Reasonableness Checking Manual* de la FHWA [8] fait également ressortir la prise en compte du territoire et de ses caractéristiques dans la définition du calage (calibration en anglais) : cet ouvrage souligne qu'à cette étape, il s'agit d'ajuster les paramètres de telle sorte que les caractéristiques de déplacements estimés par le modèle correspondent aux niveaux observés dans la région d'étude. (exemple : les paramètres de choix modal spécifiques à un mode, qui doivent permettre de reproduire les parts modales observées).

1.1.2 - Deux concepts distincts : calage, validation

Dans tous les documents analysés, une notion commune a été mise en avant : la différence entre calage et validation du modèle.

Souvent confondus dans la pratique, la plupart des documents étudiés notent et spécifient la différence entre ces deux étapes de la construction d'un modèle d'affectation de trafic.

- le *Manuel Validation and Reasonableness Checking Manual* de la FHWA [8] définit la validation du modèle comme l'étape au cours de laquelle « il s'agit de comparer certaines prédictions du modèle avec un jeu d'informations qui n'a pas été utilisé lors de l'estimation du modèle. Il s'agit d'une procédure liée au calage par itérations : vérification du modèle par rapport aux estimations puis ajustement des paramètres jusqu'à ce que les résultats soient compris dans une certaine marge d'erreur. La validation permet également, en situation de scénario, de vérifier la sensibilité du système aux changements à analyser, afin de s'assurer que les écarts sont "raisonnables" » ;
- dans le même sens, le *Travel Forecasting Guidelines* (TFG) [10] de l'Etat de Californie précise que la validation d'un modèle à 4 étapes consiste en « la détermination de la précision relative et de la sensibilité du modèle comme outil de prévision. ». Les données de validation devraient être différentes de celles utilisées pour le calage. La validation peut inclure des tests de sensibilité aux données d'entrée ainsi que des vérifications de la vraisemblance des paramètres du modèle.

Cette définition souligne également le fait que cette étape n'est pas toujours mise en œuvre par les modélisateurs, bien souvent par manque de données. De ce fait, soit cette étape n'est pas accomplie, soit elle ne l'est que partiellement.

Les différences dans les définitions de la notion de validation montrent à quel point celle-ci est peu claire :

- le rapport *Recherche bibliographique sur les méthodes de calage* réalisé pour la DREIF [9] précise que « la validation d'un modèle consiste à comparer les résultats de trafic modélisés aux comptages. »
- pour le guide des pratiques du Certu [6] en *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs*, la validation « consiste à juger de la validité du modèle pour savoir s'il est réaliste et cohérent. »
- enfin, pour P. Bonnel dans *Prévoir la demande de transport* [7], elle permet de « s'assurer que les résultats produits par le modèle sont conformes à ce que l'on connaît lorsque l'on fait varier certaines des données. »
- le guide *Travel Forecasting Guidelines* [10] confirme qu'en pratique la signification de calage et validation a évolué avec le temps. Ceci est spécialement vrai dans les régions où les limitations financières (ou le manque de temps) empêchent de mener des enquêtes de transport, coûteuses en argent et en temps. Dans la plupart de ces régions les procédures de calage et validation sont devenues un seul et même exercice. Sans des études

d'enquêtes origines-destinations (OD) récurrentes, nombres de modèles sont calés en utilisant des valeurs par défaut issues d'autres études et qui sont adaptées localement.

Dans la partie 2, l'état des pratiques révélera que cette étape de validation n'est également faite que très rarement et qu'elle repose surtout sur une validation par le maître d'ouvrage en concordance avec les objectifs du modèle fixés au départ de l'étude.

1.2 - Méthodes de réalisation du calage

1.2.1 - Une architecture du processus de calage rarement définie

Les différentes lectures faites dans cette analyse bibliographique mettent en évidence qu'il n'existe d'architecture de calage ni systématique, ni universelle, bien que les diverses techniques présentées se rapprochent les unes des autres.

L'explication la plus immédiate est liée la plupart du temps au type de modèle utilisé et aux objectifs qui lui sont fixés, et par conséquent au degré de précision attendu.

Cependant, certaines lignes directrices se dégagent de ces différents ouvrages. Des efforts sont notamment portés sur la constitution du réseau (codage de l'offre de transport), de la matrice OD (bonne représentation de la demande de transport), avec une validation ou un contrôle fait par des analyses aux comptages, sur des lignes-écrans ou encore sur des répartitions de chemins pour une OD.

Dans ce sens, dans la *Recherche bibliographique sur les méthodes de calage* [9] menée par la DREIF, les techniques de calage proposées visent à modifier les paramètres d'entrée (codage du réseau), les algorithmes et la matrice OD de sorte à atteindre des objectifs fixés sur des indicateurs de calage.

Pour caler l'affectation routière, le rapport recommande de :

- vérifier le codage du réseau ;
- calibrer la forme du coût généralisé, soit en utilisant des valeurs tutélaires comme celles préconisées dans le rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux en 2001, *Transports : choix des investissements et coût des nuisances* [11], soit en utilisant des enquêtes de préférences déclarées ;
- valider les courbes débit-vitesse en choisissant des courbes adaptées à la zone et en codant les intersections de façon pertinente selon qu'elles dimensionnent ou non l'écoulement du flux.

Pour caler les matrices OD, le rapport recommande plusieurs étapes :

- caler sur des lignes-écrans pour vérifier les volumes des flux, sur un zonage agrégé ;
- caler sur des comptages pour ajuster la matrice sur le zonage fin (cela suppose de travailler avec une matrice déjà relativement correcte).

Par ailleurs, le *Travel Forecasting Guidelines* (TFG) [10] donne des analyses à mener afin de repérer les points problématiques du calage et d'atteindre un objectif de représentativité des trafics sur au minimum 10% des sections de routes principales représentées dans l'aire d'étude :

- pour le calage, le TFG préconise de procéder à une comparaison des affectations par type de voies, puis le cas échéant de modifier les courbes débit-vitesse par type de voies pour améliorer l'ajustement ;
- pour la validation, l'idée est de procéder à des analyses locales (lignes-écrans, lien par lien, ...), puis d'identifier quelle étape a un impact (de mauvais résultats sur une ligne-écran témoignent d'un problème à l'étape de distribution du modèle, une mauvaise affectation sur un secteur d'un problème dans la génération, ...).

Les procédures décrites peuvent en outre être automatiques ou manuelles.

Finalement, on ne retrouve pas dans la littérature de description complète d'une architecture de calage mais plutôt une liste des différentes techniques à mettre en œuvre de façon itérative afin de s'assurer d'une certaine robustesse du modèle.

1.2.2 - Des objectifs de reproduction des données observées diversifiés

La difficulté à définir une architecture de calage est à relier avec la diversité de la nature des modèles de déplacements. Selon la nature des enseignements qui sont attendus du modèle, des observations très différentes devront être reproduites correctement. Le calage peut donc avoir des objectifs très distincts d'un modèle à l'autre. Deux sources de diversité principales ont été identifiées :

- les variables de sortie que le modélisateur cherche à reproduire ;
- les échelles d'analyses auxquelles les vérifications sont effectuées.

Ces visions sous différentes approches de calage ou échelles doivent permettre au final au modélisateur de se prémunir de bon nombre d'incohérences dans la réalisation du calage du modèle ainsi que de porter un regard particulier sur les points clés de cette étape afin de s'assurer de la concordance des informations fournies par le modèle par rapport aux objectifs établis en amont.

1.2.2.1 - Un regard différencié selon les variables de sortie

L'ouvrage *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs - Guide des pratiques* édité par le Certu [6] apporte une formalisation sur une vision globale du calage, et le décompose en trois types de calage à mener parallèlement afin d'obtenir le meilleur résultat possible :

- calage en débit : c'est la pratique la plus développée. Il s'agit de s'assurer que les résultats de trafic correspondent aux comptages. Le guide présente une distinction entre écart relatif et absolu. Ces écarts permettent de préciser la qualité du calage ;
- calage en temps de parcours : il s'agit de comparer les temps modélisés aux temps réels. Une notion de seuil d'acceptabilité est également présentée bien que ce seuil soit difficilement représentatif, notamment du fait de la problématique de congestion que l'on peut rencontrer en milieu urbain ;
- calage en flux origine-destination : cela consiste à vérifier la répartition entre les différents chemins d'une OD.

Cette situation soulève des difficultés particulières : si, comme le souligne la thèse de F. Leurent *Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation* [2], « le calage tel qu'il est réalisé dans la pratique consiste le plus souvent à constater des écarts entre l'observation et le modèle localement, puis ajuster le modèle pour réduire ces écarts », comment garantir la cohérence entre les trois variables de sortie ? Si l'effet de modifications du modèle pour reproduire une des trois variables peut être anticipé, comment prévoir la réaction d'un outil complexe à la tentative de reproduire trois variables simultanément ? Une réflexion a priori est donc à conduire sur la hiérarchie de reproduction des trois variables. F. Leurent [2] conseille par exemple de caler en priorité et dans la mesure du possible les temps de parcours, plus proches du critère de décision (coût généralisé minimum) que le simple débit.

1.2.2.2 - Un regard différencié selon les échelles

D'autres ouvrages comme le manuel *Model Validation and Reasonableness Checking Manual* [8] de la FHWA mettent en avant non pas différents types de calage à réaliser comme le Certu mais un ensemble de stratégies de résolution des problèmes qui se présente sous trois niveaux : global, corridor, local et transports en commun :

- au niveau global, il est principalement conseillé d'analyser la construction de la matrice : ratios de génération, données socio-économiques, taux d'occupation des véhicules, pourcentages des déplacements intrazonaux, distribution de la longueur des déplacements, ...
- au niveau du corridor, la comparaison d'une affectation tout ou rien avec l'affectation à contrainte de capacité sera pertinente, de même qu'une analyse des chemins (ou chevelus). Il s'agit de s'intéresser à des OD spécifiques, et notamment à l'estimation de leur flux. Par exemple, certains centres d'activité majeurs peuvent être mal positionnés, même si le total régional de l'emploi est correct, et donc entraîner des erreurs lors de la génération qui se répercutent sur la distribution. Les paramètres pris en compte lors de la distribution (classiquement la distance ou le temps de parcours) peuvent être insuffisants pour reproduire les liens préférentiels s'établissant entre différentes zones : une correction par la méthode des facteurs K peut alors être mise en œuvre (cf. § 1.2.3.3 - Ajustements statistiques basés sur les variables de sortie).

- au niveau local, les attributs des liens seront vérifiés, de même que l'emplacement des connecteurs de centroïdes. Des générateurs spécifiques peuvent avoir été omis. Enfin, les pénalités de mouvement tournant peuvent avoir été mal codifiées.

Ces trois échelles sont également sources d'interactions potentielles. Le manuel *Model Validation and Reasonableness Checking Manual* [8] recommande de procéder selon une approche descendante, avec des critères de vérification spécifiques :

- vérifications globales : véhicules.heures (véh/h) et véhicules.kilomètres (véh/km) parcourus par type de voies ou par classe de vitesses, véh/h et véh/km parcourus par ménage et par personne, somme des trafics sur des cordons ou des lignes-écrans ;
- vérifications par corridor, basées sur le total des comptages sur une coupure ;
- vérifications par arc, basées sur les comptages.

Les vérifications globales et par corridor permettent surtout d'analyser les données d'entrée. La vérification par arc (et par type d'arc) doit permettre quant à elle d'ajuster les paramètres d'affectation. Il est recommandé de limiter au maximum les modifications des paramètres par arc, et plutôt de travailler sur les types d'arcs.

1.2.3 - Des techniques de calage diverses

P. Bonnel [7] souligne dans son ouvrage qu'il n'existe pas de procédure standard de calage. Les données pour caler les attributs des fonctions servant à codifier les réseaux et à définir les coûts des liens ne sont pas toujours directement disponibles. Il n'en reste pas moins que différentes techniques de calage transposables sont proposées comme étant disponibles pour la plupart des exercices de modélisation de trafic. Ces techniques peuvent être décomposées en trois groupes :

- recherches et corrections d'erreurs ;
- ajustements statistiques basés sur la diversité des comportements des individus ;
- ajustements statistiques basés sur les variables de sortie.

Toutes ces méthodes ont en commun la difficulté suivante : elles ne permettent d'estimer qu'un nombre restreint de paramètres et devraient donc être largement itératives. Par ailleurs, contrairement aux deux premières techniques, la troisième technique conduit à une perte de pouvoir explicatif : elle ne devrait donc intervenir que dans les dernières étapes du calage du modèle.

Enfin, à l'issue de toutes ces vérifications (données d'entrée et affectation), se pose la question : Quand le modèle d'affectation est-il calé ? Quels sont les indicateurs et critères de validation ?

Bien que cette question semble primordiale, il n'existe pas de liste exhaustive d'indicateurs et de critères d'arrêt (valeurs seuils) permettant de valider assurément la pertinence du modèle. Il existe cependant certains indicateurs qui contribuent à évaluer l'amélioration du modèle, présentés dans la partie suivante.

1.2.3.1 - Recherche et correction d'erreurs

Comme le soulignent Ortúzar et Willumsen [12] dans leur ouvrage de référence sur la modélisation des transports, la première piste d'explication d'un mauvais calage du modèle est à rechercher dans les erreurs de détermination des paramètres et variables d'entrée, par exemple lors du codage du réseau. Ils insistent ainsi sur l'importance de vérifier les données entrées dans le modèle pour décrire l'offre de transport : « Check and double-check the network » (Vérifiez et re-vérifiez le réseau).

Le manuel *Model Validation and Reasonableness Checking Manual* [8] dresse une liste de ces sources d'erreurs potentielles :

- erreurs de mesure ou de codification du réseau résultant d'un contrôle de la qualité des données insuffisant ;
- erreurs d'échantillonnage venant du biais introduit par la sélection d'un échantillon d'observations dans la population ;
- erreurs de calcul ;
- erreurs de spécification dues à une mauvaise structure du modèle (omission d'une variable clé) ;

- erreurs de transfert lorsque des éléments utilisés dans un contexte sont transposés à un autre ;
- erreurs d'agrégation issues de modèles représentant des groupes d'individus ou de ménages, alors que les comportements sont à l'échelle de l'individu.

En particulier, en ce qui concerne l'étape d'affectation, le manuel recommande d'examiner les points suivants :

- convergence de l'affectation, notamment le nombre d'itérations ;
- paramètres de la courbe débit-vitesse ;
- paramètres de conversion des trafics journaliers en trafics horaires ;
- facteurs de conversion d'unités (de miles/h en km/h, par exemple) ;
- contraintes de vitesses minimum et maximum ;
- types de trafics préchargés (transit, poids lourds, trajets longs/courts, véhicule à haute occupation, ...) ;
- modèle de file d'attente au péage.

Selon le type de modèle et ses objectifs, la littérature montre qu'il faut attacher plus d'importance à certaines vérifications :

- dans le cas de modélisation interurbaine et notamment dans la prise en compte du transit, il est judicieux d'effectuer des vérifications des chevelus ;
- dans le cadre de modélisation à quatre étapes, il est primordial de s'assurer à chaque étape que ces erreurs soient maîtrisées. Dans le cas contraire, elles se propagent au cours des réalisations des différentes étapes et le modèle perd ainsi une grande précision (*cf.* figure ci-dessous extraite de la FHWA [8]).

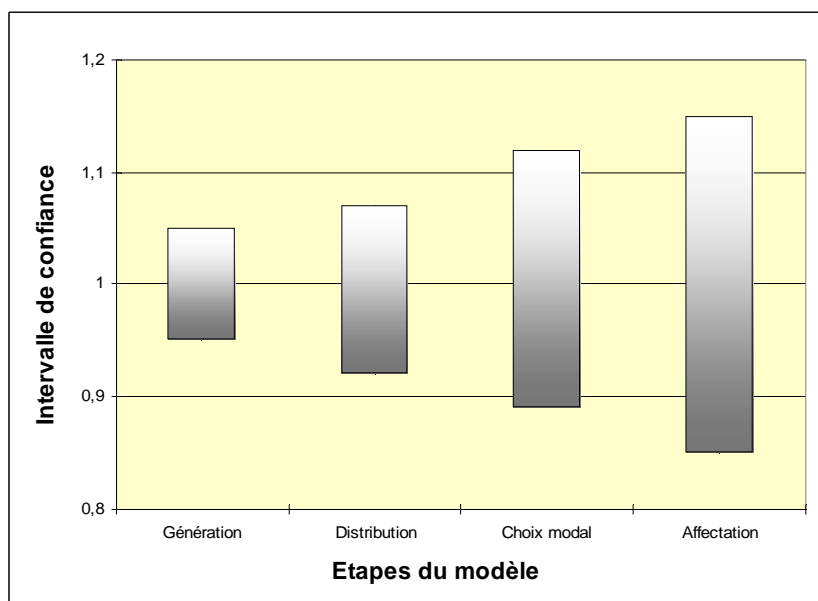


Figure 1 - Représentation de la propagation de l'erreur au cours du déroulement des étapes d'un modèle

1.2.3.2 - Ajustements statistiques basés sur les comportements individuels

L'approche par correction et vérification d'erreurs, si elle constitue un préalable indispensable, peut s'avérer insuffisante. D'autres techniques peuvent alors prendre le relais pour le calage et notamment pour reproduire à la fois des spécificités régionales (par exemple dans des zones où le pouvoir d'achat est faible, on s'attendra à une moindre utilisation des infrastructures à péage en moyenne) et la diversité des comportements individuels. Ces techniques sont typiquement mises en œuvre pour caler certains modèles de génération, de choix modal ou de choix d'itinéraires.

En ce qui concerne le choix d'itinéraires, ces spécificités sont surtout reliées à l'arbitrage effectué par chaque individu entre le temps et le coût de parcours, capté par le concept de valeur du temps, qui permet de convertir un gain de temps en valeur monétarisée. Si des éléments de cadrage sur la valeur du temps existent (*cf.* § 4.5 - *Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?*), de fortes disparités régionales peuvent intervenir dans sa

distribution. D'autres éléments traduisant les préférences individuelles peuvent également peser dans le résultat, comme par exemple l'influence de la signalisation ou celle de l'inconfort d'usage de certains types de routes, ...

Dans les modèles, cette diversité des comportements qui se retrouve dans différents endroits des modèles de déplacement peut être intégrée de différentes manières telles que celles détaillées dans Pfeffer [13] :

- affectation à l'équilibre usager, selon le principe de Wardrop, avec segmentation de la matrice en classes d'utilisateurs ;
- affectation stochastique, fondée sur la théorie des choix discrets ;
- affectation bi-critère prix-temps avec distribution statistique des valeurs du temps, fondée sur la recherche des itinéraires efficaces (définis par le fait que, pour un itinéraire efficace de coût C et de temps de parcours T , il n'existe pas d'itinéraire ayant simultanément un coût C^* inférieur à C et un temps de parcours T^* inférieur à T).

Dans l'étude de F. Leurent [14] sur le péage du tunnel du Prado Carénage à Marseille, un cadre général de calibrage des valeurs du temps est défini, fondé sur la méthode du maximum de vraisemblance (cf. Chapitre 6 § 4.5 - *Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?* pour une description détaillée). Ce cadre de calibrage peut s'adapter à différents types de modèle : dans l'étude en question, les valeurs du temps sont calibrées pour différents modèles de choix discrets et différents modèles bi-critères. Dans le cas présenté, le calibrage est effectué sur des données désagrégées de préférences révélées sur les choix d'itinéraires. Cependant l'usage de préférences déclarées peut également être intéressant, notamment lorsqu'une infrastructure à péage est à l'étude.

Ce principe de calibrage est adapté à certains cas précis, notamment lorsqu'une infrastructure à péage est en concurrence avec une infrastructure d'usage gratuit. Néanmoins, il s'agit de veiller à l'effectuer au moment opportun lors de la réalisation du calage : avant une vérification complète des attributs du réseau, la description des alternatives serait faussée, ce qui créerait des biais dans l'optimisation. Une autre difficulté est liée au fait que cette technique n'optimise pas simultanément tous les paramètres de l'affectation, et notamment ceux liés à la congestion. La cohérence entre les résultats de l'optimisation et l'affectation effectuée avec ces résultats n'est donc pas garantie. Ceci nécessite donc une planification amont du processus de calage, voire des procédures itératives.

1.2.3.3 - Ajustements statistiques basés sur les variables de sortie

Le fondement de ce groupe de techniques est principalement relié à l'incohérence entre :

- les données servant à déterminer les variables d'entrée (par exemple, la description de la demande), qui sont basées sur un échantillon très faible de la population ;
- les données d'observation à reproduire : on peut citer les données de comptages routiers, dont certains sont issus de relevés horaires sur toute l'année, d'autres sur une semaine, ...

L'idée sous-jacente consiste à utiliser une technique d'optimisation (par exemple la méthode du gradient) pour déterminer les valeurs des variables d'entrée permettant de minimiser l'écart entre les résultats du modèle et les données observées.

Ce groupe de techniques est principalement employé pour corriger les matrices OD. Les plus rencontrées dans la littérature sont illustrées ci-après dans des encadrés montrant des exemples de mise en œuvre témoignant ainsi de leur champ d'application. Le chapitre 4 (cf. § 4.3 - reviendra plus en détails sur les principes régissant la plupart des modules automatiques disponibles dans les logiciels de planification des transports, de redressement de matrice sur les comptages, tels que celui mis en œuvre dans le premier encadré.

Leur usage semble pertinent, car il permet d'identifier clairement la matrice OD comme un élément important dans le processus du calage. Cependant, l'utilisation de ces méthodes nécessite des précautions d'usage, car le risque de procéder à des déformations arbitraires sans lien avec la réalité des comportements est élevé. Or, la revue bibliographique reste très limitée sur les recommandations d'emploi de ces méthodes. Sans viser l'exhaustivité, trois sources de complications sont identifiées :

- la sélection des comptages que le modèle devrait être capable de reproduire ;
- les interactions avec les autres paramètres du calage (nécessitant probablement une méthode itérative) ;
- le caractère non explicatif pouvant entraîner des estimations irréalistes.

L'étude menée par la DREIF [9] permet également d'identifier une technique de ce type visant à ajuster simultanément les paramètres du réseau et la matrice OD, pratiquée par Cofiroute. Si cette méthode permet de garantir une estimation cohérente de l'ensemble des variables et paramètres d'entrée, les résultats obtenus ne sont pas systématiquement réalistes et pertinents, notamment pour les paramètres du réseau, ce qui nécessite un important travail de vérification manuelle.

Ajustement de la matrice OD sur les comptages Cas du modèle de la DREIF [9]

En injectant en entrée au modèle de demande MODUS de la DREIF les variables décrivant l'état de la situation actuelle (occupation des sols, description du système de transport), les matrices obtenues en sortie des trois étapes (génération, distribution, répartition modale) simulent la demande de mobilité observée dans la réalité. Leur affectation permet ensuite de confronter les résultats de la modélisation à l'épreuve des faits. Des écarts plus ou moins importants apparaissent alors inévitablement. Ils sont dus à la non prise en compte de certains déplacements : flux touristiques, flux spécifiques liés à certains pôles générateurs de trafics non considérés, ... ou aux défauts intrinsèques de modélisation.

Afin d'améliorer les résultats de l'affectation, l'opération de calage est alors réalisée en deux temps :

- d'abord, un ajustement préalable des paramètres du réseau (temps de parcours à vide, capacité pour les arcs routiers) est réalisé lorsque cette intervention est justifiée ;
- ensuite, on procède à la déformation ponctuelle et progressive des matrices : on obtient des matrices calées au niveau de l'affectation.

Le calage est un exercice d'optimisation sous la contrainte de conserver autant que possible la structure matricielle issue du modèle : si les matrices calées et les matrices de sortie sont très différentes, des problèmes se poseront dans le cadre de l'utilisation en scénario.

La méthode d'optimisation de la matrice OD à partir des comptages est décrite plus en détails dans la suite du document (§ 4.3 - *Ajustement de la matrice*).

Technique du pivot ou report de calage Cas du modèle de la DREIF [9] Recommandations du TAG Unit 3.10.3 [15]

La DREIF [38] présente dans son document la notion de report de calage, complémentaire au calage. Cette technique est rendue nécessaire lorsque la matrice utilisée pour l'affectation a été déformée (par exemple par un ajustement automatique sur les comptages) et est donc différente de la matrice issue des étapes précédentes de construction du modèle (par exemple un modèle de génération/distribution/partage modal). Le problème suivant se pose alors pour l'étude de scénarios : comment utiliser les résultats du modèle de distribution pour projeter la matrice d'affectation ?

La solution proposée consiste à déterminer la matrice d'affectation du scénario étudié comme une combinaison d'un effet multiplicatif lié au ratio de la matrice de distribution du scénario étudié sur la matrice de distribution en situation de calage et d'un effet additif lié à la différence entre la matrice de distribution du scénario étudié et la matrice de distribution en situation de calage.

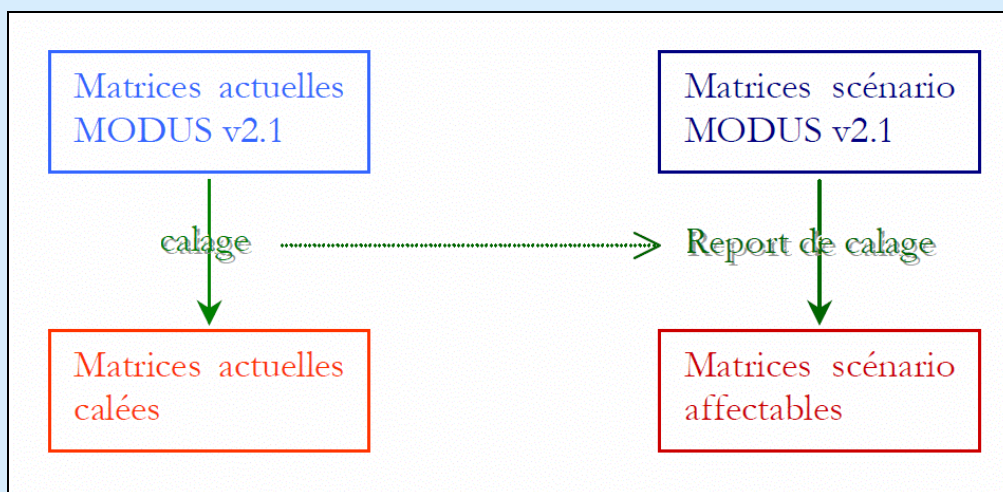


Figure 2 - Exemple de calage et report de calage – Schéma extrait de "Modus 2.1. – Documentation détaillée du modèle de déplacements de la DREIF"[9]

Une approche similaire est présentée dans TAG Unit 3.10.3 [15]. Elle fournit les éléments de recommandation suivants :

- l'utilisation du report de calage peut être rendue nécessaire par une mauvaise spécification du modèle de distribution. Dans ce cas, l'application du modèle de distribution en situation de scénario risque d'être une importante source d'erreurs ;
- néanmoins la mise en œuvre d'un modèle de distribution correctement spécifié est très délicate ; une approche combinant données observées/données modélisées est donc à privilégier (notamment afin de remplir les cases vides de la matrice liées à l'erreur d'échantillonnage), avec la mise en œuvre d'une technique de report de calage en situation de scénarios ;
- l'utilisation d'un modèle de distribution absolu (sans report de calage) est à réserver pour les cas où des modifications importantes des O/D sont prévisibles (forte modification de l'usage du sol par exemple).

Ajustement de la distribution à l'aide des facteurs K

Recommandations du TAG Unit 3.10.3 [15]

TAG Unit 3.10.3 [15] (TAG par la suite) propose une alternative au report de calage : l'introduction de facteurs K dans le modèle de distribution. L'idée est fondée sur les limitations du modèle de distribution classique, selon lequel la valeur d'un flux de la zone i vers la zone j est uniquement liée à trois paramètres :

- la quantité de déplacements émise par la zone i ;
- celle attirée par la zone j ;
- la résistance à la distance ou au coût de transport entre i et j.

Or, la matrice dépend non seulement de la structuration spatiale du territoire, mais également d'autres facteurs (sont cités dans le TAG les choix antérieurs concernant la localisation et les déplacements). L'inclusion de facteurs multiplicatifs de correction K_{ij} , traduisant le lien préférentiel de la zone i vers la zone j, permet de prendre en compte ces interactions omises par le modèle synthétique. Lorsque la fonction de résistance à la distance est une exponentielle négative, ces facteurs K peuvent être interprétés comme un paramètre additif au coût généralisé de transport. Ils sont également utilisés en projection.

Cependant, le TAG insiste sur le fait qu'il reste difficile d'interpréter si les facteurs K traduisent réellement des facteurs omis ou si une sensibilité au coût de transport distincte selon les régions devrait être incluse. Ceci a des conséquences en termes d'élasticité qui sont décisives en situation de scénario.

1.3 - Le modèle est-il calé ?

Différents indicateurs et critères montrant la qualité d'un modèle et sa robustesse se dégagent à la lecture des documents bibliographiques. Pour autant, dans la pratique, il apparaît difficile d'affirmer qu'un modèle est définitivement calé, étant donné qu'il fait souvent l'objet d'améliorations à plus ou moins long terme, par exemple grâce à :

- des données d'enquêtes plus récentes et plus fines ;
- des informations sur la répartition des modes, des chemins sur différentes OD ;
- une connaissance du réseau plus fine et mieux renseignée ;
- l'utilisation de courbes débit-vitesse permettant une meilleure représentation des comportements selon le type de voiries ;
- ...

1.3.1 - Les indicateurs

Certains indicateurs de calage sont mentionnés dans la majorité des ouvrages avec un accord sur des valeurs seuils à retenir. On retient ainsi en synthèse de cette revue bibliographique les indicateurs suivants :

- par ligne-écran, l'écart relatif entre trafics observés et modélisés ;
- par point de comptage, les différences absolues et relatives entre trafics observés et modélisés. Les résultats peuvent être présentés :
 - soit sous forme de graphe, comme ci-après ;
 - soit dans un tableau dans lequel on indiquera les écarts maxima par type de voies.

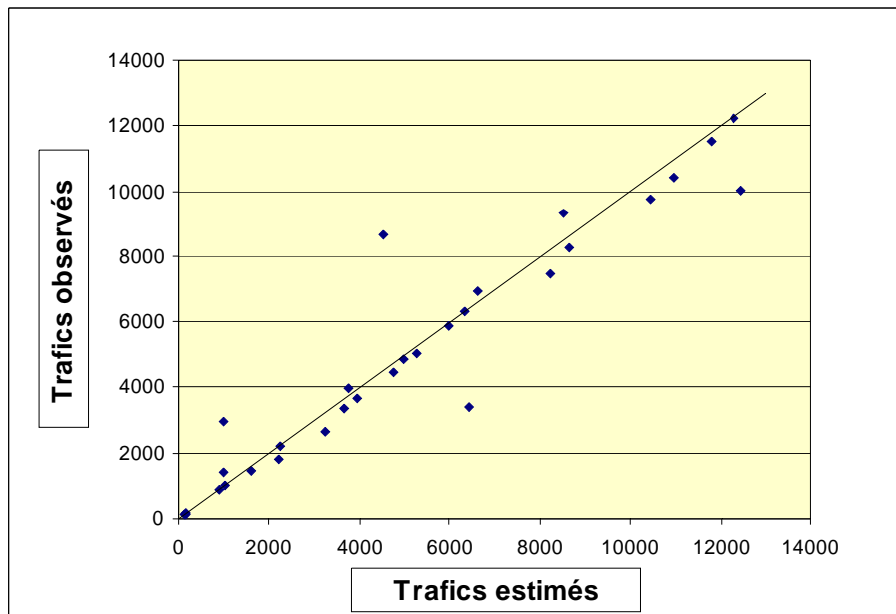


Figure 3 - Diagramme des flux estimés par rapport aux flux observés

Types de voies	Écarts relatifs FHWA	Écarts relatifs MDOT
Autoroute	+/- 7%	+/- 6%
Artère principale	10%	7%
Artère secondaire	15%	10%
Collectrice	25%	20%

Tableau 1 - Écarts relatifs maxima (trafics estimés - comptages) par type de voies préconisés dans la FHWA (Federal Highway Agency) [8] et MDOT (Michigan Department of Transport)[16]

- pour l'ensemble des comptages, le coefficient de détermination R^2 entre le trafic observé et le trafic affecté. Le coefficient de détermination est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées ;
- pour l'ensemble des comptages et par type d'arcs, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE : Root Mean Square Error) entre les trafics observés et affectés pour tous les liens comptés par type d'arc :

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (v_{ci} - v_{ai})^2 / (N - 1)}}{\sum_{i=1}^N v_{ci} / N}$$

avec V_{ai} les flux affectés et V_{ci} les comptages pour l'arc i .

- pour chaque point de comptage et donc de comparaison, l'indicateur GEH (appelé ainsi d'après son inventeur : Geoffrey E. Havers), qui prend en compte à la fois les erreurs absolue et relative, fournissant ainsi un bon indicateur entre flux affectés et comptages observés par tronçon. Cet indicateur, qui se rapproche dans sa définition du test Chi-deux, est conçu pour être tolérant pour les erreurs les plus importantes dans les faibles débits.

$$GEH = \sqrt{\frac{(f - c)^2}{(f + c) / 2}}$$

avec f les flux affectés et c les comptages.

Nous reportons ci-après dans un tableau les valeurs de seuils rencontrées dans la littérature.

Nom de l'indicateur	Champ de l'indicateur	Valeur seuil	Source
Ecart relatif des trafics	Par ligne-écran	<5% <10%	Federal Highway Administration
	Par tronçon	<5% <10%	Ministère des transports anglais Design Manual for Roads and Bridges
Ecart relatif et absolu des trafics	Pour 85% des tronçons dont le trafic est <700 véh/h	<100 véh/h	
	Pour 85% des tronçons dont le trafic est compris entre 700 et 2700 véh/h	<15%	
	Pour 85% des arcs dont le trafic est >2700 véh/h	<400 véh/h	
GEH	Pour plus de 85% des tronçons	<5	Ministère des transports anglais Design Manual for Road and Bridges
	Par ligne-écran	<4	
Ecart relatif des temps de parcours	Pour plus de 85% des itinéraires	<15%	
Ecart absolu des vitesses	Par itinéraire	Entre -/+ 3,5 km/h Entre -/+ 6,5 km/h	
Coefficient de corrélation	Ensemble des tronçons	>0,88	US Department of Transportation
RMSE	Ensemble des tronçons	<30%	Montana Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est inférieur à 5000 véh/jour	<116%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est compris entre 5000 et 10000 véh/j	<43%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est compris entre 10000 et 20000 véh/j	<28%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est compris entre 20000 et 40000 véh/j	<25%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est compris entre 40000 et 60000 véh/j	<30%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation
	Tronçons dont le trafic est supérieur à 60000 véh/j	<19%	Oregon Department of Transportation Tennessee Department of Transportation

Tableau 2 - Synthèse des valeurs seuils des indicateurs de calage rencontrés dans la littérature

Tous ces indicateurs apportent une certaine crédibilité à la qualité du calage d'un modèle, sans pour autant que l'on puisse dégager une hiérarchie entre ces indicateurs. Le document de la DREIF [9] souligne qu'en effet, « si dans certains domaines scientifiques le choix d'un indicateur statistique plutôt qu'un autre est essentiel, ce n'est pas le cas en modélisation des transports. Dans tous les cas, les modèles restent une approximation et l'on ne peut pas faire une véritable validation. Il s'agit donc de choisir un indicateur et de s'y tenir afin de pouvoir mesurer les améliorations apportées par le processus de calage. »

Cependant, l'indicateur le plus fréquemment utilisé est l'écart relatif entre comptage et flux modélisé ce qui correspond à la valeur absolue des écarts entre les comptages et les résultats du modèle divisée par les comptages). Cela permet d'avoir un pourcentage que l'on compare à un seuil que l'on se fixe (10% par exemple). Le problème de cet indicateur est que l'on donne le même poids à tous les trafics. Il est donc important de bien choisir les points de comptages que l'on utilise pour le calage ; il ne s'agit pas obligatoirement de tous ceux dont on dispose, mais uniquement des plus importants. Une autre possibilité est de calculer un

indicateur par type de voies : on calcule l'écart entre le modèle et les comptages puis on fixe un seuil de validation en fonction du trafic.

1.3.2 - Les analyses révélant la qualité du calage et de la validation

En complément de ces indicateurs présentés dans le paragraphe précédent, il existe des analyses permettant de compléter les informations fournies par les indicateurs et de visualiser la qualité du calage. Les temps de parcours et les répartitions par OD sont plutôt utilisés pour analyser les raisons des écarts avec les comptages [9] :

- écarts entre les temps de parcours issus du modèle et les temps de parcours observés ;
- vérification du réseau par l'analyse des arbres de plus courts chemins ;
- analyse des temps à vide par isochrone (distance seule, temps réel seul, temps généralisé, coût seul, puis coût généralisé, afin de ne pas noyer les erreurs dans le coût généralisé). »

Tous ces indicateurs ou analyses présentés ci-dessus peuvent être calculés à différents niveaux dans le but d'apporter des éléments de réponse à la réflexion ayant initié la mise en place du modèle :

- zones géographiques pertinentes par rapport aux objectifs de l'étude ;
- types de tronçons (autoroutes, axes structurants, pénétrantes, ...) ;
- lignes-écrans ;
- comptages individuels.

Bien qu'il paraisse difficile d'afficher des indicateurs en tout point positifs, il est indispensable de s'assurer de la qualité des indicateurs témoignant de la pertinence du modèle avec les objectifs fixés à celui-ci.

Par exemple, si l'on travaille sur un modèle avec une problématique interurbaine, il sera judicieux de veiller à la qualité des indicateurs concernant les autoroutes et routes structurantes nationales plutôt que ceux des voies de dessertes plus locales.

Enfin, malgré la difficulté d'effectuer l'étape de validation comme elle est définie selon les règles de l'art (c'est-à-dire en utilisant une base de données différente de celle du calage), il existe deux types de tests permettant une validation selon deux approches qui regroupent certains des indicateurs énumérés ci-dessus comme le présente le *Model Validation and Reasonableness Checking Manual* [8] rédigé par la FHWA :

- tests de vraisemblance (reasonableness checks) : il s'agit de comparer les résultats du modèle avec des données observées, mais aussi avec des valeurs connues au plan national ou dans d'autres régions, d'effectuer des tests logiques, ...
- tests de sensibilité (sensitivity checks) : les tests de sensibilité mesurent la réponse à des changements sur le système étudié, généralement exprimée sous la forme de l'élasticité.

Ces tests permettent de recadrer le travail fait dans un contexte plus global (comparaison avec des modèles répondant à une problématique similaire et réalisés par d'autres spécialistes) et de s'assurer de la robustesse du modèle vis-à-vis de modifications du système ou territoire étudié.

2 - Analyse des pratiques dans le RST

2.1 - Introduction

2.1.1 - Présentation du questionnaire

Un questionnaire portant sur les pratiques de calage en modélisation a été adressé à l'ensemble des modélisateurs au sein du Réseau Scientifique et Technique. Il vient compléter le balayage bibliographique par une vision centrée sur les pratiques. L'objectif est donc de dresser un état des pratiques du calage des modèles de trafic en milieu interurbain principalement, et d'identifier les éléments critiques de réalisation de ce calage.

Le questionnaire complet est joint en annexe. Il est composé de quatre parties :

- identification du modèle et de sa méthode de construction : le questionnaire a généralement été rempli par le modélisateur pour un modèle particulier, afin de pouvoir mettre en évidence l'influence du type de modèle sur le travail de calage. Cette partie permet de caractériser ce modèle et de détecter d'éventuelles différences dans les pratiques de calage qui relèveraient du mode de construction du modèle, de son échelle, des bases de données utilisées, ... On note à ce stade que, bien que la présente analyse concerne les modèles en milieu interurbain, quelques utilisateurs de modèles urbains ont également été interrogés. Ce choix n'est pas neutre dans le sens où de nombreux projets à analyser concernent souvent autant des secteurs urbains qu'interurbains ou à l'interface entre les deux. Par ailleurs, la modélisation interurbaine pourrait évoluer vers des méthodes plus semblables à celles utilisées pour les modèles urbains ;
- le calage : l'objet de cette partie est de collecter une connaissance fine des méthodes employées pour réaliser le calage. Les questions portent sur un éventuel algorithme complet de calage et sur un ensemble de procédures de vérification, sur les paramètres clés du calage et la manière de les estimer, enfin sur les variables de sortie analysées pour s'assurer de la qualité du calage ;
- la validation : cette partie aborde la notion de scénarios de calage au pluriel. La question posée est celle de la vérification de la bonne réaction du modèle à une variation des variables d'entrée ;
- autres/commentaires : il s'agit principalement de détecter les lacunes/besoins des modélisateurs pour faciliter/fiabiliser leur travail de calage.

2.1.2 - Échantillon de modèles analysés

Un ensemble de dix-huit questionnaires, ainsi qu'une réponse par mail ou note technique, ont été renvoyés par différents organismes couvrant l'ensemble des modélisateurs traditionnels au sein du ministère (les sept Cété, la DREIF, le Sétra, la Mission Tarification, le CGDD/SEEIDD).

L'échantillon interrogé est donc complètement centré sur les pratiques au sein du ministère. Par ailleurs, seuls deux organismes ont répondu en tant que maîtres d'ouvrage du modèle ayant fait appel à un prestataire extérieur. Il s'agit des DRE Alsace et Ile-de-France pour les modèles Rhin Supérieur et MODUS, auxquels il sera intéressant de prêter une attention particulière. Ils permettent à la fois d'avoir une vision des exigences possibles pour un maître d'ouvrage (donc moins concerné par les contraintes de réalisation du modèle) ayant une bonne connaissance de la modélisation et de repérer des méthodes différentes utilisées par les bureaux d'études.

Ces dix-huit questionnaires sont par la suite analysés selon trois catégories de modèles :

- modèles interurbains (onze modèles) : il s'agit de la catégorie-cible de notre état des pratiques :
 - le modèle est développé autour d'un projet ou d'un objet particulier généralement routier ;
 - l'objet analysé est plutôt en milieu interurbain, voire en périurbain ;
 - la demande de transport est incomplète, centrée sur les objectifs précis du modèle (à savoir évaluer les trafics sur un/des projet(s) étudié(s) afin d'en estimer son/leur intérêt socio-économique), et constituée principalement à partir d'enquêtes OD ;
 - il est à noter que les modèles dits régionaux développés dans le cadre du SNIT (Schéma National des Infrastructures de Transport) par certains Cété (Lyon, Méditerranée) ont été intégrés dans cette catégorie.

De fait, même si les spécifications sont identiques aux autres modèles du groupe (cf. 3.1 - Inventaire des bonnes pratiques, ils en élargissent la portée : ils permettent d'étudier plusieurs projets et ne sont plus centrés uniquement sur l'analyse des différentes variantes d'un même projet ;

- modèles à 4 étapes à l'échelle régionale, appelés par la suite modèles régionaux (trois modèles pour quatre questionnaires : Loire-Atlantique, Rhin Supérieur et modèle de la région lilloise) : le modèle est pertinent surtout en périurbain et en interurbain, mais les objectifs du modèle sont moins ciblés, et la demande de transport est la plus complète possible (modèle de génération/distribution). A noter que les deux modèles régionaux déclarés sous Emme 2 correspondent à un seul, celui de l'agglomération lilloise au sens large, analysé par deux modélisateurs et pour deux utilisations distinctes (projets précis pour le SNIT/réponse plus générale). Ces modèles présentent une alternative intéressante à notre catégorie-cible et nous verrons si les différences de construction ont des effets sur le calage de l'affectation ;
- modèles urbains (trois modèles) : il s'agit de modèles centrés sur une agglomération, construits ou non pour un projet précis, à partir d'une demande de transport complète (génération/distribution) basée généralement sur une enquête ménages ou sur des ratios de mobilité. Ils incluent généralement a minima une grille de partage modal et éventuellement (DREIF) une modélisation du partage modal. Leur distinction permettra de dégager les spécificités liées au milieu urbain.

Pour ces trois types et dix-huit questionnaires, le tableau ci-après indique les logiciels d'affectation utilisés. Tandis que le type interurbain se sépare clairement en deux entités (trois Ariane, huit TransCAD), liées aux logiciels historiques du RST pour l'interurbain, l'échantillon couvre une variété plus importante de logiciels pour les types régionaux et urbains (Davisum, Emme 2, Cube, TransCAD). Dans deux cas (Cété Sud-Ouest et Cété Nord-Picardie), deux outils d'affectation distincts ont été utilisés pour le même modèle, TransCAD avec le modèle prix-temps des Modules Sétra ou les modèles standard de Emme2 et TransCAD.

Outil logiciel	Territoire			
	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Ariane	3			3
Davisum		1	2	3
Emme 2		1		1
TransCAD, dont	8		1	9
<i>Modules Sétra (prix-temps)</i>	7			7
<i>Modules Sétra (prix-temps) et TransCAD standard</i>	1			1
<i>TransCAD standard</i>			1	1
Cube		1		1
Modèle régional Lille (Emme 2 ou TransCAD)		1		1
Total	11	4	3	18

Tableau 3 - Type de logiciel utilisé par les modélisateurs du Ministère interrogés

2.2 - La définition du calage à partir des pratiques de modélisation

Au sein du Ministère, un certain consensus se dégage autour d'une définition de base suivante :

Définition 1 : "Le calage est l'étape de construction d'un modèle qui consiste à vérifier la bonne reconstitution par le modèle d'une situation particulière -dite de calage- telle qu'elle est observée".

Il est intéressant de remarquer qu'un seul contrepoint se fait sentir à cette définition, et qu'il traduit plutôt la vision d'un maître d'ouvrage que celle d'un maître d'œuvre.

Définition 2 : "Le calage d'un modèle permet d'effectuer des prévisions fiables, d'établir des résultats quantitatifs impossibles à recueillir (nombre de véhicules.km par exemple) et d'alimenter en données d'entrée d'autres études (pollution, effet de serre, bruit, sécurité, ...)".

Cette dichotomie maître d'ouvrage/maître d'œuvre pourrait s'interpréter dans un premier temps par le fait que la définition 1 implique la définition 2, si le travail est correctement réalisé. En effet, la définition 1 correspond à une description des opérations à faire pour caler un modèle tandis que la définition 2 fixe les objectifs finaux d'un modèle calé, à savoir être utilisable pour faire des simulations de trafic. La définition 2 fait ainsi apparaître la nécessité de la détermination d'objectifs de modélisation qui orientent et restreignent le travail de calage.

De nombreuses variations/nuances viennent cependant pondérer cette proposition de base, que l'on peut recentrer autour des différents mots composant la définition :

2.2.1 - Construction

Pour les modélisateurs, le calage intervient dans la construction d'un modèle, après avoir effectué une première estimation des variables d'entrée, paramètres et lois logiques et mathématiques (appelé ici état initial). Cet état initial peut être disponible selon deux cas :

- il peut s'agir d'un modèle calé antérieurement, qui doit être actualisé. Dans ce cas, on parlera de recalage, la pratique semblant montrer que le travail à fournir est plus ou moins léger en fonction du nombre d'années pendant lesquelles le modèle n'a pas été utilisé. Il s'agit alors de s'assurer que, en mettant à jour les principaux changements de variables d'entrée depuis la dernière situation de calage, le modèle produit une nouvelle situation de calage satisfaisante. Cela peut s'interpréter comme une sorte de validation a posteriori (cf.2.2.3 - Reconstitution des situations de calage et de validation "situation de calage"). Si cela n'est pas convaincant, des retouches des lois mathématiques et des paramètres seront également nécessaires ;
- sinon, le modèle est à construire entièrement. L'état initial est donc disponible à partir d'un ensemble d'observations, de données de référence (type circulaire, bibliographie, ...) et/ou d'un corpus d'hypothèses. Dans ce cas, il s'agit de déterminer si l'état initial construit reproduit la situation de référence et d'ajuster cet état initial en conséquence.

2.2.2 - Vérifier

La vérification est liée à la façon dont cet état initial est ajusté en ce qui concerne les données d'entrée.

2.2.2.1 - Vérification par recherche d'erreurs

Elle consiste à identifier, à chaque étape du processus de construction du modèle, les erreurs dans la définition de l'état initial et à les corriger. L'état initial des données d'entrée est ici considéré comme pouvant être déterminé "indépendamment" du jeu de données servant à la vérification.

Il s'agira par exemple de s'assurer que le réseau est décrit assez finement pour reproduire le niveau de service (traversées d'agglomérations, pentes, carrefours giratoires, ...). L'analyse est itérative : les écarts affectation/comptages ou itinéraires/enquêtes permettent d'identifier les portions du réseau pour lesquelles le niveau de service est décrit de manière insuffisamment précise.

2.2.2.2 - Vérification par utilisation de méthodes d'ajustement

L'état initial est considéré comme étant une approximation de la réalité, et les données de référence utilisées pour l'estimer sont sujettes à des incertitudes. La vérification permet alors d'ajuster l'état initial par l'utilisation de différentes procédures.

Par exemple, il s'agira de déterminer, souvent par une heuristique, les paramètres du réseau permettant de reproduire au mieux les comptages (capacité, vitesse à vide, facteur de concentration), avec des données vraisemblables, mais non forcément observées.

Cette pratique est également très courante :

- le modèle Grand Sud-Est utilise de tels procédés ou le modèle Baie de Seine - Île-de-France pour la modification de la typologie de voirie ;
- les modèles du Côté de Lyon utilisent également ce genre de techniques pour déformer la matrice ;
- l'ajout de préchargements généralisés en est un dernier exemple.

Ce type de pratique est mis en oeuvre de manière intégrale et cohérente par Cofiroute (M. Delons, méthode du gradient, cf. *DREIF - Recherche bibliographique sur les méthodes de calage* [9]).

2.2.2.3 - Comparaison des méthodes de vérification

La grande différence entre les attitudes 1 et 2 est constituée par l'attitude du modélisateur face aux variables d'entrée, lois logico-mathématiques et paramètres et donc vis-à-vis de la mise en place de l'état initial. Dans le cas 1, il aura tendance à déterminer l'état initial le plus précisément possible et sera moins enclin à en modifier les valeurs, tandis que dans le cas 2 il considérera que l'état initial est une vision approchée de la situation réelle qu'il s'agit d'ajuster.

Dans la pratique, les modélisateurs au sein du ministère adoptent plutôt, du moins dans le principe, l'attitude 1- même si l'on sait pertinemment que la pratique sera une combinaison des deux attitudes- ce qui est cohérent avec un ensemble d'indices (cf. Phase III – Vérification des résultats d'affectation et ajustement itératif des paramètres) :

- le grand soin apporté à la construction du réseau anticipé ;
- la non-utilisation généralisée d'outils d'ajustements automatiques même si cette dernière s'explique aussi en grande partie par leur absence ;
- l'homogénéité des lois d'affectation utilisées et des méthodes de détermination de matrices mises en oeuvre.

On pourrait imaginer vérifier cette hypothèse de deux attitudes également vis-à-vis du temps de travail accordé au calage. En effet, dans le cas 1, beaucoup de temps sera accordé à la construction de l'état initial et le calage devrait être relativement rapide, tandis que dans le cas 2 le calage serait plutôt assez long car nécessitant d'incessants allers/retours des variables/paramètres/lois logico-mathématiques vers la vérification. Cette analyse est cependant à nuancer au vu de la taille du modèle et des objectifs qui lui sont accordés (cf. 2.2.4 - Observations). On se contentera donc de noter que, globalement, une bonne moitié des modélisateurs déclare des temps nécessaires au calage de l'ordre de dix à quinze jours représentant entre 20 et 50 % du temps de travail sur le modèle, tandis que l'autre moitié déclare des temps pouvant aller de un à plusieurs mois, avec un maximum de 75 % du temps de travail sur le modèle.

2.2.3 - Reconstitution des situations de calage et de validation

La situation de calage exprime un état du modèle (année modélisée, périodes de l'année, de la semaine ou du jour, variables de sortie prises en compte) pour lequel il est ajusté, c'est-à-dire que des observations sont disponibles et l'on considère soit que les écarts avec les prévisions du modèle sont acceptables, soit que le modèle n'est plus améliorable.

Cependant, deux questionnaires font ressortir l'idée qu'il pourrait y avoir plusieurs situations de calage, afin de s'assurer que le modèle réagit correctement à l'évolution de ses paramètres, par exemple l'ouverture d'une nouvelle autoroute ou l'augmentation des péages. Dans la pratique, ceci n'est que très rarement effectué (dans un seul cas), et cette étape est donc interprétée comme distincte du calage : la validation.

Il est néanmoins légitime de s'interroger sur la pertinence de cette dichotomie : si elles sont séparées, ces deux étapes du calage d'un modèle n'en sont pas moins itératives. Si la validation révèle une mauvaise réaction du modèle à certains paramètres, il faut soit reprendre le calage, soit renoncer à l'analyse de ces paramètres via le modèle.

La validation classique, imposant l'analyse d'une situation différente de celle utilisée pour le calage ou un jeu de données de vérification distinct, étant à la fois importante et lourde à mettre en oeuvre, la difficulté est contournée par quelques modélisateurs en procédant à deux types d'analyses :

- sensibilité : il s'agit d'observer comment le modèle réagit à la variation d'une variable d'entrée, par exemple l'augmentation du péage, et de vérifier si cette réaction mesurée généralement comme une élasticité est conforme aux ordres de grandeurs habituels ;
- comparaison avec des résultats d'autres modèles ayant une intersection non nulle avec le modèle à caler.

2.2.4 - Observations

La situation de calage (ou de validation) est généralement caractérisée selon divers indicateurs : trafic en section courante, mouvements tournants, choix d'itinéraires du transit ou des OD longue distance, temps de parcours, ... Un modèle de trafic courant permet également de calculer ces indicateurs et il s'agira donc, avant d'analyser des situations de scénarios, de vérifier qu'il reproduit les mesures de la situation de calage. Cependant, au vu de la masse de données à traiter, le modélisateur restreint souvent l'analyse. Si les trafics en section courante font toujours l'objet du calage, les mouvements tournants ne sont souvent analysés que si le modèle alimentera des calculs de dimensionnement d'intersections ou de points d'échange, le trafic de transit sera calibré si une déviation est étudiée, la connaissance des temps de parcours sera importante pour les calculs économiques, l'accessibilité, l'alimentation en données d'un modèle de distribution, ... Le choix des données observées à collecter et sur lesquelles le modèle doit s'ajuster est donc lié aux objectifs assignés au modèle et au temps disponible pour le constituer.

De la même manière, un modèle est établi généralement sur un périmètre dit "périmètre d'étude" plus large que le secteur où un projet, une politique de transport sont à étudier, ceci afin de reproduire certaines concurrences entre itinéraires et donc d'estimer le potentiel de report, c'est-à-dire d'apport de trafic dans le périmètre d'étude. Quelques modélisateurs notent donc qu'on ne pourra pas exiger la même précision sur l'ensemble du périmètre de modélisation. Par exemple, un modélisateur indique l'importance de reconstituer les trafics dans le périmètre d'étude en utilisant le moins possible de préchargement. On retrouve de la même façon cette notion d'objectifs du modèle déterminant les vérifications à effectuer.

Du fait de cette importance de la relation entre les éléments observés et les objectifs du modèle, certains modélisateurs mettent en avant la nécessaire implication de la maîtrise d'ouvrage dans le calage du modèle. Cette implication signifie d'une part une validation, c'est-à-dire que le maître d'ouvrage indique au modélisateur que son modèle reconstitue ce qu'il connaît de la situation de référence, et d'autre part un choix du champ du calage (compromis fiabilité/pertinence, choix des observations à reproduire, paramètres sur lesquels on permet une certaine latitude, ...). Le rôle du modélisateur est de clairement expliquer les conséquences des différents choix effectués dans ce cadre.

Finalement, à l'aide de ces différentes nuances, une définition élargie maximaliste peut donc être établie (définition 3), la définition 1 restant néanmoins la plus proche des pratiques actuelles en interurbain :

Définition 3 : "Le calage est l'étape de construction d'un modèle, par détermination des lois logico-mathématiques, paramètres et variables d'entrée qui le composent, qui consiste à analyser et vérifier la reconstitution de plusieurs situations particulières -dites de calage et de validation- telles qu'elles sont observées, à l'aide d'indicateurs choisis en fonction des objectifs et du périmètre du modèle, l'ensemble étant réalisé en concertation avec le maître d'ouvrage".

2.3 - Méthodes de réalisation du calage

Le paragraphe précédent a permis dans un premier temps une exploration théorique du calage par les modélisateurs : Quels champs recouvre-t-il ? Qu'en attend-on ? Quels en sont les principes ?

Afin de pouvoir procéder à une mise en relief de cette vision du calage, il s'agit de décrire dans le détail les pratiques concrètes de calage. Quatre étapes sont examinées :

- les spécifications du modèle : comment prépare-t-on sa construction ? y-a-t-il des marges de manœuvre ?
- l'algorithme de calage : y-a-t-il des méthodes formalisées pour réaliser le calage ?
- les variables d'ajustement : quels sont les outils utilisés ?
- la finalisation du calage : quand considère-t-on qu'un modèle est calé ?

2.3.1 - Spécifications du modèle

Parmi les trois types de modèles identifiés (interurbain, régional et urbain), il est possible de détecter quelques variations dans la méthode de construction :

2.3.1.1 - Lois d'affectation

Tout d'abord, il convient de rappeler que les logiciels utilisés dans le RST pour l'évaluation des projets routiers interurbains ne laissent pas de marge de manœuvre pour le choix de la loi d'affectation. Le logiciel Ariane ne permet que des affectations stochastiques avec la "loi d'Abraham", et les Modules Sétra du logiciel TransCAD n'autorisent que des affectations de type prix-temps.

Il est intéressant de noter que quasiment tous les modèles régionaux et urbains font appel au "user equilibrium", à l'exception :

- du modèle Poids Lourd de la Mission Tarification, qui utilise une loi d'affectation de type Burrel, intégrant un élément stochastique dans la sélection de chemins ;
- du modèle Modus de la DREIF (affectation Tribut, de type prix-temps).

Par ailleurs, un modèle interurbain (Cété SO, RN 10/A20) a été testé avec deux lois d'affectation différentes, soit le prix-temps des Modules Sétra, soit le user equilibrium implémentés dans TransCAD.

2.3.1.2 - Constitution du réseau

L'homogénéité des modèles interurbains se retrouve, puisque les trois modèles Ariane sont construits à la main, tandis que sept des huit modèles TransCAD sont construits intégralement sur la BD 30 000 arcs. Le seul modèle (Cété NC, Baie de Seine/Île de France) se basant sur Route 500 et la BD Carto tend vers un modèle régional, notamment en intégrant des réseaux et matrices urbains détaillés. En urbain, on retrouve des méthodes diverses, avec un niveau de détails allant de Géoroute à la BD Carto, voire des réseaux à la main. Les modèles régionaux sont principalement constitués par fusion de bases de données diverses, à l'exception du modèle départemental Loire-Atlantique, reposant exclusivement sur la BD Carto.

2.3.1.3 - Vérification et correction du réseau, mesures de temps de parcours

Les différentes méthodes utilisées sont regroupées dans le tableau 4. En complément d'informations, il est intéressant de noter que tous les modélisateurs déclarent vérifier et corriger la base de données, tandis que seules quatre personnes emploient l'ensemble des méthodes possibles. Par ailleurs, l'utilisation soit de cartes, soit de reconnaissances terrain est un point de passage obligé : les quatre modélisateurs déclarant ne pas utiliser de cartes font des reconnaissances terrain et vice versa pour les quatre modélisateurs ne faisant pas de reconnaissances terrain.

	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Cartes	9	4	1	14
Reconnaisances terrain	7	2	3	12
Photos aériennes	6	2	1	9
Mesures de temps de parcours	4	2	2	8
Ariane existant	2			2
Interrogation maître d'ouvrage		1		1

Tableau 4 - Méthodes de vérification des bases de données

En ce qui concerne les types de cartes, différentes échelles sont utilisées selon les besoins, les plus courantes étant le 1/100 000^{ème} et le 1/200 000^{ème}, quelquefois le 1/25 000^{ème}. La base de données SICRE n'est utilisée que par 2 modélisateurs, peut-être parce qu'elle ne couvre que le RRN, souvent insuffisant pour faire de la modélisation. En fait, l'utilisation de cartes tend à être remplacée/complétée par les photos aériennes, soit via des sites Internet (Geoportail, Google), soit via la BD Ortho.

Des mesures de temps de parcours sont réalisées uniquement par huit modélisateurs sur dix huit. Elles peuvent correspondre :

- à un relevé simple lors d'une reconnaissance terrain sur un passage en heures creuses ;
- à des suivis de véhicules en heures creuses et heures de pointe sur une dizaine de relevés ;
- à des méthodes de véhicules flottants complexes, impliquant un suivi du flot (pour chaque véhicule dépassant le véhicule flottant, dépassement d'un autre véhicule), jusqu'à cinquante à soixante-dix passages ;
- à l'utilisation de bases de données, issues par exemple de SIRIUS en Ile-de-France.

Enfin, deux méthodes spéciales de correction du réseau peuvent être notées :

- si la réutilisation de réseaux existants n'est mentionnée que deux fois, cette pratique était courante notamment avec Ariane, où les modèles avaient tendance à grossir par ajouts au fur et à mesure des études. De même, les modèles urbains partent souvent d'un modèle préexistant ;
- l'amélioration du réseau par dialogue avec le maître d'ouvrage, si elle n'est citée qu'une seule fois, paraît très pertinente, puisqu'elle permet dans un sens une meilleure appropriation par celui-ci du travail de modélisation et dans l'autre de bénéficier de sa connaissance de gestionnaire du réseau (quand cela est le cas).

On retiendra donc une absence de confiance vis-à-vis des bases de données disponibles et une attention particulière à constituer un réseau propre. En revanche, les façons de faire diffèrent fortement.

2.3.1.4 - Demande de transport

Les méthodes utilisées, recensées dans le tableau 5, correspondent bien à notre décomposition en trois types de modèles (100 % interurbain par enquêtes OD, 100 % régional et urbain par méthode à 4 étapes – génération/distribution/éventuellement répartition modale/affectation). Elles sont parfois complétées par un relevé minéralogique, permettant par exemple de connaître la part de transit et d'échange par rapport à un village devant être dévié ou d'estimer les mouvements sur une rocade. Il semble a contrario que les matrices gare à gare soient rarement fournies par les sociétés autoroutières puisqu'elles ne sont utilisées qu'une seule fois.

	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Enquêtes OD	11	3	1	15
Minéralogiques	2 à 3	1	1	4 à 5
4 étapes	1+1*	4	3	7
Flux Domicile/Travail	1	1		2
Matrice gare péage à gare péage	1			1
Comptages sur bretelles	2			2
<i>*uniquement pour matrices urbaines</i>				

Tableau 5 - Méthodes de constitution de la demande de transport

Si quelques modèles interurbains s'intéressent à la modélisation à 4 étapes (Cété SO, Cété NC) ou utilisent les flux domicile/travail pour combler l'absence d'enquêtes (Cété NP, Cété Est), il est surprenant de noter qu'aucun modélisateur ne cite les Enquêtes Ménages Déplacements (EMD), d'autant plus que leur périmètre a tendance à s'élargir pour inclure toute l'aire urbaine du secteur enquêté. Des exploitations particulières des enquêtes OD, par motif et taux d'occupation, ne sont également pas évoquées ici alors qu'elles peuvent représenter une source d'informations très intéressante pour monter un modèle à 4 étapes "interurbain". De même, il n'est nulle part fait mention de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD), qui permettrait de fixer des ratios de mobilité, des distributions de distance de déplacement type, ... Enfin, la base de données SITRAM (Système d'Information sur le TRAnsport de Marchandises) sur le transport de marchandises n'est également pas évoquée.

Par ailleurs, il est intéressant de porter une mention particulière au modèle Rhin Supérieur, qui constitue un exercice de modélisation à 4 étapes particulièrement complet. Travaillant sur un périmètre transfrontalier, il combine quatre sous-modèles voyageurs (pour les déplacements internes à chaque région -Alsace, Baden Württemberg et canton de Bâle- et pour les déplacements transfrontaliers) et un modèle fret sur un espace beaucoup plus vaste, à l'échelle européenne.

La demande de transport, si elle est constituée sur une base commune, fait l'objet de travaux complémentaires très différents selon les objectifs du modèle. La modélisation à 4 étapes commence à apparaître en interurbain, autant pour combler les lacunes des matrices OD que pour apporter des réponses plus riches sur l'évolution des déplacements. Par ailleurs, même si le questionnaire ne le fait pas apparaître, la diversité des bases de données et de leurs utilisations potentielles est de plus en plus exploitée (ENTD, enquêtes ménages déplacements, flux domicile-travail, exploitation plus détaillée des enquêtes OD, SITRAM, ...).

2.3.2 - Peut-on mettre en place un algorithme commun ?

2.3.2.1 - Remarques générales

Dix modélisateurs sur dix huit (dont six sur onze en interurbain) déclarent ne pas avoir de méthode de travail systématique, seulement huit pensent que leur méthode de travail est partagée entièrement par leurs collègues. quatorze modélisateurs estiment qu'elle est transposable à un autre outil. La lecture de ces résultats semble indiquer un caractère relativement individuel du calage (à la fois vis-à-vis du modèle et du modélisateur), mais des pratiques indépendantes de l'outil (hormis pour les modélisateurs d'Ariane, logiciel avec lequel les itinéraires sont rentrés à la main en fonction de la connaissance du modélisateur, ce qui permet d'utiliser des méthodes de calage relativement incompatibles avec un logiciel où la recherche d'itinéraires est automatique). Il s'agit ici d'explorer le détail des méthodes de travail indiquées dans les questionnaires pour mieux comprendre les points communs et les divergences entre les méthodes.

Avant d'entrer dans ce détail, on remarquera une limitation, liée sans doute au caractère auto-administré du questionnaire : la plupart des réponses sont relativement laconiques et il est difficile de les interpréter sur un mode algorithmique, par exemple du type si ... alors ...

D'abord, la méthode de travail semble liée à la définition donnée au calage. Ainsi qu'il a été établi au chapitre précédent, une majorité de modélisateurs voit dans le calage principalement une vérification. Il en résulte que leur méthode de travail déclarée consiste souvent en une liste de variables de sorties servant à la vérification, avec un ordre plus ou moins établi :

- répartition entre itinéraires sur les OD principales puis,
- temps de parcours/mesures ou à des références externes (viamichelin, TéléAtlas, ...) puis,
- comptages par arc.

Les étapes 1 et 3 sont quasiment toujours effectuées en interurbain (avec nuance : "pas le temps pour les itinéraires"). L'étape 2 n'est quant à elle pas systématique. Autour de ce noyau de vérifications, diverses analyses ou pratiques complémentaires peuvent être identifiées :

- un préchargement généralisé est effectué dans quasiment tous les cas, soit comme première étape (car supposé conditionner le niveau de service et les itinéraires), soit comme dernière étape (une fois que le modèle est jugé "bon", on complète le trafic du périmètre d'étude) ;
- les analyses des comptages par arc peuvent se concentrer aux emplacements des postes d'enquête où la demande est connue entièrement. Les modélisateurs "interurbains" citant cette méthode y voient l'avantage de la clarté de l'analyse des erreurs. En effet, les flux OD ne sont connus précisément que sur ces arcs ;
- analyse a posteriori via un scénario : repérer les OD qui se voient attribuer des avantages en temps irréalistes.

Les analyses sur coupure ou cordon sont relativement rares en interurbain (quatre sur onze) et en fonction du nombre de kilomètres parcourus par type de voies quasiment absentes quel que soit le type de modèles (trois sur dix huit).

Il n'est que peu précisé si ces étapes sont suivies linéairement, de manière itérative, ... Par ailleurs, les écarts sont principalement analysés par production de cartes de différence en valeur relative. Dans certains cas, notamment pour les modèles régionaux, des indicateurs d'erreur absolue sont également utilisés. Le recours à des indicateurs généraux du type erreur quadratique moyenne est très rare, et peut s'expliquer en interurbain par le fait que la matrice de demande est souvent incomplète, ce qui implique que cet indicateur aurait peu de sens (soit il mesure l'efficacité du préchargement, soit il mesure la sous-estimation de la matrice).

En dehors de ce cadre général de calage qui relève plus du domaine de l'interurbain, une méthode systématique de calage en urbain peut être dégagée des réponses au questionnaire, de même que quelques cas particuliers en interurbain, que nous allons examiner.

2.3.2.2 - Méthode de travail en urbain

Tout d'abord, il convient de noter que les modèles font généralement l'objet de différents calages :

- calage de la génération, à l'aide de l'EMD quand elle est disponible ;
- calage de la distribution, sur un zonage agrégé, à partir de l'EMD ou d'un comptage sur ligne-écran ;
- calage de l'affectation.

Ce dernier est précisé en général selon deux étapes successives, ainsi que le note un modélisateur du Cété Ouest : « Une première phase permet de vérifier et de corriger les caractéristiques du réseau. La seconde phase consiste plutôt à travailler sur les matrices et les algorithmes d'affectation. »

Cette analyse est complétée par un modélisateur du Cété Lyon : « Le calage consiste à vérifier, dans un premier temps, si l'écart entre résultats d'affectation et comptages provient d'un défaut de modélisation du réseau routier :

- dans le cas positif, le calage consiste à corriger les capacités et/ou vitesses à vide des tronçons de voiries concernés ;
- dans le cas négatif, l'écart provient a priori de la matrice et il faut procéder à son recalage : dans l'idéal à partir d'une enquête minéralogique sur la ou (les) voirie(s) concernée(s), sinon à partir des comptages disponibles. »

2.3.2.3 - Méthode de travail du Cété Lyon pour les modèles interurbains

La méthode est formalisée dans le document "notions sur le calage d'un modèle de trafic". Elle est résumée dans le questionnaire sous la forme suivante :

- optimisation initiale des paramètres de la valeur du temps et des courbes débit-vitesse ;
- affectation une première fois de la matrice OD ;
- suppression des surcharges locales de trafic (on part du principe qu'il n'y a jamais plus de trafic que nécessaire dans la matrice OD), en jouant selon les cas, sur les volumes d'OD lorsque ceux-ci ont mal été estimés, sur les caractéristiques du réseau (forme, connexité, paramètres des arêtes) ou sur les paramètres de choix d'itinéraires (ex : courbe des valeurs du temps) ;
- vérification des répartitions d'itinéraires sur les OD importantes au regard des objectifs du modèle ;
- ajout progressif du trafic local en vérifiant à chaque fois les répartitions d'itinéraires sur les OD ;
- optimisation des paramètres de valeur du temps pour réajuster les répartitions sur itinéraires ;
- optimisation des paramètres des arêtes ;
- bouclage éventuel à l'une des différentes étapes précédentes selon la qualité du résultat.

2.3.2.4 - Méthode de travail MONAPL (MODèle NATIONAL Poids Lourds) : utilisée pour l'affectation PL

La méthode est la suivante :

- modification des paramètres par défaut propres aux différents types de voies : modification des vitesses à vide, ajout d'un malus. Ces paramètres sont ajustés pour avoir des grandeurs plus satisfaisantes a priori. Cela revient à réaliser l'optimisation initiale proposée dans la méthode précédente du Cété Lyon ;
- affectation de certaines OD séparément et calibrage du réseau et de la loi d'affectation : correction par typologie du réseau (pénalisation de toutes les traversées d'agglomérations, les arcs en montagne ou en Ile-de-France), puis sur certains arcs spécifiques (type interdiction de transit). Tests de différents paramètres de la valeur du temps pour déterminer la situation la plus satisfaisante ;
- affectation de toute la matrice : calibrage du réseau (temps à vide) et de la loi d'affectation (moyenne et écart-type de la valeur du temps) en regardant les trafics (corrections ponctuelles) et les parcours par type de sous-réseaux (autoroutes concédées, RRN).

Il faut noter que les courbes temps-débit n'ont pas été modifiées car MONAPL est très peu sensible à la saturation puisqu'il ne contient pas les VL. La congestion de certaines zones a été intégrée par une pénalisation directe des temps de parcours à vide (en Ile-de-France, on a remplacé les temps à vide par les temps moyens PL issus du modèle de la DREIF).

2.3.2.5 - Méthode de travail Baie de Seine/Île de France

La méthode est ré-analysée a posteriori, i.e. elle n'a pas été formalisée avant d'entamer le calage. Le principe général d'analyse de l'amélioration du calage est double : indicateur d'erreur absolue moyenne au niveau des postes d'enquêtes (soixante postes), pour lesquels la totalité de la demande devrait être reproduite, et éventuellement comparaison de la composition du trafic de ces arrêts modèle/enquête, vérification rapide de visu par cartes de charge en épaisseur ou interrogation de quelques arcs clés. Les étapes suivantes ont été successivement mises en oeuvre :

- constitution de la matrice OD en deux temps : sur un zonage fin d'abord, puis redressement de cette matrice fine à l'aide d'une matrice déterminée sur un zonage grossier (dans les faits, cette étape a été postérieure à l'étape 3, mais elle aurait dû être effectuée initialement) ;
- modification de la table de typologie [32] (principalement courbes débit-vitesse) et de l'écart-type de la valeur du temps (0,7) pour arriver à une répartition globale autoroute/réseau principal/réseau secondaire "correcte" en ordre de grandeur de volumes ;
- correction du réseau, notamment non autoroutier, pour bien reproduire toutes les gênes subies par l'usager sur un parcours (traversées de communes, carrefours ou échangeurs saturés, trafics locaux manquant dans la matrice). Ceci est fait notamment à l'aide de reconnaissances terrain exhaustives. Les zones sont également re-découpées lorsqu'elles sont trop grosses pour reproduire les choix d'itinéraires ;
- détermination de la valeur du temps moyenne par motif x distance à l'aide d'enquêtes et de niveaux de service en sortie de TransCAD (à ce stade, les trafics par arc sont à peu près bons, du fait que la majorité des flux ont peu de choix d'itinéraires, par contre les itinéraires restent à affiner). Analyse des revenus par zone. Calcul d'une valeur du temps moyenne par OD.

En conclusion, le travail de calage, s'il nécessite de la méthode, est à l'heure actuelle peu formalisé dans une ou (des) procédure(s). Quelques tentatives existent, mais sans pour l'instant faire vraiment l'objet de capitalisations. Il faudra noter notamment que la nécessité -particulière en interurbain- de caler deux variables de sortie distinctes (comptages et itinéraires) crée une vraie difficulté qui est résolue par la réalisation de calages itératifs.

2.3.3 - Sur quelles variables peut/doit-on jouer ?

Cette question est examinée dans le questionnaire en demandant au modélisateur s'il modifie chacun des paramètres qu'il est possible de changer dans une affectation du type prix-temps ou loi d'Abraham du Sétra. Cependant, la plupart de ces paramètres est commune à tous les types d'affectation recensés et il a donc été possible d'interroger l'ensemble des modélisateurs. Deux types de questions étaient posées :

- quelle importance donnez-vous à ce paramètre (indispensable, important, insignifiant, non utilisé) ?
- comment procédez-vous pour modifier ce paramètre au court du calage (dire d'expert ou calibrage) ? Par défaut, on considérera que, s'il n'y a pas de réponse à cet item ou si les deux cases sont cochées, la méthode employée est plutôt du dire d'expert.

L'annexe 2 présente l'ensemble des résultats pour les différents paramètres, regroupés selon les catégories suivantes :

- affinement du zonage ;
- affinement de la description du réseau ;
- paramètres du réseau pour le calcul du temps à vide ;
- courbes débit-vitesse ;
- valeur du temps ;
- préchargements et congestion ;
- matrice ;
- autres/divers.

On ne présente ici que la synthèse issue de cette analyse des pratiques.

Cet inventaire des variables intervenant dans un modèle de trafic permet de dresser le portrait général suivant des pratiques de calage :

- si l'affinement du zonage est couramment réalisé pour les modèles régionaux et urbains, les caractéristiques des outils de constitution de la demande des modèles interurbains rendent ce travail plus fastidieux. Cette pratique est donc moyennement courante et elle est, dans tous les cas, réalisée à dire d'expert ;
- l'affinement du réseau est considéré comme essentiel, les paramètres clés étant d'une part le type d'arc (avec 50 % de calibrage et 50 % de dire d'expert) et d'autre part le péage (majoritairement mesuré). Le malus (à dire d'expert) et les pentes (calibrage) sont utilisés par quelques modélisateurs, la consommation de carburant et le coût kilométrique n'étant que très rarement ajustés par arc ;
- calcul des temps de parcours à vide : cette variable est très utilisée, mais indépendamment des paramètres permettant de la déterminer selon les formules du Sétra ;
- courbe débit-vitesse : les paramètres de vitesse (calibrage) et de capacité (à dire d'expert) de la courbe débit-vitesse sont modifiés au niveau du réseau par 2/3 des modélisateurs. La pratique est moins courante au niveau de la table de typologie (la moitié des modélisateurs et seulement quatre sur douze en interurbain) et se base principalement sur le dire d'expert. Les autres paramètres (facteur de concentration, coefficient d'équivalence VL/PL, paramètres de la BPR) ne font l'objet de modifications que de manière très occasionnelle ;
- valeur du temps : il s'agit d'une variable très courante de calage, via ses composantes de moyenne et d'écart-type, par des méthodes de dire d'expert. La valeur du temps est très rarement déterminée par OD ;
- préchargement et congestion : ce point permet de distinguer fortement les pratiques en urbain et en interurbain. En effet, qu'il soit ponctuel ou généralisé, le préchargement est surtout réalisé dans une grande majorité des modèles interurbains, et très peu dans les modèles régionaux et urbains. La présence de congestion est moyennement vérifiée quel que soit le type de modèle ;
- matrice : pour la constitution de modèles régionaux et urbains, la matrice est considérée comme une variable à ajuster, plutôt à dire d'expert, tandis que la matrice d'un modèle interurbain, une fois constituée, est rarement modifiée ;
- divers : de manière générale, tous les modélisateurs procèdent à des retraits ou ajouts d'arcs (quelle que soit leur nature) à dire d'expert, tandis que le recours à des pénalités (échangeurs, barrières de péage, ...) est peu courant.

A l'issue de ce balayage, il apparaît clairement un certain consensus sur les modifications du réseau (calculs des temps à vide, paramètres indispensables de description du réseau, ajout ou retrait d'arcs, modifications des courbes débit-vitesse à ce niveau) d'une part et sur les valeurs du temps d'autre part. En ce qui concerne la demande de transport, les pratiques sont très liées au type d'outil utilisé et à la méthode de constitution de la matrice (à partir d'enquêtes ou de modèles de génération/distribution). Enfin, l'ajustement de courbes débit-vitesse au niveau de la table de typologie est une pratique très variable, dépendant plus du modélisateur que du modèle.

2.3.4 - Quand le modèle est-il calé ?

2.3.4.1 - Mesure de l'amélioration du modèle

Trois critères étaient identifiés dans le questionnaire comme servant à l'analyse de l'amélioration de la qualité du modèle : reproduction des temps de parcours, des itinéraires et des comptages.

Le tableau suivant permet de visualiser l'utilisation de ces critères et le mode de vérification (dire d'expert ou indicateur).

Critère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Temps de parcours	Dire d'expert	7	2	1	10
	Indicateur	2	1	1	4
	Non utilisé	3	1	1	5
Itinéraires	Dire d'expert	7	1	1	9
	Indicateur	5	3	0	8
	Non utilisé	0	1	2	3
Comptages	Dire d'expert	4	2	0	6
	Indicateur	7	3	3	13

Tableau 6 - Pratiques de calage - indicateur de calage

2.3.4.1.1 - Temps de parcours

Le temps de parcours est vérifié relativement couramment, plutôt à dire d'expert, car il y a peu de bases de données disponibles. Seule la base de données SIRIUS en Ile-de-France est citée.

2.3.4.1.2 - Itinéraires

En ce qui concerne les itinéraires, seuls les modèles régionaux et urbains peuvent ne pas faire l'objet de vérifications (ce qui peut être relié en urbain à l'absence de données sur le sujet). La moitié des modélisateurs effectuant des contrôles du calage en itinéraires déclarent le faire à partir d'indicateurs. Ceux-ci sont souvent des analyses d'écart avec les données d'enquêtes OD, soit sur les chemins empruntés par certains flux cibles (par exemple : transit PL international pour le modèle PL national), soit par extraction du chevelu de l'arc correspondant à l'emplacement du poste d'enquête et comparaison des flux affectés et observés.

2.3.4.1.3 - Comptages

Tous les modélisateurs déclarent effectuer des vérifications sur ce critère. 2/3 utilisent des indicateurs, notamment l'erreur quadratique moyenne, mais aussi l'erreur absolue moyenne (moyenne des valeurs absolues de l'écart affectation/comptage). Certains modélisateurs notent néanmoins que, du fait des trous dans la matrice et de l'utilisation des préchargements, les enseignements de cet indicateur sont à prendre avec précaution. Pour pallier ce problème, certains n'analysent les comptages qu'au droit des postes d'enquêtes. A noter finalement que l'usage de cartes d'erreurs (en valeurs absolues et relatives) est l'outil de vérification le plus couramment cité (voir des exemples au § *Carte des différences de trafic par rapport aux comptages*)

Différents utilisateurs notent par ailleurs la contradiction potentielle entre les modifications permettant d'atteindre une bonne reproduction de ces différents indicateurs. Si la vérification de tous les critères n'est pas systématique, l'amélioration de la reproduction d'un critère peut conduire à la dégradation de la reproduction d'un autre critère.

2.3.4.2 - Point d'arrêt du calage

Un modèle n'étant qu'une simplification d'une réalité complexe, le travail de reconstitution peut s'avérer très long. Il convient donc de définir un point d'arrêt. Alors que certaines pratiques en urbain (Cété NC) fonctionnent avec un indicateur d'erreur absolue moyenne en essayant d'atteindre un seuil de 10 %, cette pratique n'est pas mise en évidence par le questionnaire (aucun modélisateur n'utilise un objectif de ce type pour "s'arrêter"), ce qui paraît assez logique puisque nous avons souligné que la production d'un indicateur global était rare.

La méthode la plus courante (douze modélisateurs) est constituée par la production d'une carte de comparaison à l'issue d'un délai, qui a l'avantage de permettre un arrêt du calage en accord avec la maîtrise d'ouvrage. Cinq de ces modélisateurs, ainsi que trois autres personnes, ont également recours à une forme de dire d'expert : production de différentes cartes de résultats et validation de celles-ci à l'aide d'une bonne connaissance régionale du système de transport. Enfin, quelques méthodes individuelles sont citées. Parmi celles-ci, nous retiendrons principalement :

- l'extension du dire d'expert à une batterie d'indicateurs ;
- le constat que les améliorations possibles n'apporteront pas de plus-value par rapport à l'objectif immédiat ;
- le fait qu'il faille établir un compromis entre les reproductions qualitatives et quantitatives.

2.4 - Lacunes/Besoins

Après des personnes interrogées, le travail entamé sur le calage suscite un vif intérêt. De manière unanime, un besoin de définition de méthode se fait sentir, sous différents aspects : conseils, méthode pour s'assurer que les résultats sont comparables/que le calage est relativement indépendant de l'opérateur, recensement des meilleures pratiques dans le RST et des autres méthodes les plus pertinentes, de leurs effets et de l'ordre dans lequel les mettre en œuvre. Quelques demandes plus individuelles peuvent être également identifiées, qui peuvent rentrer dans le champ d'investigation bibliographique du groupe de travail :

- définition/informations d'indicateurs d'erreurs et de seuils de calage ;
- avis sur les méthodes d'estimation automatique de matrice ;
- conseils particuliers sur la question de la validation (données disponibles, méthodes à utiliser).

Par ailleurs, d'autres demandes méritent d'être examinées de manière plus approfondie et peuvent faire l'objet d'études dédiées :

- prise en compte du GPS et de la signalisation ;
- éléments quantitatifs et méthodologiques pour la génération/distribution, car la nouvelle méthode d'affectation est adaptée à une matrice complète ;
- développement de plus d'expertise sur l'écoulement des trafics ;
- études et recommandations sur les courbes débit-vitesse ;
- études et recommandations sur la valeur du temps et le malus ;
- recommandations sur le trafic local.

Enfin, les demandes liées au logiciel TransCAD, concernent surtout la mise au point d'outils pratiques (chevelus, sortie directe du TMJA, du bon indicateur de congestion, des pourcentages de temps gêné).

3 - Analyse critique de l'état des pratiques

L'analyse comparative de la synthèse bibliographique et l'état des pratiques permettent de mieux cerner les contours spécifiques de l'exercice de calage et de répondre en partie aux questions suivantes :

- quelles sont les bonnes pratiques, qu'elles soient répandues ou confidentielles, à diffuser, permettant une cohérence des travaux de calage ?
- quelles sont les pratiques en contradiction avec les recommandations des ouvrages de référence sur le calage ?
- dans quelles étapes du calage l'état des pratiques révèle-t-il des lacunes, qui peuvent être facilement corrigées à l'aide d'outils/méthodes couramment répandus ?
- dans quelles étapes du calage manque-t-on d'outils et de méthodes ?

3.1 - Inventaire des bonnes pratiques

Il s'agit de souligner en tout premier lieu l'importance d'une bonne compréhension de la définition du calage. La richesse et la complexité du calage ont été soulignées à la fois par la synthèse bibliographique et par l'état des pratiques. Les éléments qui en ressortent sont les suivants :

- le calage nécessite la construction d'un ensemble de variables d'entrée de description de l'offre et de la demande de transport le plus pertinent possible ;

- le calage nécessite des ajustements, qui ne peuvent pas toujours être effectués par des procédures d'optimisation mais relèvent bien souvent d'heuristiques/de dire d'experts ;
- l'association et l'intervention du maître d'ouvrage sont décisives, à la fois pour qu'il s'approprie le modèle, mais également pour qu'il apporte sa connaissance locale du système de transport ;
- les objectifs du modèle doivent guider le travail de calage afin d'avoir une charge et une qualité de travail adaptées. La contrainte est reliée naturellement au maître d'ouvrage et à ses besoins, mais il s'agira de tenir compte, lors de la construction du modèle, également d'utilisations ultérieures potentielles ;
- la notion de validation est indissociable du calage et doit permettre de tester le modèle dans une situation différente de celle du calage.

En ce qui concerne la spécification du modèle, l'exercice de modélisation en interurbain fait preuve d'une grande homogénéité d'ensemble au sein du ministère. Si certains points de détails, comme la reconstitution de la demande de transport, peuvent faire l'objet de différences, le principe (notamment la loi d'affectation) est similaire, ce qui est souhaitable dans l'objectif de pouvoir comparer l'intérêt de différents projets. En revanche, cela ne doit pas empêcher le modélisateur de s'interroger sur la pertinence de sa spécification en fonction du contexte, des demandes, ...

Il convient de noter qu'un accent particulier est mis dans les pratiques sur le codage du réseau. Beaucoup d'efforts sont investis dans la constitution d'un réseau routier qui décrive correctement les conditions de circulation réelles. Ceci passe notamment par la réalisation de reconnaissances terrain seules à même de s'assurer du fonctionnement d'un axe.

Enfin, certains modélisateurs évoquent la réalisation d'une validation par tests de sensibilité, usage également indiqué dans nombre d'ouvrages de référence sur le calage. Cette méthode de validation, donnant l'avantage d'une meilleure anticipation possible des réactions du modèle à des changements du système de transport, ne peut néanmoins à elle seule suffire à valider le modèle.

3.2 - Quelles sont les pratiques en contradiction avec les ouvrages de référence ?

Contrairement au codage du réseau, la construction de la demande de transport ne constitue pas vraiment, pour les modélisateurs interurbains, une étape du calage du modèle. Ceci a pu être relié au manque d'outils permettant de travailler facilement sur les matrices et le zonage. La revue bibliographique nous a permis de repérer différentes méthodes et outils sur le sujet : connaissance de l'erreur sur un flux due à l'échantillonnage, correction des matrices à l'aide des comptages, ...

Lors du codage du réseau, il a été constaté que certaines variables n'étaient pas utilisées :

- les facteurs de concentration sont rarement estimés par arc, contrairement à la capacité, alors qu'une méthode de détermination existe pour les axes où des comptages horaires sur l'année sont disponibles. Pour les autres axes, il manque néanmoins un travail de capitalisation sur le sujet. On notera que cette variable fonctionne de pair avec la capacité ;
- de manière générale, le codage du réseau se concentre sur le type de voies, la vitesse à vide, la capacité et le péage. Des éléments tels que les pentes, la consommation de carburant ou le coût kilométrique sont rarement utilisés, alors que des données de cadrage existent et décrivent leurs effets (au moins sur les deux premiers items).

Aucun modélisateur ne produit de validation avec un jeu de données différent. Il "suffirait" cependant, lors de la saisie des comptages dans la base de données, d'entrer des données de comptage pour deux années suffisamment éloignées, soit en termes d'infrastructure (construction d'une route entre les deux années), soit en termes temporels (5 ans par exemple).

Actuellement, certaines pratiques de détermination de la moyenne et de l'écart-type de la valeur du temps sont mises en oeuvre, mais sans qu'il y ait vraiment de méthode commune et partagée.

3.3 - Quels outils et méthodes pourrait-on s'appropriier ?

Tant dans la littérature que dans les pratiques, il n'a pas été possible de repérer une architecture de calage qui dispose d'un niveau de détails et d'un recul suffisamment élaborés. Quelques ébauches d'architecture existent pour les modèles urbains, ainsi que des embryons de méthodes pour les modèles interurbains. Il semble cependant utile de bien détailler à quel moment il est utile de vérifier quel élément, dans quel ordre, avec quelles interactions, ... Une réflexion de ce type permettrait d'éviter d'avancer dans des impasses d'une part et d'autre part de développer une culture commune garantissant une homogénéité des modèles.

Par ailleurs, si la nécessité de procéder à des ajustements des paramètres et variables d'entrée est reconnue et comme le modélisateur ne dispose pas toujours des données permettant de calibrer ses données, il conviendrait, selon le *Model Validation and Reasonableness Manual* [8], de s'assurer que ces modifications restent réalistes. Si cela semble évident pour certaines variables comme la vitesse de parcours, l'analyse de la capacité, par exemple, est bien moins simple à traiter, sans parler des courbes débit-vitesse. Des études de référence permettant de connaître les plages de valeurs des variables ou les valeurs de référence en fonction de la configuration semblent donc nécessaires.

Enfin, l'arrêt du calage fait l'objet dans la littérature de descriptions d'une batterie impressionnante d'indicateurs, sans que l'on puisse en déterminer vraiment l'utilité respective. De même, dans la pratique, comme on l'a vu, les modélisateurs se contentent souvent de produire une carte de comparaison à l'issue d'un délai imparti (même s'ils utilisent des indicateurs lors de la réalisation du calage). Or c'est une étape cruciale qui conditionne dans quelle mesure (à la fois absolue et relative vis-à-vis d'autres modèles) le maître d'ouvrage peut faire confiance au modèle. Il serait donc important de clarifier le sujet. Ceci serait également d'une grande aide au modélisateur, lui permettant de suivre l'amélioration progressive du modèle.

3.4 - Quels outils et méthodes seraient à développer ?

La pratique courante dans les modèles interurbains de mise en place d'un préchargement généralisé, complétant les trous dans la description de la demande de transport ou les trafics impossibles à reconstituer tels que le trafic intrazonal, n'est citée dans aucun ouvrage de la revue bibliographique. Si son utilisation n'est pas inintéressante pour caler un modèle, il faudra impérativement éviter qu'elle s'y substitue ! En outre, sa détermination n'est pas évidente, avec des interactions entre la valeur du préchargement et les choix d'itinéraires. Il est donc conseillé ici de plutôt avoir recours à des préchargements ponctuels bien maîtrisés, lorsque cela est vraiment nécessaire.

A contrario, la détermination d'une valeur du temps moyenne par OD est absente des pratiques, alors même qu'un ouvrage de référence nous donne des indications à ce sujet : le *Projet de circulaire sur les méthodes d'évaluation économique des investissements routiers interurbains* [17] et [42].

Dernier point, la grande majorité des modélisateurs a recours à la modification des courbes débit-vitesse directement sur le réseau, via les paramètres de vitesse à vide et de capacité. En l'absence d'éléments sur les marges de manœuvre, cette pratique est à mettre en oeuvre avec précaution sur des cas isolés. Un changement trop complet de tous les arcs d'un certain type de voie risquerait de compromettre la fiabilité de prévisions de trafic sur un projet de ce type de voie.

Chapitre 3

Recommandations sur les méthodes de calage et de validation

Principes généraux

1 - Introduction

1.1 - Objectifs du modèle

Au vu de la complexité des phénomènes en jeu, de la diversité territoriale et comportementale des caractéristiques de déplacement et des projets à étudier, ou encore de l'insuffisance de données ou de recul nous permettant d'éclairer les problématiques soulevées, il pourrait paraître ambitieux de prétendre émettre des recommandations sur le calage d'un modèle de trafic routier. Il est donc évident que les propositions qui vont être établies ici ne constituent pas une méthodologie pas à pas de réalisation du calage. L'enjeu est plutôt :

- de repositionner le calage au sein du travail de modélisation, afin que les chargés d'études aient une vision bien claire des questions à se poser au fur et à mesure de l'avancement ;
- de diffuser les bonnes pratiques d'amélioration du modèle et de proposer des pistes de réflexion en termes de recueil, de calibrage, ...

Avant d'entrer dans ces détails techniques, il convient de rappeler qu'il n'existe pas de modèle "parfait" : un modèle est par définition et construction une représentation simplifiée d'un système. Autrement dit, la constitution du modèle revient à formuler des choix sur un ensemble de phénomènes qui sont représentés. Ces choix sont déterminés par les objectifs assignés au modèle.

L'approche projet qui était utilisée dans Ariane, aujourd'hui remplacée par TransCAD, permet bien d'illustrer cette notion : l'objectif principal étant de déterminer le trafic prévisionnel sur un projet avec des variantes bien prédéfinies, une sélection des OD potentiellement intéressées par ce projet était effectuée à dire d'expert lors de la constitution de la matrice. Le modèle d'affectation ne cherchait donc des répartitions sur les itinéraires que pour un nombre restreint d'OD. Le travail de calage résultant était donc considérablement allégé et centré sur la reproduction des concurrences entre itinéraires des OD les plus représentatives.

Une grande partie des modèles construits aujourd'hui ne se concentrent pas sur un projet particulier, mais cherchent à analyser les problématiques de déplacements sur un territoire relativement vaste afin d'éventuellement évaluer les effets de plusieurs projets bien distincts. Dans ce type de modèle, dit "régional", on cherche plutôt à intégrer de manière exhaustive la demande de transport de moyenne et longue distance c'est-à-dire l'échange et le transit par rapport à la zone étudiée.

Le lien entre les objectifs assignés au modèle qui peuvent être de natures diverses et le calage semble évident : lors du calage, le modèle est ajusté de telle sorte qu'il puisse atteindre ses objectifs. Pour l'approche projet, il s'agit de reproduire la répartition entre itinéraires des OD intéressées par un projet d'infrastructure. Cette évidence cache cependant différents problèmes pouvant survenir :

- en cherchant absolument à assurer les objectifs, il est possible d'arriver à définir des valeurs de paramètres ou de variables d'entrée manifestement erronées. Dans une approche projet par exemple, chercher à reproduire les concurrences entre itinéraires peut amener à paramétrer des temps de parcours irréalistes ;
- les objectifs peuvent entrer en contradiction : dans notre exemple, même si les vitesses définies pour reproduire les concurrences entre itinéraires sont réalistes, elles ne correspondent pas forcément aux temps de parcours réels. Si un objectif du modèle est de réaliser un bilan socio-économique, il faut donc trouver un autre paramètre à ajuster que le temps de parcours.

Il est donc recommandé d'établir initialement une liste :

- des objectifs assignés au modèle ;
- des vérifications à effectuer pour s'assurer que le modèle répond aux objectifs ;
- et des interactions possibles entre objectifs.

Le tableau suivant est un exemple pour le cas de l'étude du projet d'autoroute A319 entre Langres et Vesoul.

Pour certaines méthodes de calage, en particulier le préchargement et les indicateurs de calage, on reprendra par la suite les trois types de modèles identifiés dans l'état des pratiques selon le niveau d'exhaustivité dans la représentation de la demande : l'approche projet (demande incomplète), modèles régionaux (demande complète pour l'échange et le transit) et modèles urbains (demande complète).

Préparer le calage en lien avec les objectifs du modèle
Cas de l'étude du projet d'autoroute A319 entre Langres et Vesoul
Niveau étude d'opportunité

Le projet d'autoroute A319 consiste en la création d'une infrastructure neuve concédée à 2x2 voies entre Langres et Vesoul. Il vient compléter l'A5 et les aménagements en route express en cours de réalisation à l'est de Vesoul pour former un axe Paris/ Mulhouse/Bâle symbolisé sur la carte ci-contre.

Le tracé étudié est parallèle à l'actuelle RN 19, reliant également Bâle à Vesoul, qui serait conservée avec une requalification dans les traverses d'agglomération..

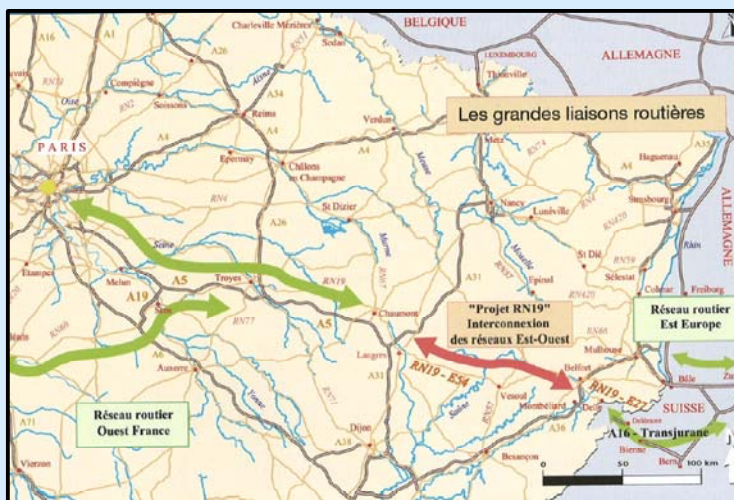


Figure 4 - Projet de l'A319

Le tableau ci-dessous présente la stratégie de calage.

Objectif global / Sous-objectifs		Vérifications à effectuer /Analyses, recueils de données à faire
Prévoir le trafic sur la nouvelle infra-structure	Prévoir les reports de la RN19 (liaison Langres-Vesoul actuelle)	Finesse de la description du niveau de service de la RN19 : temps de parcours, traversées de communes Finesse du zonage Qualité et finesse de la demande sur la RN19 : nécessité d'organiser des enquêtes d'axes Analyse de l'aversion au péage des usagers de la RN19. En l'absence de choix révélés, nécessité d'analyser les motifs de déplacements, la structure des revenus ou de conduire une enquête de préférences déclarées
	Prévoir les reports d'autres grandes infrastructures (itinéraire A6-A36, RN4-RN57-RN66)	Analyse d'une coupure pour les liaisons du type Paris - Bâle ou Paris - Mulhouse
	Analyser les positions des échangeurs et leur quantité	Finesse du zonage Structure du trafic sur la RN19 dans l'objectif de reproduire toutes les variations le long de l'axe
	Prévoir d'autres reports plus locaux : liens possibles avec l'aménagement de la RN 57	Analyse de coupures pour les liaisons Besançon - Gray, pour les liaisons Langres - Luxeuil/Remiremont, voire Langres - Epinal
Évaluer le projet	Réaliser le bilan socio-économique	Temps de parcours sur la RN 19 et sur les deux grands itinéraires concurrents

Tableau 7 - Stratégie de calage pour le modèle d'étude de l'A319

1.2 - Modèle et territoire

Avant de s'engager dans la construction du modèle et dans le calage, un choix d'un ensemble de phénomènes que le modèle doit pouvoir simuler doit être effectué : il s'agit à minima des éléments identifiés à l'aide des objectifs donnés au modèle.

Cependant, d'autres phénomènes indépendants des objectifs doivent être reproduits par le modèle. Un exemple typique est constitué des itinéraires d'évitement de péage : lorsqu'un péage autoroutier est trop proche d'une agglomération, de nombreux usagers effectuant des déplacements domicile-travail ont tendance à prendre des itinéraires d'évitement plus lents, permettant d'emprunter l'autoroute à partir d'une bretelle d'entrée plus éloignée, afin de ne pas avoir à payer. Le modèle ne peut être crédible que s'il reproduit correctement ce phénomène, traduisant l'aversion locale au péage.

Pour s'assurer qu'aucun phénomène important n'est ignoré, une bonne connaissance du territoire et du fonctionnement des déplacements s'impose. Elle peut s'acquérir à partir de divers éléments :

- reconnaissance terrain : effectuer des déplacements en heures creuses, en heures de pointe, mini-comptages, observation de carrefours, ...
- recueil des expériences d'usagers utilisant régulièrement les routes à modéliser. Si le modélisateur n'est pas lui-même un usager ou qu'il n'en trouve pas dans son environnement professionnel, il pourra faire appel à un petit panel (sélectionné par exemple à l'occasion d'une enquête OD : l'enquêteur distribuera un prospectus décrivant brièvement les objectifs de l'enquête, avec les coordonnées d'une personne à contacter si l'enquêté accepte de participer à un entretien plus long, ou l'adresse d'un site internet permettant de répondre à un questionnaire plus consistant) ;
- confrontation aux données brutes ou traitées via des études antérieures, des diagnostics socio-économiques, des études de territoire, ... : Quels sont les flux principaux ? Quels sont les motifs de déplacements ? Les taux d'occupation ? Les concurrences entre itinéraires ? Entre modes ? A combien s'élève le trafic VL, le trafic PL ? Quelles sont les disparités de trafic (journalières, hebdomadaires, annuelles) ? Quelle est l'évolution des flux ? Y-a-t-il des données d'h.km de bouchons ?

Cette étape permet ensuite de se poser les questions : Est-ce que mon modèle est bien construit pour reproduire ces phénomènes ? Faut-il l'adapter ? Faut-il en indiquer les limites en préambule ? Pour les études sensibles, il peut être intéressant de fixer ces points d'attention par écrit, de consulter les gestionnaires de réseau pour avis, et de les faire valider par le maître d'ouvrage. Cette analyse a différents avantages :

- les indicateurs à utiliser pour vérifier si le modèle simule correctement ces phénomènes ressortent directement de l'analyse ;
- la documentation des ajustements nécessaires pour parvenir à reproduire les phénomènes permet d'augmenter largement la transparence du travail de modélisation.

Même s'il s'agit d'un travail quasiment indispensable (et qui devient de plus en plus rapide avec l'acquisition d'expérience sur le territoire), il n'est néanmoins pas suffisant pour caler le modèle.

Modèle et territoire Cas de l'étude Baie de Seine - Île-de-France Exemples d'identification de phénomènes

L'importance du motif "affaires professionnelles" (plus de 40 %) dans les déplacements sur certaines sections de l'autoroute concédée A13 et des motifs "affaires personnelles" et "domicile - travail" sur d'autres secteurs du périmètre d'étude conduit à s'interroger sur la prise en compte d'une valeur du temps par OD.

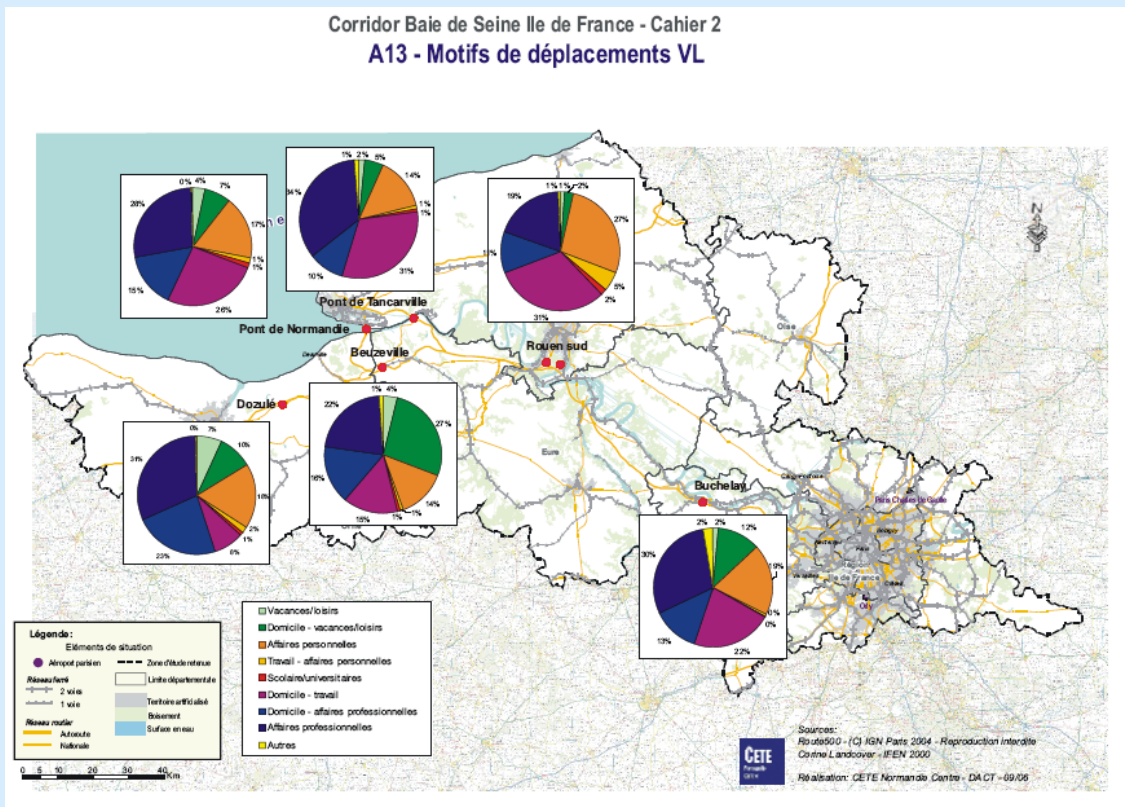


Figure 5 - Exemple d'analyse des motifs de déplacements

Le trafic relativement faible sur l'autoroute concédée A29 (secteur nord de la carte), au regard de l'axe parallèle concurrent (RD 1015) peut être relié aux revenus plutôt faibles des secteurs traversés : la valeur du temps prend également une importance particulière vis-à-vis de ce phénomène.

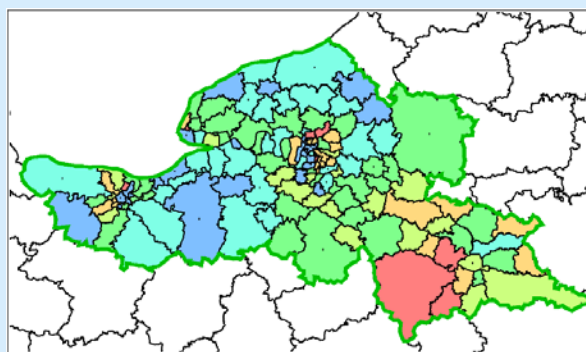


Figure 6 - Exemple d'analyse des niveaux de revenus sur l'aire d'étude

Les phénomènes de pointes particulières très marqués sur l'autoroute A13 incitent à examiner la valeur des facteurs de concentration de manière particulière.

2 - Rappels sur les principaux paramètres et variables qui peuvent être ajustés

L'état des pratiques a permis de lister l'ensemble des variables pouvant faire l'objet d'ajustements lors du calage. Ces variables interviennent à différentes étapes du processus de calage, éventuellement au sein d'une démarche itérative : par exemple, la typologie du réseau doit être définie en amont de la mise en place de l'affectation, mais la détection d'erreurs dans les résultats de charge de trafic peut amener à vérifier et corriger les types de routes dans certains secteurs. De manière identique, les résultats d'affectation peuvent conduire à corriger la capacité d'une section, de telle sorte qu'un phénomène de congestion constaté soit reproduit.

Or, une grande diversité de pratiques d'ajustement des variables a été mise en évidence. Dans ce guide, des méthodes conduisant à des ajustements plus satisfaisants sont proposées lorsqu'elles sont disponibles et suffisamment solides, afin de viser à une plus grande homogénéité et une meilleure pertinence des modèles. Cette description se fait au fur et à mesure du déroulement de l'architecture de calage. A des fins pratiques, les références bibliographiques et les pages du présent document concernant chacun de ces paramètres ou chacune de ces variables sont exposées dans le tableau suivant.

Ceci permet au modélisateur qui souhaiterait améliorer son modèle en procédant à l'ajustement d'une (ou d'un ensemble de variable(s) particulière(s) (par exemple les courbes débit-vitesse) de trouver rapidement l'information à laquelle il souhaite avoir accès. Notamment, ce tableau est à l'usage d'un modélisateur disposant d'un modèle déjà calé et souhaitant le mettre à jour en améliorant la prise en compte de certains phénomènes.

Catégorie	Variables et paramètres à ajuster	Ouvrages de référence	Page
Zonage	Taille des zones en lien avec la validité statistique de la demande	Note sur la fiabilité des enquêtes Origine-Destination [18]	57
Réseau	Choix du réseau	Guide d'utilisation des Modules Sétra de TransCAD [4]	77
	Ajout ou retrait d'arcs		
	Connecteurs (choix, ajouts)		
	Typologie des arcs		
	Pentes		
	Consommation de carburant		
	Coût fixe (entretien, dépréciation)		
	Péage		
	Malus d'inconfort	Transports : choix des investissements et coût des nuisances [11], Les valeurs du temps des automobilistes à Marseille en 1995 [14]	117
Temps à vide		Guide d'utilisation des Modules Sétra de TransCAD [4]	83
Courbe temps-débit	Capacité en section courante	Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines [19], [20] et [21], Réserve de capacité d'un itinéraire, Méthode de calcul [22], Trafic sur les routes express selon le diagramme fondamental [23]	85
	Facteurs de concentration	Note d'information du Sétra sur les facteurs de concentration [24]	84
	Coefficient d'équivalence VL/PL	Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines [19], [20] et [21]	85
	Coefficients alpha et gamma de la BPR	Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines [19], [20] et [21]. Trafic sur les routes express selon le diagramme fondamental [23]. Model Validation and Reasonableness Checking Manual [8]	85
	Capacité des intersections	Réserve de capacité d'un itinéraire, Méthode de calcul [22]	85
Valeur du temps		Transports : choix des investissements et coût des nuisances [11], Les valeurs du temps des automobilistes à Marseille en 1995 [14], Comparaison de deux principes d'affectation du trafic [25]	117
Matrice OD	Ajustement sur les comptages	Étude bibliographique sur les méthodes de calage pour la DREIF [9]	74
	Combinaison des postes	Estimation optimale des flux OD (F. Leurent, F. Meunier) [26]	67
	Flux manquants	Modélisation du trafic local Cété NP [27]	72
	Préchargements		110

Tableau 8 - Références bibliographiques et pages du document traitant de l'ajustement des paramètres et variables de calage

3 - Architecture de calage proposée

Les recommandations qui sont émises dans ce chapitre sont construites autour d'un double principe :

- la nécessité de disposer d'une certaine architecture commune de calage est reconnue, mais il n'est pas possible de mettre au point une méthode adaptée à tous les cas de figures. En revanche, quatre grandes phases de travail sur le calage du modèle peuvent être identifiées, qui permettent de s'assurer que le modèle s'améliore au fur et à mesure des ajustements (alors qu'on peut s'imaginer qu'un calage mal maîtrisé peut amener le chargé d'études à effectuer des ajustements de plus en plus importants, ce qui conduirait à un modèle instable et sans lien avec des comportements réels) ;
- le calage se pose en termes de questionnement : s'il n'est pas possible de lister l'ensemble des situations et vérifications à effectuer, des cas typiques peuvent être identifiés, qui permettent :
 - de définir l'angle d'attaque de résolution du problème : Quelles vérifications effectuer ? Quels paramètres ajuster ? Comment ajuster les paramètres ? Comment vérifier si le modèle s'améliore ?
 - de diffuser un ensemble de méthodes à employer préférentiellement pour ajuster les paramètres, ce qui permet d'éviter au maximum de procéder à dire d'expert.

La démarche qui ressort de cette double réflexion est décrite dans le Tableau 9 - Architecture de calage.

Dans une situation idéale, où toutes les données seraient disponibles de manière exhaustive et le temps de calage serait suffisant, les phases sont effectuées successivement sans itération. Dans la pratique, les diverses contraintes imposent un processus rétroactif. Néanmoins, il convient de procéder initialement de manière successive : il serait inefficace de passer à la phase de vérification des résultats d'affectation sans s'être assuré du comportement à vide du modèle.

Les différentes phases sont décrites succinctement dans les paragraphes suivants.

Phases	Tâches à réaliser	Variables à ajuster
Phase I Constitution du modèle	Construction optimale et vérification des bases de données d'offre et de demande de transport en entrée du modèle	Réseau Demande Zonage
Phase II Comportement à vide du modèle d'affectation	Calcul des temps à vide Affectation à vide (1 seule itération) Affectation de flux de transit Affectation de flux fictifs	Réseau
Phase III Vérification des résultats d'affectation et ajustement itératif des paramètres et variables d'entrée	Vérification de : - la convergence - les comptages - les itinéraires - les temps de parcours	Paramètres du modèle : Valeur du temps, Malus Réseau, Demande, Zonage Préchargements
Phase IV Validation du modèle	Affectation sur plusieurs horizons Tests de sensibilité (péage) Pertinence des résultats sur des aménagements récents Comparaison avec d'autres études	Tous

Tableau 9 - Architecture de calage

3.1 - Phase I – Donner des bases solides au modèle : l'offre et la demande de transport

Il pourrait paraître surprenant d'inclure cette phase de constitution du modèle au sein de la démarche de calage. Un examen attentif montre clairement que les choix faits à cette étape conditionnent largement le fonctionnement du modèle et représentent donc déjà un premier niveau de calage. Trois éléments peuvent être distingués :

- le choix du zonage du modèle a une influence directe sur l'affectation : la taille et la position des zones jouent directement sur le nombre d'itinéraires alternatifs possibles pour une OD. Comme les points de choix sont homogènes pour tous les usagers d'une zone, la diversité des itinéraires utilisés en fonction de la géographie socio-économique du territoire est moins bien reproduite lorsque les zones sont grandes. Il influence également la fiabilité statistique de l'estimation de la demande et donc la précision de l'estimation des charges de trafic sur certains secteurs ;
- la constitution de la demande de transport (la matrice OD) se fait sur la base d'enquêtes. Ceci implique de nombreux choix (sélection des enquêtes, combinaison des résultats, méthodes d'estimation des trous de la matrice, ...) et également une incertitude sur les résultats, les deux conditionnant le domaine de pertinence de l'affectation ;
- en ce qui concerne l'offre de transport, le choix des arcs représentatifs du réseau routier à inclure dans le modèle, la position des connecteurs, le niveau de finesse de description du niveau de service (temps, pentes,...) sont des éléments incontournables du calage.

A l'examen de ces éléments, il apparaît clairement que les choix initiaux effectués peuvent être un facteur limitant du modèle et faire l'objet de corrections suite aux vérifications. Ceci est en particulier vrai pour la matrice OD. Dans cette première phase, un ensemble de méthodes sont mises à disposition du modélisateur pour estimer le plus objectivement possible les variables d'entrée.

3.2 - Phase II – Comportement à vide du modèle d'affectation

L'objectif de cette phase est de vérifier le fonctionnement du modèle à vide.

On s'assure ainsi que le paramétrage de l'affectation est correct, la matrice OD est bien indexée et que la prise en compte des champs au niveau du réseau est exacte (en particulier les péages). On peut également vérifier que le réseau est bien connecté. On conseille aussi de cartographier et de contrôler le temps à vide sur tous les arcs du réseau.

Cette phase permet également de repérer quelles sont les zones où de la congestion devra apparaître afin de représenter le choix d'itinéraires. En effet, dans certaines zones voire dans certains modèles entiers (étude de déviation d'un village, analyse exclusive du trafic PL, ...), la congestion ne joue pas un rôle décisif, soit parce qu'il n'y a pas de bouchons dans le périmètre d'études, soit parce qu'elle ne peut pas être évaluée (connaissance du trafic trop partielle). Par extension, il est donc pertinent de s'interroger sur le rôle tenu par la congestion dans le modèle. Déterminer dans quelle mesure la représentation de la congestion est essentielle pour la qualité du modèle est donc l'objectif principal de cette phase.

Cette démarche conduit à effectuer un ensemble de tests d'affectation à vide qui donnent des renseignements multiples sur le comportement du modèle (détection d'erreurs de codage, de connectivité, choix des itinéraires de transit, arcs ou secteurs où des effets de congestion sont attendus, ...).

3.3 - Phase III – Vérification des résultats d'affectation et ajustement itératif des paramètres

Dans cette phase, les résultats d'affectation (charges de trafic, choix d'itinéraires, temps de parcours) sont comparés à un jeu d'observations, afin de déterminer dans quelle mesure le modèle reproduit la situation actuelle. Le modèle est considéré comme calé dès que les écarts sont satisfaisants au vu des objectifs assignés au modèle et des phénomènes à prendre en compte (cf. 1.1 - et 1.2 - Pour parvenir à réduire les écarts, le modélisateur procède selon une démarche descendante :

- fiabilité globale du modèle sur l'ensemble du périmètre d'étude ;
- analyse des choix d'itinéraires sur chacun des corridors principaux ;
- étude des écarts particuliers.

Il est, dans le cadre de ce guide, impossible de lister toutes les situations pouvant intervenir et de déterminer en conséquence quel paramètre ou quelle variable ajuster. Des situations typiques seront présentées, ainsi que des démarches d'ajustements progressifs correspondantes.

3.4 - Phase IV – Validation : le modèle est-il calé ?

Dans les phases précédentes, des ajustements des paramètres et des variables d'entrée du modèle ont été effectués, qui ne peuvent pas toujours reposer sur des méthodes fiables de calibrage. De plus, même si les ajustements sont effectués à l'aide de méthodes objectivantes, une incertitude demeure sur les estimateurs. Le modèle peut donc être calé, mais non réaliste.

La validation a pour objectif de déterminer dans quelle mesure le modèle obtenu est crédible. Différentes options sont possibles, en fonction du contexte et des données disponibles. Il est cependant rare de pouvoir effectuer une véritable validation sur un jeu de données complètement différent de celui utilisé pour les phases précédentes. Dans ce cas, la validation est plutôt constituée par des tests de sensibilité.

A l'issue de cette phase, deux situations sont possibles :

- le modèle semble produire des résultats cohérents et il est donc validé ;
- les résultats des tests de validation sont insatisfaisants et il convient :
 - soit de cerner les paramètres ou les variables qui ont fait l'objet d'ajustements irréalistes ;
 - soit de reprendre la spécification du modèle si celui-ci omet un phénomène important.

Ces quatre phases vont être présentées dans les chapitres suivants de ce guide.



Dans certaines descriptions, le guide illustrera ses recommandations par une présentation détaillée des manipulations à effectuer dans le cas de modèles d'affectation routière interurbains construits avec les Modules Sétra de TransCAD, la base de données 30 000 arcs pour décrire le réseau routier et des matrices élaborées avec l'outil GEODE, c'est-à-dire les outils du RST pour la modélisation interurbaine. Ces parties seront repérées par cette mise en forme.

Chapitre 4

Phase I : donner des bases solides au modèle

1 - Hiérarchie des tâches à effectuer

Les différentes tâches à effectuer dans cette partie, ainsi que l'ordre et le niveau de nécessité sont exposés dans le tableau 22 dont la lecture se fait de la manière suivante :

- les tâches d'ordre identique imposent une réalisation plus ou moins simultanée : ainsi, les choix du zonage des postes d'enquêtes, du réseau et des connecteurs sont fortement dépendants les uns des autres ;
- l'échelle de calage est décomposée en deux niveaux :
 - le niveau global correspond aux tâches générales sur l'ensemble du modèle, qui doivent idéalement être menées au tout début du processus de modélisation ;
 - le niveau local correspond à des tâches spécifiques, centrées sur un secteur géographique, qui sont généralement réalisées après avoir effectué au moins une première affectation. Elles nécessitent une collecte et/ou une compilation de données trop importantes pour être réalisées sur l'ensemble du modèle.

Tâche globale	Tâche détaillée	Ordre	Échelle de calage	Paragraphe	Page
Zonage	Choix initial	1	Globale	3.1 - Principes de constitution du zonage	58
	Re-découpage	3	Locale	0 Quelques éléments sur la désagrégation de matrices	62
Matrice	Réalisation des matrices VL et PL Combinaison des postes d'enquêtes	1	Globale	4.1 - Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale	67
	Compléter les trous de la matrice	3	Locale	4.2 - Compléter les trous de la matrice	72
	Décomposer par motif (but : améliorer la VDT)	4	Locale	4.4 - Décomposition de la matrice en classes de trafic	76
	Ajustement des données d'enquêtes si plus valables	5	Locale	4.3 - Ajustement	74
Réseau	Choix du réseau	1	Globale	5.1 - Choix du réseau	77
	Détermination initiale des connecteurs	1	Globale	5.2 - Positionnement des connecteurs de centroïdes	80
	Vérification générale du réseau (connectivité, km par type de voies, cartographie, ...)	2	Globale	5.3 - Connectivité et caractéristiques générales du réseau	81
	Vérification détaillée de la typologie du réseau	3	Globale	5.4 - Sources de vérification détaillée de la typologie du réseau	81
	Ajustements des caractéristiques	4	Locale	5.6 - Ajustements de certaines caractéristiques du réseau	82
	Ajout de réseau	4	Locale	5.1 - Choix du réseau	77
	Ajout ou modification des connecteurs	4	Locale	5.2 - Positionnement des connecteurs de centroïdes	80

Tableau 10 - Constitution du modèle - Hiérarchie des tâches à effectuer

2 - Quelques erreurs courantes...

La constitution d'un modèle exige de manipuler une grande quantité de données, à traiter de manière rigoureuse.



Quelques erreurs relativement courantes peuvent survenir, qui sont rappelées ici pour le cas particulier des Modules Sétra de TransCAD (*cf.* notamment guide d'utilisation des Modules Sétra [4]) :

- les Modules Sétra de TransCAD, comme la plupart des outils de modélisation, fonctionnent en euros constants, dans notre cas en valeur 2000. Cela signifie que tous les éléments monétaires calibrés sur les valeurs d'une année N sont à re-déterminer en valeur 2000. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne les péages, en les corrigeant de l'inflation (indice de consommation finale des ménages par tête). Par ailleurs, une attention particulière est à porter aux péages PL, dont la valeur doit être entrée Hors Taxes, au contraire des péages VL. En effet, les transporteurs routiers de marchandises récupèrent la TVA et ne sont donc sensibles qu'au prix HT des péages. En outre, ils peuvent bénéficier de rabais (limités à -13% en Europe) ;
- en ce qui concerne les valeurs du temps, les Modules Sétra les font croître en euros constants en fonction de la consommation finale des ménages pour les VL et de la croissance du PIB pour les PL. Les valeurs du temps calibrées à une année N (en fonction des péages de l'année N calculés en €2000) sont à convertir à l'année 2000 en tenant compte du scénario de cadrage économique (*cf.* guide d'utilisation des Modules Sétra [4]) ;
- en ce qui concerne le réseau 30 000 arcs, on prendra soin de travailler sur une extraction de la base à une année horizon (par exemple à l'année de calage, et aux diverses années de mise en service) ce qui facilite le travail en éliminant les cas de superposition des arcs ;
- pour l'utilisation des Modules Sétra, il est nécessaire de renseigner pour tous les arcs les champs Concede, Relief, Urbain et Zone_VH, pour obtenir un bilan socio-économique correct ;
- la matrice OD est souvent constituée via un outil extérieur à TransCAD (par exemple Géode). Dans la pratique, il faut donc importer les valeurs d'un tableau de données dans une matrice vide. Des problèmes d'indexation de la matrice interviennent fréquemment, empêchant l'importation de plusieurs lignes du tableau de données. Deux moyens sont disponibles pour détecter ce type d'erreur :
 - comparer la somme des trafics de la matrice et celle du tableau de données ;
 - inspecter les lignes non importées dans la matrice, sélectionnées automatiquement par TransCAD lors de l'importation (sélection "Rows/Columns not found").

Les erreurs reportées ci-dessus peuvent survenir avec d'autres types de modèles que ceux construits avec les Modules Sétra de TransCAD. Il peut ainsi être utile de se fixer une liste de vérifications systématiques à faire sur les définitions des données d'entrée du modèle.

3 - Mise au point du zonage

L'objectif de cette partie est de donner quelques repères quant à l'importance de l'effet du zonage sur les résultats d'affectation. En termes de calage, ceci intervient à deux étapes distinctes : le choix initial du zonage lors de la constitution du modèle, puis son éventuelle modification après examen des premiers résultats d'affectation.

Deux points sont abordés pour répondre à cette problématique :

- la constitution du zonage : d'une part les principaux découpages existants (institutionnels, liés aux bases de données, ...), avec lesquels une cohérence pourra être pertinente voire nécessaire, sont rappelés ; d'autre part, la recherche d'un compromis sur la taille du zonage est exposée, à travers :
 - la description des problèmes d'affectation pouvant intervenir avec l'utilisation d'un zonage trop agrégé ;
 - des éléments statistiques sur la robustesse d'une matrice OD construite avec des données d'enquêtes. A ce titre, il est rappelé comment l'erreur d'estimation des flux OD sur un poste d'enquêtes peut être calculée ;
- la désagrégation de matrices : lorsque le modélisateur décide de re-découper une ou plusieurs zones, il est confronté à la nécessité de ré-estimer la matrice OD. S'il peut paraître au premier abord simple de désagréger une matrice, différents cas peuvent intervenir et compliquer fortement cette opération. Sans viser à l'exhaustivité, trois situations particulières sont présentées, avec les méthodes de désagrégation préconisées.

En conclusion, l'importance d'une bonne connaissance et interprétation des données d'enquêtes est rappelée et illustrée sur un exemple.

3.1 - Principes de constitution du zonage

Dans un modèle d'affectation macroscopique, le zonage fixe en quelque sorte l'échelle du modèle. De la taille des zones dépendra le niveau de détail avec lequel les résultats pourront être pertinents. Le critère de base de construction du zonage est le suivant : les points de choix d'itinéraires doivent être identiques pour tous les usagers partant (ou se rendant) d'une (dans une) zone. Idéalement, ce critère impose donc la recherche d'un zonage le plus fin possible, problématique que nous examinons par la suite.

Néanmoins, deux contraintes interviennent, qui sont d'une part le ou les zonage(s) sur le(s)quel(s) les bases de données sont disponibles et d'autre part les découpages, souvent institutionnels, sur lesquels le maître d'ouvrage souhaite disposer des résultats. Ceci impose donc un deuxième critère à respecter : le zonage devra être cohérent avec un ensemble de découpages institutionnels ou liés à des bases de données.

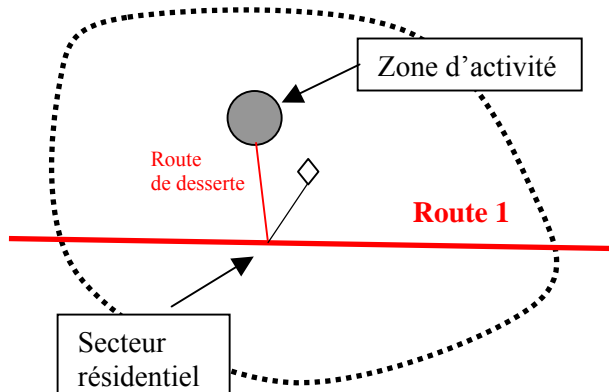
La liste des zonages administratifs ou institutionnels est relativement simple à établir. Les éléments les plus importants seront : les régions, les départements, les communes mais aussi les intercommunalités, pouvant être de natures et de tailles très diverses (limites de SCOT, pays, communauté d'agglomérations, communauté de communes, ...). Pour la présentation des résultats, certains zonages définis par l'INSEE pourront également être très utiles : il s'agit des zones d'emplois, des aires urbaines, des pôles urbains et ruraux, des espaces multipolarisés et ruraux. Définis principalement à l'aide de deux critères, à savoir la continuité de la tâche urbaine et l'organisation des déplacements domicile-travail, ils sont en lien évident avec le fonctionnement des déplacements de voyageurs.

Les principales bases de données dont il faut tenir compte pour la construction du zonage et servant de référence sont les suivantes :

- les enquêtes OD. Elles sont définies a minima au niveau communal, mais peuvent, notamment dans le cas des cordons d'agglomérations, être au niveau infracommunal. C'est dans ce deuxième cas qu'une attention particulière est à porter au niveau du zonage ;
- les EMD, fournissant des informations sur tous les déplacements des résidents d'un secteur plus ou moins vaste autour d'une agglomération. Deux éléments entrent en considération : le périmètre de l'EMD, généralement l'aire du PTU (Plan de Transports Urbains) et son zonage, généralement infracommunal sur les communes de la communauté d'agglomérations. Notamment, la cohérence avec le zonage de l'enquête cordon n'est pas toujours garantie ;
- les données d'enquêtes TRM (Transport Routier de Marchandises) fournissent des informations sur les flux de marchandises en tonnes et PL par NST (Nomenclature Statistique de Transport, relative à la nature des marchandises transportées [43]. Les résultats standard sont fournis à l'échelle du département, éventuellement de la zone d'emploi ;
- les données INSEE [44] du recensement de la population. Deux niveaux de zonage coexistent : le niveau communal pour toutes les données (notamment les migrations alternantes) et le niveau infracommunal IRIS pour les données de population ;
- les données INSEE [44] en général (par exemple, les fichiers SIRENE sur l'emploi) sont fournies à l'échelle communale, de même que les données ASSEDIC sur l'emploi privé. Certains éléments (cas de la médiane des revenus) ne sont néanmoins pas disponibles pour toutes les communes ;
- les données OMPHALE sur la population pouvaient être utilisées pour avoir une vision évolutive de la population depuis 1999. Avec la publication annuelle des résultats du recensement à partir de 2009, leur intérêt sera éventuellement moindre. Néanmoins, l'échelle de disponibilité de la donnée, la parcelle cadastrale, restera pertinente.

Comme cela a été évoqué en introduction de ce paragraphe, le zonage doit permettre de regrouper des individus supposés avoir des comportements homogènes du point de vue des choix de transport. En ce qui concerne un modèle d'affectation des trafics, cela signifie que les points de choix possibles entre itinéraires doivent être identiques pour tous les individus regroupés au sein de la zone. La définition du zonage doit donc d'une part être en adéquation avec le réseau routier (*cf.* 5 - L'offre de transport) et d'autre part tenir compte de la dispersion de

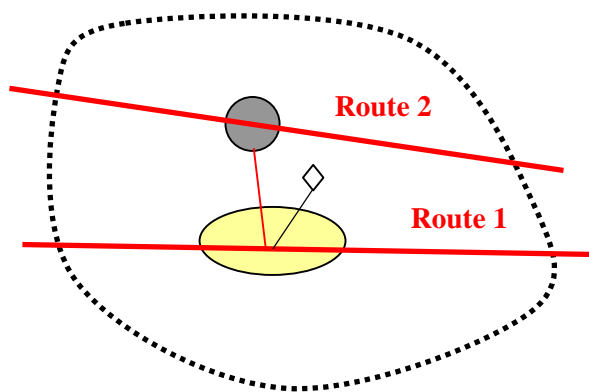
la population et des activités au sein de la zone. Enfin, la contrainte d'adéquation zonage/réseau routier doit également être vérifiée en situation de projet. Les schémas ci-dessous illustrent quelques cas pouvant survenir.



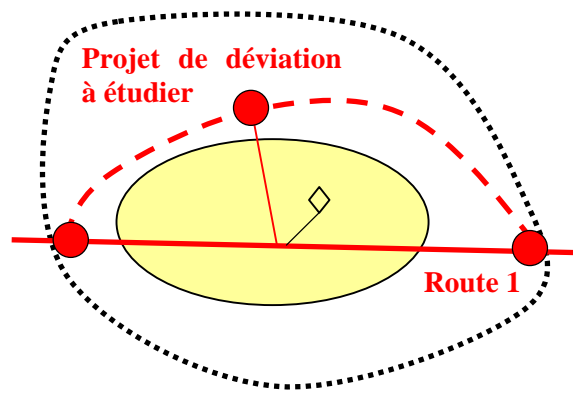
LEGENDE

- Routes
- Échangeur
- Zone
- Centroïde de zone et son connecteur
- Secteur résidentiel
- Zone d'activité
- ↪ Itinéraires

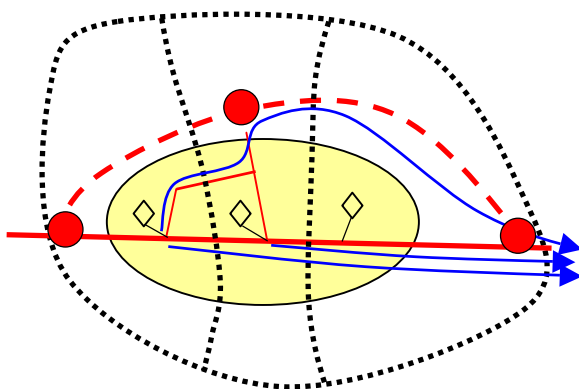
Situation à une seule zone satisfaisante, car la zone d'activité et le secteur résidentiel doivent utiliser la même route 1 pour effectuer leurs déplacements



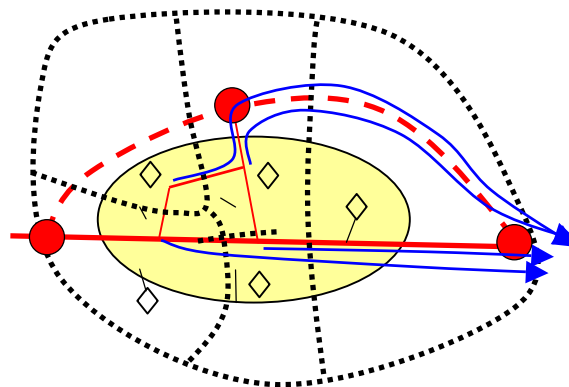
Situation à une seule zone potentiellement non satisfaisante, car la zone d'activité et le secteur résidentiel n'ont pas un comportement d'utilisation des routes 1 et 2 homogène.
=> **Envisager un re-découpage, notamment si la route de desserte est relativement longue.**



Situation à une seule zone potentiellement non satisfaisante, car les habitants des différents quartiers n'auront pas un comportement d'utilisation du projet de déviation homogène, en fonction de la position des échangeurs.
=> **Envisager un re-découpage, notamment si un des échangeurs est proche des habitations et si la traversée du secteur résidentiel a un niveau de service faible.**

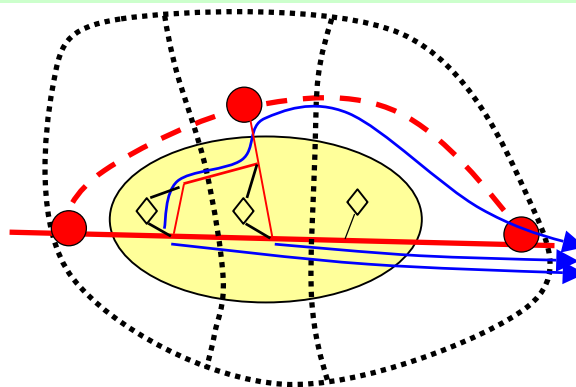


Ce zonage permet de différencier l'utilisation potentielle de la déviation depuis le secteur ouest, du fait d'éventuelles difficultés de circulation en traversée d'agglomération. Il tient également compte d'un intérêt éventuel de l'échangeur intermédiaire pour les zones à l'est et au centre. Cependant, les usagers au nord et au sud de la route 1 auront le même comportement vis-à-vis de cet échangeur alors que cette hypothèse semble irréaliste.



Ce zonage permettra d'obtenir des affectations satisfaisantes. Les usagers de la zone nord-ouest ont intérêt à aller chercher l'échangeur pour éviter la traversée de l'agglomération, ce qui n'est pas le cas des usagers de la zone sud-ouest, qui devraient pour cela emprunter une voie de desserte. Les usagers du nord de la zone centrale sont situés directement sur l'échangeur et l'empruntent contrairement aux usagers de la zone sud.

Une autre solution au problème posé consiste en la création de connecteurs multiples pour la zone centrale et la zone à l'ouest. Cette solution peut certes introduire un biais en fonction de la répartition des générateurs de trafic au sein de ces deux zones. Cependant, si cette solution est moins satisfaisante en termes d'affectation, elle permet d'améliorer la fiabilité statistique de la matrice (voir la deuxième partie du paragraphe).



Dans la pratique, cette contrainte conduit à choisir des zonages les plus fins possibles (échelle communale, voire infracommunale).

Cette contrainte sur la finesse du zonage entre en contradiction avec la méthode de constitution de la demande de transport (cf. 4 - *La matrice des déplacements*). Dans les modèles étudiés ici, la matrice OD est déterminée à partir d'enquêtes OD. La qualité de la matrice est donc dépendante de l'échantillon disponible : l'utilisation de zones fines entraîne des échantillons faibles et par conséquent des volumes par OD imprécis. Dans l'exemple ci-dessus, le découpage est passé de une zone (D1, situation initiale) à cinq zones (D5, situation souhaitable pour avoir une bonne affectation), ce qui signifie que les échantillons sont en moyenne cinq fois moins grands. Les flux depuis les zones nord-ouest et sud-ouest sont estimés avec une marge d'erreur nettement plus élevée que les flux depuis la zone ouest dans la configuration à trois zones (D3). Or, dans le cas du D5, chaque zone (nord-ouest et sud-ouest) n'emprunte qu'un seul itinéraire. Le calage -donc la précision- de l'affectation repose par conséquent intégralement sur la précision des OD. A contrario, le D3 peut être pertinent, si l'affectation est calée de telle sorte que les deux itinéraires (par la route 1 et la déviation) soient trouvés depuis la zone ouest, mais cela nécessite probablement des ajustements de la description du réseau. On retiendra donc que :

- dans le cas d'un zonage très fin, la qualité du modèle repose très fortement sur la précision d'estimation des flux OD et donc sur le taux d'échantillonnage et les méthodes de redressement : cela peut conduire à des coûts de recueils de données rédhibitoires ;
- dans le cas d'un zonage plus agrégé, les comportements étant supposés homogènes à l'intérieur d'une même zone, la diversité des points de choix en fonction de la structuration socio-économique du secteur est plus difficile à reproduire ; si la matrice OD est plus robuste, l'affectation est donc de moindre qualité. En conséquence, la précision du modèle repose plus fortement sur l'erreur d'affectation, donc sur la qualité du calage. Les paramètres et variables sont ajustés de telle sorte que les itinéraires soient correctement reproduits : cela peut imposer l'utilisation de valeurs non "réalistes", ce qui est peu satisfaisant.

Dans la recherche du meilleur compromis de finesse du zonage, l'erreur d'estimation d'un flux OD à un poste d'enquête est l'élément central. Elle peut être calculée à partir de la taille de l'échantillon enquêté et des variations du trafic sur l'année (cf. encadré). Le lecteur pourra se référer aux documents :

- *note sur la fiabilité des enquêtes OD* [18] : cas où les flux de trafic ne connaissent pas de variations saisonnières marquées ;
- F. Leurent, F. Meunier [26] : le calcul de l'erreur commise tient compte de l'écart-type des comptages de trafic sur la période de recueil pouvant s'étaler de quelques jours à une année complète ;
- guide sur les enquêtes de circulation du Sétra [28], formules de calcul données en annexe.

Pour illustrer cette problématique de l'erreur sur les données d'enquêtes, des calculs de fiabilité ont été appliqués à un poste d'enquête théorique où le trafic est de 10 000 véh/jour, avec des fluctuations de 1 000 véh/jour et un échantillon total de 1 000 interviews. L'erreur d'estimation, liée au calcul de la partie d'une OD dans le trafic total, a été représentée en fonction du nombre d'interviews mentionnant cette OD dans l'échantillon total sur la Figure 4. Dans ce cas, pour un nombre d'occurrence de l'OD dans l'échantillon en dessous de quinze interviews, l'erreur d'estimation est de plus de 50 %. Au-delà de quinze interviews, l'erreur décroît progressivement jusqu'à un taux de l'ordre de 20 % (25 % pour cent interviews).

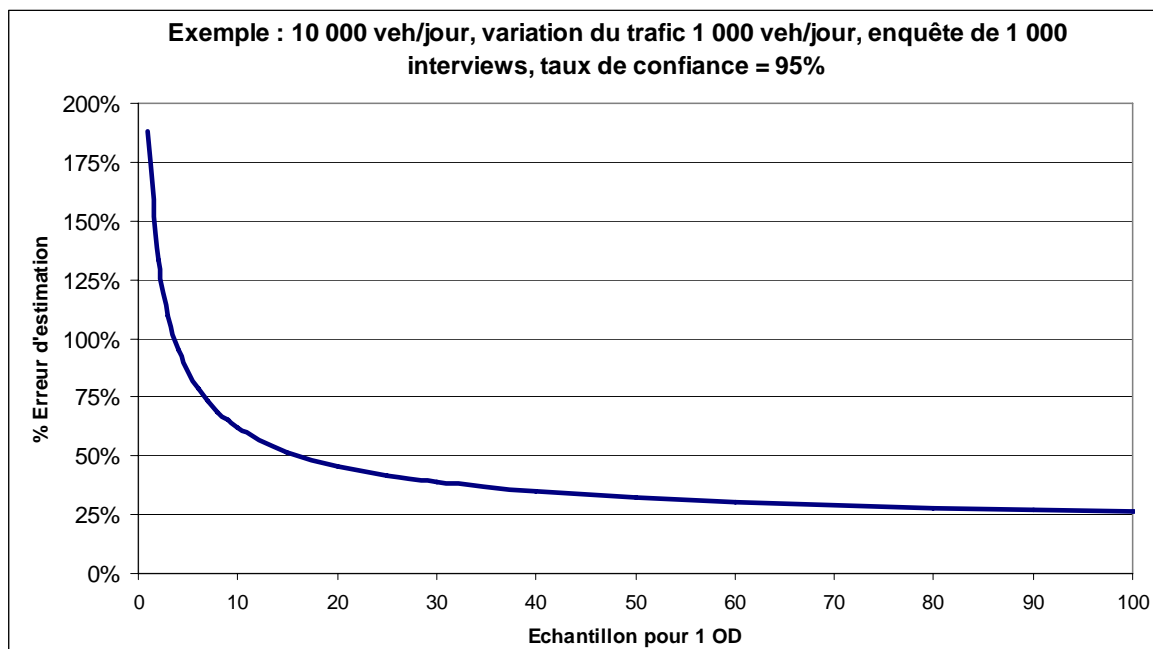


Figure 7 - Erreur d'estimation d'une OD en fonction de la taille de l'échantillon

Comment calculer l'erreur d'estimation du flux OD à un poste d'enquête ?

Calculer l'erreur standard de la proportion de chaque OD sur l'ensemble du trafic du poste d'enquête $SE(\%OD)$:

$$SE(\%OD) = \sqrt{\left(1 - \frac{Nenq}{Trafic}\right) \times \frac{\%OD \times (1 - \%OD)}{Nenq - 1}}$$

où $Nenq$: nombre d'interviews total de l'enquête
Trafic : trafic journalier du jour d'enquête

Calculer l'erreur standard du comptage $SE(q)$:

$$SE(q) = \sqrt{\frac{\sum (q(j) - q)^2}{N \times (Nj - 1)}}$$

où Nj : nombre de jours de comptage
 $q(j)$: trafic journalier du jour j
 q : trafic journalier moyen

Calculer l'erreur standard combinée $SE(OD)$ * :

$$SE(OD) = \sqrt{SE(q)^2 \times SE(\%OD)^2 + q^2 \times SE(\%OD)^2 + \%OD^2 \times SE(q)^2}$$

* Ces calculs supposent l'indépendance des comptages vis-à-vis du flux OD : il ne doit pas y avoir de relation de conditionnalité entre la valeur de l'OD et celle du comptage.

3.2 - Quelques éléments sur la désagrégation de matrices

Dans la recherche du meilleur compromis entre la finesse du zonage pour les besoins de l'affectation et la robustesse de la matrice résultante, une option classique est de travailler avec un double niveau de zonage :

- un zonage de construction de la matrice OD, suffisamment agrégé pour que l'erreur d'estimation des OD soit inférieure à un seuil prédéfini ;
- un zonage d'affectation suffisamment fin pour bien représenter la finesse des choix d'itinéraires.

C'est notamment un choix courant en modélisation urbaine, lorsque des données d'Enquêtes Ménages Déplacements (EMD) sont disponibles.

En modélisation interurbaine, cette option sera souvent envisagée au regard des premiers résultats d'affectation : un re-découpage peut permettre de mieux reproduire les choix d'itinéraires (cf. 3.1 - *Principes de constitution du zonage*). De plus, la construction d'une matrice OD étant un processus coûteux (car généralement non automatisé), il est rare que les flux OD soient recalculés au cours du calage du modèle. Le recours à un double niveau de zonage est donc d'autant plus incontournable.

L'utilisation d'un double niveau de zonage pour la matrice OD et l'affectation crée un problème particulier : la matrice OD obtenue n'est pas directement utilisable pour l'affectation. Une matrice d'affectation doit donc être estimée sur le zonage d'affectation. Du fait de l'imbrication du zonage, cela se traduit par une désagrégation de la matrice OD initiale. Cependant, il convient de procéder avec méthode, afin de ne pas perdre la robustesse initiale de la connaissance de la demande de transport.

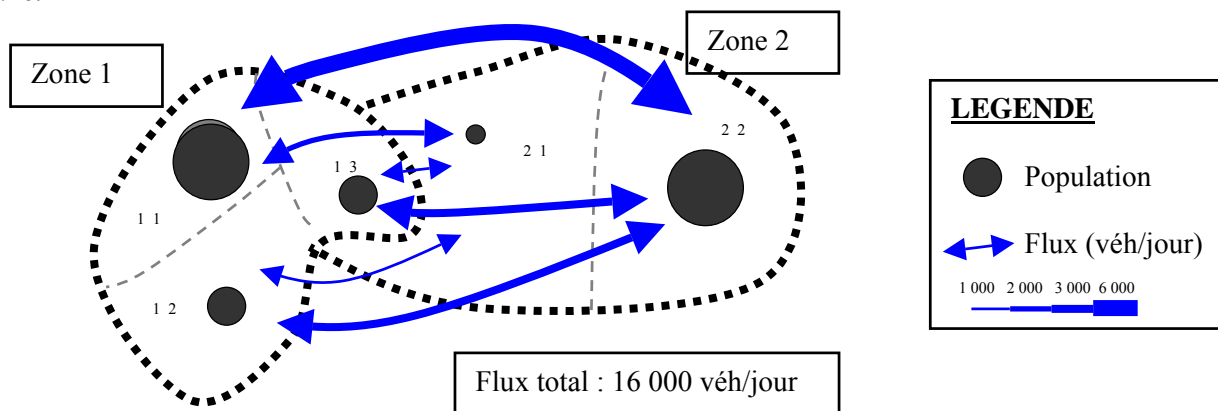
D'une part, les deux zonages doivent respecter deux règles simples :

- le zonage d'affectation doit être imbriqué dans le zonage de la matrice OD ;
- le zonage de la matrice OD doit être préférentiellement construit sur des entités cohérentes en termes de fonctionnement socio-économique (éventuellement la région ou le département, ou mieux encore les zones d'emploi, aires urbaines et pôles urbains).

D'autre part, la désagrégation doit procéder d'une analyse ou d'une connaissance du fonctionnement socio-économique du territoire. Nous présentons ici trois situations, sans viser l'exhaustivité.

3.2.1 - Désagrégation en fonction du poids socio-économique des zones

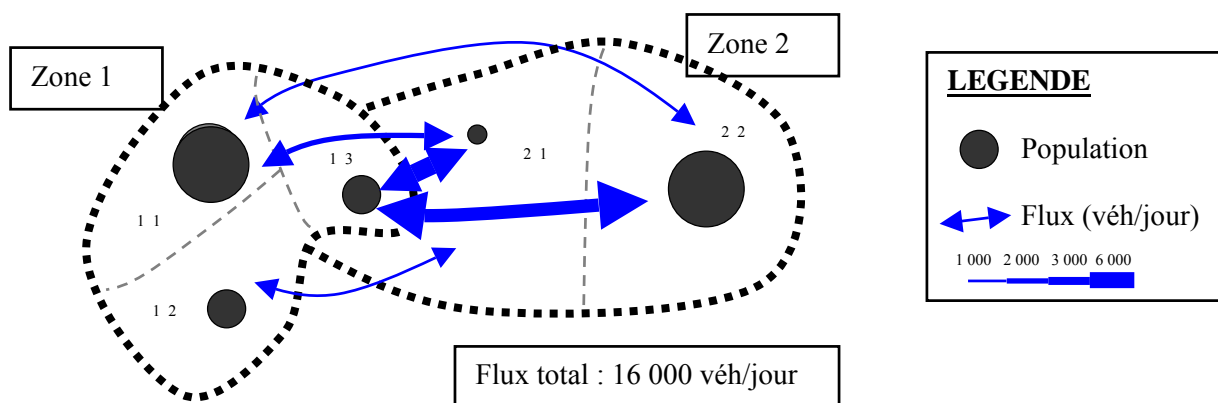
La répartition des flux OD agrégés au sein des zones fines dépend uniquement du poids socio-économique des zones et non de la distance. Il est possible de désagréger la matrice par l'emploi d'une pondération. Cette dernière peut être faite en fonction du trafic total émis et attiré par chaque zone au sein de l'enquête considérée ou d'un ensemble d'enquêtes ou par les poids de population et/ou d'emploi. L'étude de déplacements dominés par le motif visite à famille/amis peut en être un bon exemple : si la matrice est estimée à l'échelle des échanges entre deux aires urbaines, la désagrégation au niveau communal peut se faire au poids de population de chaque commune.



La carte ci-dessus illustre bien ce cas : le flux total entre les zones 1 et 2 est dominé par les déplacements entre les deux zones les plus peuplées (1_1 et 2_2), soit 6 000 véh/jour. A contrario, les flux vers la zone la moins peuplée (2_1) sont minoritaires (4 000 véh/jour au total).

3.2.2 - Désagrégation en fonction du poids socio-économique et de la distance entre zones

La répartition de l'OD agrégée au sein des zones fines est fonction d'une combinaison de facteurs complexes identifiables : par exemple la distance et le poids socio-économique des zones, selon une répartition gravitaire. C'est notamment le cas de déplacements dominés par le motif domicile-travail. La méthode de pondération doit être adaptée. Un exemple de méthode peut être proposé en s'appuyant sur l'illustration suivante :



La répartition (%_{ij}) des flux entre les zones 1_i et 2_j peut se faire ici en fonction de la distance D_{ij} entre les zones et des valeurs de population active ayant un emploi (PA_i , PA_j) et d'emploi (E_i , E_j), selon la formule suivante :

$$\%_{ij} = \frac{(PA_i \times E_j + PA_j \times E_i) \times e^{-\alpha \times D_{ij}}}{\sum_{i,j} (PA_i \times E_j + PA_j \times E_i) \times e^{-\alpha \times D_{ij}}}$$

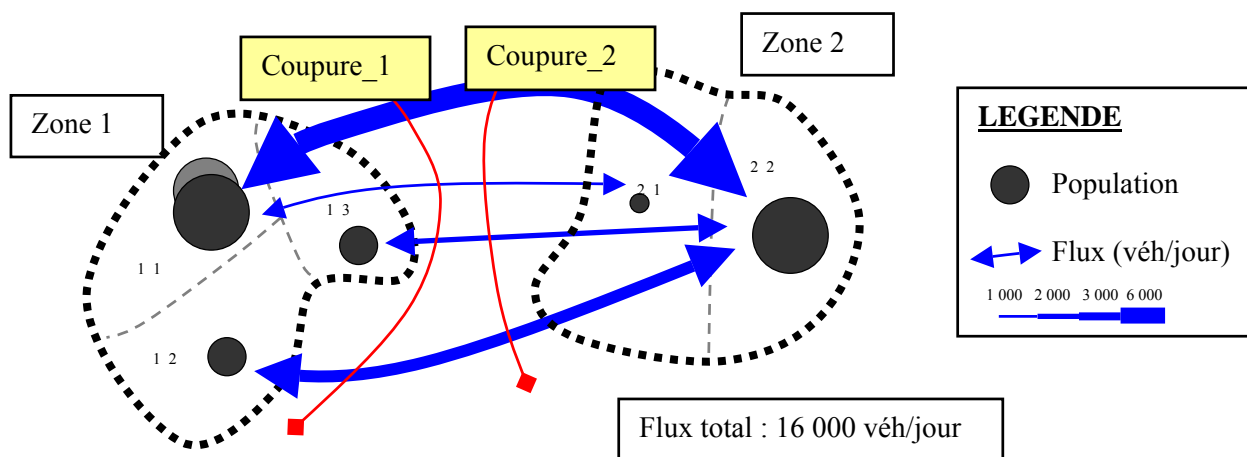
La fonction de résistance à la distance utilisée ici est une exponentielle négative, mais elle peut en fait prendre d'autres formes : puissance inverse, gamma, tabulations, ...

La difficulté principale consiste en la détermination des paramètres des fonctions de résistance, ici α . Différentes données sont utilisables pour le calibrer : recensement de la population sur les migrations alternantes, données d'enquêtes plus complètes sur un autre secteur du modèle (avec une composition de la population "similaire" permettant une transposition), données d'enquêtes sur le secteur d'étude à un niveau de zonage plus agrégé, ... Il est à noter que TransCAD dispose d'outils efficaces pour effectuer ce calibrage (menu Planning, sous-menu Trip Distribution, outil Gravity Application). Par ailleurs, le lecteur pourra utilement consulter le guide du Certu sur la modélisation urbaine [6] pour plus d'informations sur les modèles gravitaires et la distribution en général.

3.2.3 - Désagrégation en fonction d'enquêtes sur coupure

La répartition de l'OD agrégée au sein des zones fines est fonction d'une combinaison de facteurs complexes difficilement identifiables. Il peut s'agir, par exemple, de déplacements marqués par les affaires professionnelles. Leur répartition spatiale dépendra entre autres des liens préférentiels s'établissant entre certaines entreprises (position du siège social, des fournisseurs, des clients, ...). Une méthode adaptée au cas en question est à mettre en œuvre. On propose ici une possibilité lorsqu'il existe deux coupures captant les déplacements entre les zones.

Un exemple de méthode peut être proposé en s'appuyant sur l'illustration suivante :



L'OD agrégée OD_{1_2} entre les zones 1 et 2 est estimée par combinaison des coupures C1 et C2 (cf. 4.1 - *Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale*). Pour chaque sous-zone i et chaque sous-zone j des zones 1 et 2, nous cherchons à déterminer un poids $\%_i$ et un poids $\%_j$, de telle sorte qu'un estimateur de la proportion des flux OD entre i et j $\%_{ij}$ soit donné par :

$$\%_{ij} = \%_i \times \%_j$$

Pour la zone 1, les poids $\%_i$ sont calculés comme la proportion des flux (notés $F_{i_2}(C1)$) de 1 vers 2 étant originaire de i au sein de la coupure 1, selon la formule :

$$\%i = \frac{F_{i_2}(C1)}{\sum_{k \in Zone1} F_{k_2}(C1)}, \text{ avec } F_{k_2}(C1) = \sum_{j \in Zone2} F_{k_j}(C1)$$

De manière identique, les poids %j sont calculés comme la proportion des flux de 1 vers 2 se rendant en j au sein de la coupure 2.

Cette méthode s'appuie en fait sur l'hypothèse que les résultats d'enquêtes sont plus précis dans les secteurs proches de leur emplacement. Cette hypothèse peut souvent être vérifiée par des cartes relativement simples.

Le cas des enquêtes réalisées sur l'autoroute A4 entre Metz et Paris illustre bien la problématique de la désagrégation de zones : sur les cartes 5 et 6 ont été représentées en bleu les communes Origine et en rouge les communes Destination des déplacements enquêtés.

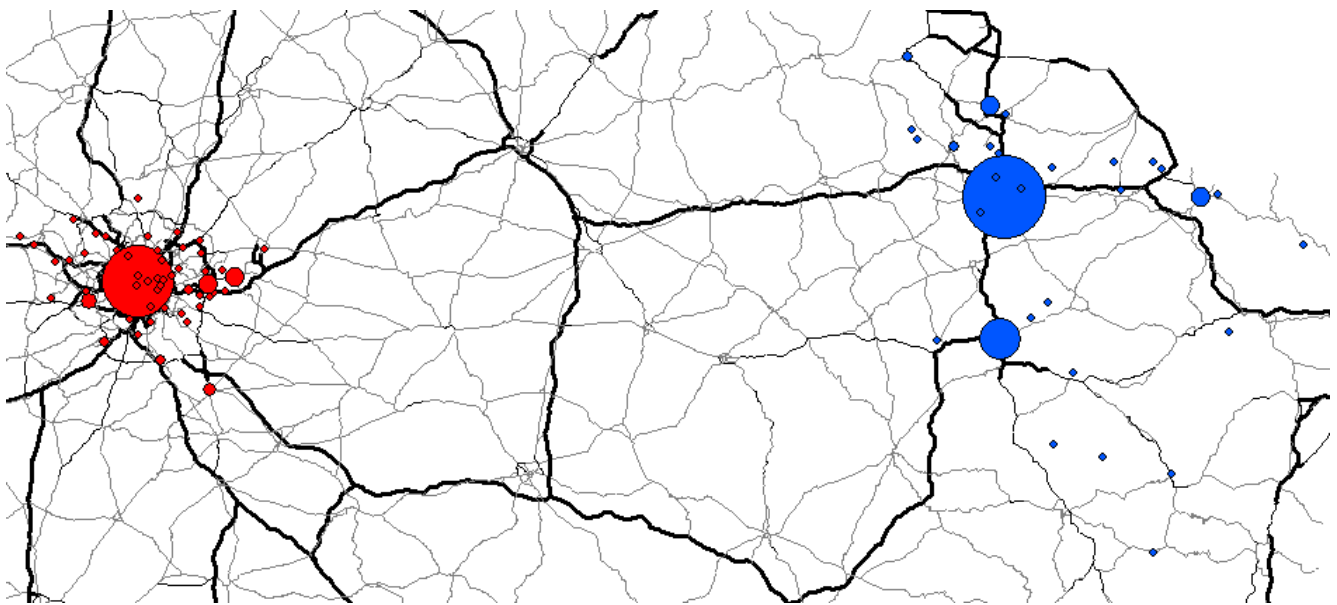


Figure 8 - Communes d'Origine et de Destination du trafic sur A4 - Enquête à l'est de l'Île-de-France

Sur la première carte, correspondant aux déplacements enquêtés à la limite est de l'Île-de-France, l'imprécision de la connaissance des origines des déplacements en Lorraine est nette : seules les grandes villes du secteur apparaissent : Nancy, Metz, et dans une moindre mesure Thionville ou Sarreguemines. A contrario, les déplacements se rendant en Île-de-France sont dispersés sur de nombreuses communes.

La deuxième carte, correspondant à une enquête effectuée à la limite ouest du département de la Moselle, continue de mettre en évidence Metz et Nancy comme générateurs dominants des flux entre l'Île-de-France et la Lorraine, mais d'autres générateurs importants apparaissent : les communes situées au nord de Metz (notamment Briey, chef lieu d'arrondissement) ou encore les communes situées à l'est du département de la Moselle (Saint Avold, Forbach). A contrario, les destinations en Île-de-France sont nettement plus recentrées autour de la commune de Paris.

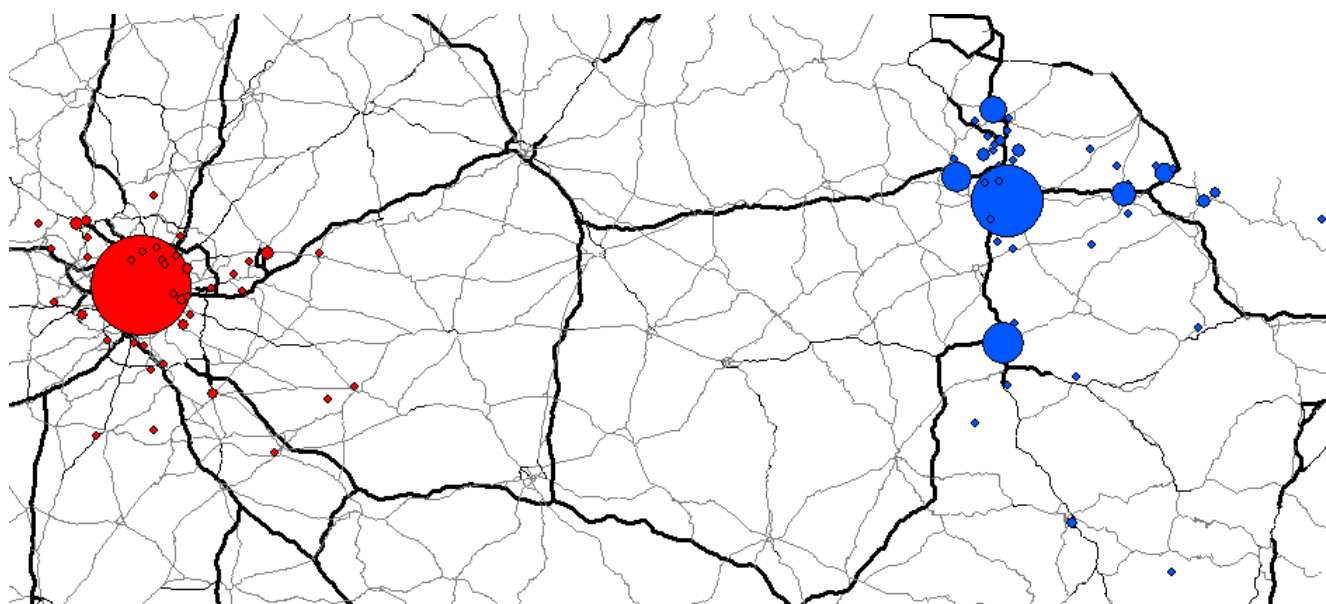


Figure 9 - Communes d'Origine et de Destination du trafic sur A4 - Enquête à l'ouest de la Moselle

Deux explications peuvent décrire le phénomène ici illustré :

- un effet structurant s'applique aux déplacements entre l'Île-de-France et la Lorraine. Ils sont notamment marqués par le motif affaires professionnelles. Il est donc logique que les extrémités des déplacements en Lorraine soient concentrées sur les principaux pôles d'emploi et de décision : une approche de désagrégation par le poids des emplois pourrait suffire pour construire une matrice d'affectation ;
- la proximité entre l'enquête en Lorraine et les extrémités de déplacement situées dans cette région rend les résultats d'enquêtes dans ce secteur plus complets. De manière symétrique, les enquêtes en limite d'Île-de-France sont plus précises pour les extrémités de déplacement dans cette région. L'approche de désagrégation décrite dans la situation 3 sera donc utile ici pour désagréger les matrices OD issues d'enquêtes.

Cependant, il convient de noter que certaines des communes en Lorraine apparaissant sur la carte 5 ne sont pas présentes sur la carte 6 : malgré la meilleure précision, nous sommes ici toujours confrontés à la problématique de la forte probabilité d'un échantillon nul pour les flux de faible valeur. Le TAG 3.10.3 [15] décrit précisément cette problématique et propose quelques solutions.

En conclusion, si la désagrégation de matrices est un outil très utile, la connaissance du fonctionnement socio-économique du territoire, ainsi que de la qualité des enquêtes, sont nécessaires pour obtenir un résultat réellement pertinent.

4 - La matrice des déplacements

Dans l'analyse des pratiques, l'absence quasi-générale de modification de la matrice OD lors du calage a été mise en évidence pour les modèles interurbains. A contrario, l'analyse bibliographique souligne l'existence de méthodes d'ajustements automatiques de la matrice sur les comptages. Il s'agit donc de clarifier ici dans quelle mesure la matrice peut être une variable d'ajustement lors du calage.

Quatre éléments nous semblent mériter des approfondissements :

- la méthode de combinaison des résultats des postes d'enquêtes. Le traitement des résultats d'enquêtes OD est largement manuel et non homogène. Un premier pas vers un processus d'harmonisation et d'automatisation est proposé ici, à l'aide de méthodes statistiques de fusion de données. Des travaux spécifiques sont actuellement menés par le Sétra pour fournir un cadre de recommandations plus général, voire des outils permettant l'automatisation de certaines tâches ;
- le traitement des trous de la matrice. L'insuffisance d'informations sur les OD est un cas relativement courant du fait du coût et de la complexité d'organisation des enquêtes OD. Deux méthodes sont proposées pour construire des modèles d'estimation des flux OD entre deux zones : la première est basée sur les données de

migrations alternantes et s'applique mieux pour certains types de cas (liaison couronne périurbaine - pôle urbain notamment); la deuxième s'appuie sur une analogie avec les lois de la gravitation (cf. guide modélisation urbaine du Certu [6]);

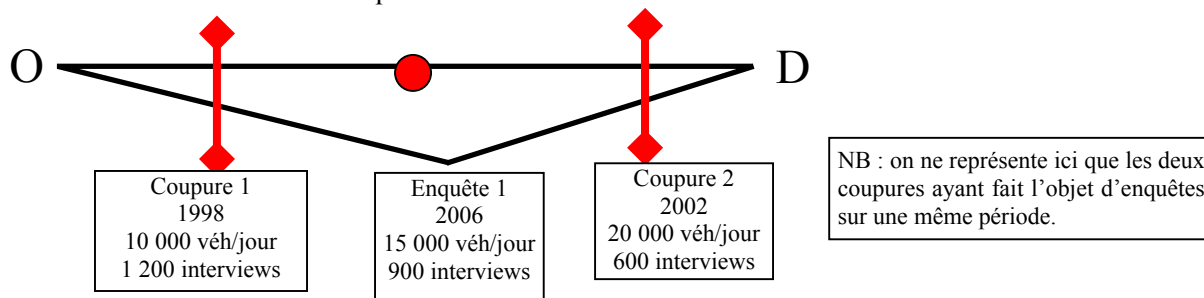
- les méthodes d'ajustement de la matrice. Les paragraphes sur la combinaison des résultats d'enquêtes et sur la désagrégation de matrices le soulignent bien : la matrice OD n'est qu'une estimation, avec une marge d'erreur elle-même estimable. Des méthodes simples (Fratat) à complexes (optimisation du gradient ou du maximum de vraisemblance) d'ajustement sur les comptages sont présentées, en insistant sur les risques inhérents et donc les conditions d'emploi ;
- la constitution de sous-classes de matrices. La matrice est usuellement décomposée en deux classes homogènes dans les modèles interurbains : les VL et les PL. Or, chaque classe comporte des sous-classes nettement hétérogènes : usagers ne supportant pas les coûts des péages, ménages avec différentes classes de revenus, catégories de PL soumises à des réglementations et des péages différents, ... Les principales sous-classes à examiner sont détaillées, accompagnées de propositions pour leur intégration dans un modèle d'affectation interurbain.

4.1 - Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale

Lors de la constitution d'une matrice OD, le modélisateur dispose d'une base de données, qui peut être constituée d'une part de tout l'historique des enquêtes OD réalisées dans le secteur d'étude dans les dernières années, et d'autre part d'un recueil de données récent effectué spécifiquement pour l'étude, mais nécessairement restreint pour des raisons de coût. Plusieurs problèmes peuvent donc se poser :

- les informations sont redondantes : plusieurs coupures permettent de calculer différents estimateurs des flux OD ;
- la qualité des données est variable et fonction de l'échantillon du poste d'enquêtes (cf. 3.1 - Principes de constitution du zonage). Sur certains flux OD, il peut même n'y avoir aucune information, du fait de l'échantillonnage ;
- des données récentes sont à comparer ou à combiner avec des données plus anciennes.

Le modélisateur est donc confronté à un problème de fusion de données, que l'on peut illustrer par un exemple. Imaginons une OD suffisamment longue pour qu'il y ait plusieurs enquêtes pour l'estimer, admettons avec deux itinéraires, comme sur l'exemple illustré ci-dessous. Par ailleurs, cinq enquêtes OD sont disponibles pour estimer la matrice d'ancienneté et de qualité très variables.



Comment combiner les résultats ? Différentes options sont envisageables :

- conserver l'estimation de la coupure complète la plus récente (2002), mais elle est très imprécise (échantillon très faible) ;
- faire une moyenne des coupures 1 et 2, pour compenser à la fois les défauts d'ancienneté et d'imprécision, mais l'information de l'enquête la plus récente est alors inutilisée ;
- combiner le résultat de l'enquête 1, la plus récente (2006), avec une moyenne des enquêtes des coupures 1 et 2 sur la route la plus longue, ...

4.1.1 - Combinaison des données d'enquêtes sur un cas simple

La question posée, déterminer quelle est la combinaison des postes d'enquêtes qui garantit le résultat le plus fiable, ne peut être résolue de manière triviale. Dans le document *Optimal network estimation for Origin-Destination Flow from Sufficient Link Data* (F. Leurent, F. Meunier [21]) est proposée une méthode permettant de résoudre pour partie la question, dans le cas où l'on ne tient pas compte de la date des enquêtes. Le principe repose :

- sur le calcul de la variance des estimations des flux OD par poste (cf. 3.1 - Principes de constitution du zonage), en posant l'hypothèse de l'indépendance :
 - d'une part des comptages et des flux OD (la valeur du comptage ne doit pas être conditionnée par la valeur prise par le flux OD examiné) ;
 - d'autre part des résultats des enquêtes aux différents postes d'une coupure ;
- sur la résolution d'un problème d'optimisation consistant en la recherche de l'estimateur de variance minimale pour le flux OD.

Le principe de la méthode est tout d'abord illustré par un cas simple, puis un algorithme de résolution du problème est proposé. Nous exposons ici la méthode utilisée pour le cas simple, qui peut facilement être employée pour enrichir les méthodes manuelles habituelles de combinaison des résultats d'enquêtes. Le Sétra a prévu des travaux pour mettre en œuvre l'algorithme qui devrait aboutir à la production d'un guide et d'un outil permettant d'automatiser la constitution de la matrice.

Dans les méthodes manuelles de combinaison des enquêtes, la plus grande part de l'analyse porte sur l'examen de la complémentarité de l'information (faut-il ajouter les résultats des deux enquêtes ?) et de la redondance (faut-il moyenner avec éventuellement des pondérations les résultats des coupures ?). La prise en compte de la variance des résultats d'enquêtes permet d'effectuer une moyenne pondérée des coupures au lieu d'une simple moyenne. Il convient au final de procéder de la manière indiquée dans l'encadré suivant.

Comment combiner des données d'enquêtes ?

Déterminer pour chaque poste d'enquêtes P, l'erreur standard commise sur l'estimation du flux OD passant par le poste $SE(OD,P)$ (cf. 3.1 - Principes de constitution du zonage) et l'estimation du flux OD $Q(OD, P)$;

Combiner des résultats des postes de la manière suivante.

Si les postes sont sur des itinéraires parallèles, le flux OD correspondant à la coupure C est la somme des flux OD de chaque poste $Q(OD, C) = \sum Q(OD, P)$ et l'erreur standard commise est égale à :

$$SE(OD, C) = \sqrt{\sum SE^2(OD, P)}$$

Si les postes sont sur des itinéraires concurrents, la combinaison des coupures C contenant des informations redondantes s'effectue en calculant tout d'abord l'erreur standard :

$$SE(OD) = \frac{1}{\sqrt{\sum \frac{1}{SE^2(OD, C)}}$$

puis l'estimation du flux de l'OD :

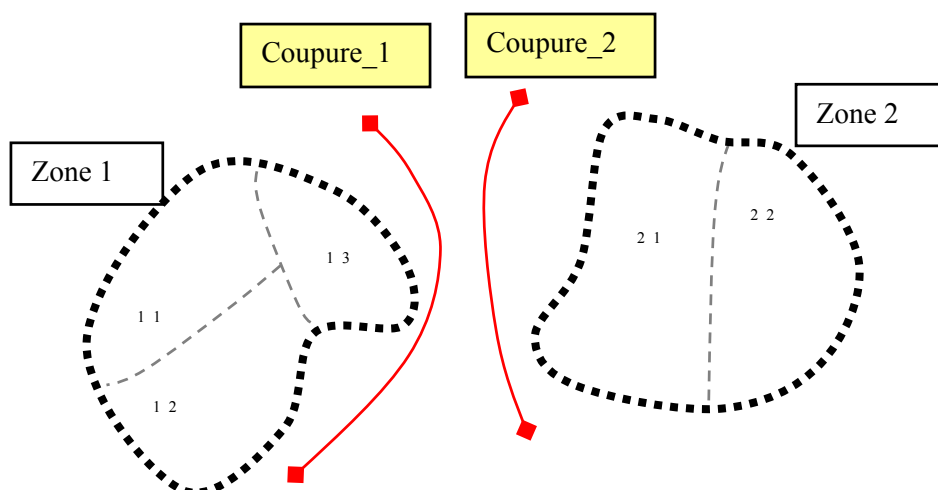
$$Q(OD) = \sum \frac{SE^2(OD)}{SE^2(OD, C)} \times Q(OD, C)$$

Cette méthode permet une estimation de la matrice OD en tenant compte des erreurs liées aux échantillonnages. Elle ne permet pas en revanche de résoudre deux difficultés particulières : les flux nuls et l'ancienneté des enquêtes.

4.1.2 - Le traitement des flux non enquêtés ou flux nuls

Si les flux sont très faibles, ils peuvent ne pas avoir été interceptés sur une coupure. Il en résulte que si l'estimation du flux est égale à zéro, l'erreur standard est nulle et l'enquête n'est pas prise en compte dans l'estimation du résultat final issu de la combinaison des enquêtes.

L'exemple suivant permet d'expliquer la difficulté qui intervient. On cherche à déterminer les flux des zones fines i vers les zones fines j à l'aide des résultats des deux coupures.



Supposons que le résultat des coupures soit celui -caricatural- présenté dans le tableau ci-dessous :

Zone i	Zone j	C1		C2		OD
		Nombre d'interviews	Flux	Nombre d'interviews	Flux	
1	1	0	0	10	4 000	4 000
2	1	10	4 000	0	0	4 000
3	1	0	0	10	4 000	4 000
1	2	15	6 000	0	0	6 000
2	2	0	0	20	8 000	8 000
3	2	15	6 000	0	0	6 000
Total		40	16 000	40	16 000	32 000

Tableau 11 - Flux OD considérés dans l'exemple

L'estimation de chaque flux OD à partir des résultats des deux coupures est donné par la colonne OD. La somme des flux OD atteint 32 000 véh/jour soit le double de la coupure ! Si une telle situation est improbable à ce niveau de non-représentativité des enquêtes (en fait, il est impossible de construire un modèle avec des données aussi mauvaises), elle souligne bien la distorsion créée par les flux nuls.

Il est donc conseillé de vérifier la somme des trafics affectés par rapport au trafic total de la coupure, voire sur les postes d'enquêtes. Cela permet de vérifier si la différence par rapport aux comptages reste acceptable. Par ailleurs, pour diminuer l'effet des flux nuls, on pourra leur affecter une erreur standard élevée, par exemple égale à celle des OD ayant l'erreur standard la plus grande.

Dans le cas présenté ci-dessus, nous obtenons la répartition suivante des trafics, qui semble nettement plus satisfaisante :

Zone i	Zone j	C1		C2		OD	
		% OD	Erreur d'estimation	% OD	Erreur d'estimation	Flux	Erreur
1	1	0%	1240	25%	1 109	2222	827
2	1	25%	1109	0%	1 281	2286	839
3	1	0%	1240	25%	1 109	2222	827
1	2	37.5%	1240	0%	1 281	3097	891
2	2	0%	1240	50%	1 281	3871	891
3	2	37.5%	1240	0%	1 281	3097	891
Total						16 795	

Tableau 12 - Résultats du traitement des flux nuls dans l'exemple

4.1.3 - L'actualisation des enquêtes anciennes

L'ancienneté des enquêtes n'est pas prise en compte dans la méthode. Le modélisateur peut uniquement envisager de corriger les erreurs standards à dire d'expert. Cela suppose qu'il n'y ait pas de biais important sur la composition des OD du poste. Cette hypothèse n'est pas toujours valide, par exemple si un itinéraire de déviation a été aménagé entre deux dates d'enquêtes. En effet, la déviation permet de retirer tout ou partie des flux de transit de l'ancien itinéraire. Il convient donc de tenir compte de cette modification pour l'utilisation ultérieure des résultats du poste d'enquêtes.

Le problème n'existe pas si les enquêtes sont redressées sur une année antérieure à la modification du réseau créant une modification de la structure des OD du poste. En revanche, si la matrice OD est construite à une année postérieure à cette modification, le redressement du poste ne peut être fait selon la méthode simple habituelle (cf. guide sur les enquêtes OD [28]) à l'aide des comptages de trafic.

Plusieurs options sont envisageables, nous proposons d'en traiter deux, sous forme d'exemples théoriques présentés ci-dessous.

Actualisation d'enquêtes anciennes
Exemple 1 : pas de modification de la structure des OD

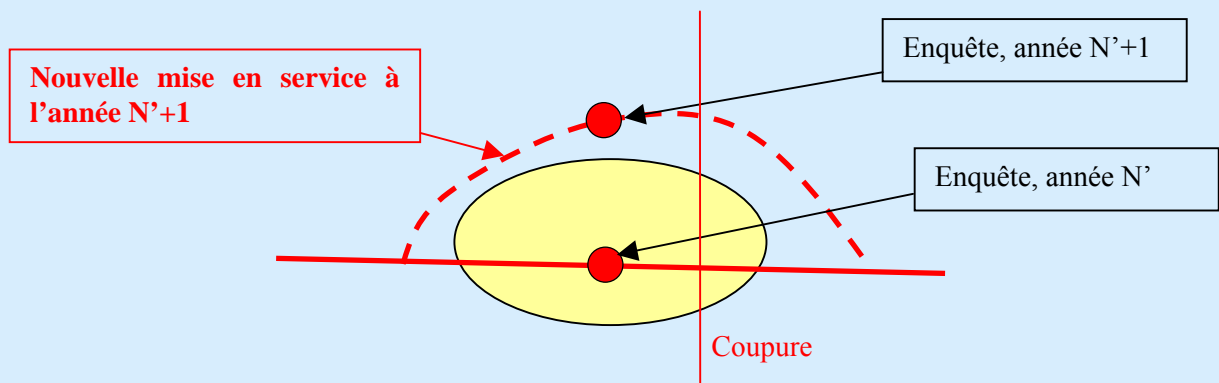
Des approches simples sont possibles lorsque la structure générale du trafic du secteur est susceptible d'avoir peu évolué. Ceci est notamment le cas lorsque l'année N' de réalisation du poste est proche de l'année N à laquelle l'enquête doit être redressée. Une méthode générale serait d'utiliser les taux de croissance du trafic donnés par la circulaire sur l'évaluation économique des infrastructures routières [17] ou par les indices de circulation [29]. Une méthode plus contextuelle serait d'analyser les évolutions de trafic sur les arcs en amont et en aval de l'arc examiné. Ceci n'est pertinent que si l'utilisation de ces arcs à l'année N est similaire à la structure OD du poste d'enquête.

Actualisation d'enquêtes anciennes

Exemple 2 : modification de la structure des OD

Dans certaines situations, il peut être nécessaire de corriger la structure OD du poste. La liste de cas est tellement vaste que nous ne pouvons une fois de plus prétendre à l'exhaustivité. Nous proposons ici deux cas extrêmes.

Cas simple d'une enquête en traversée d'agglomération à l'année N' et d'une enquête sur sa déviation, à sa mise en service à l'année N'+1.

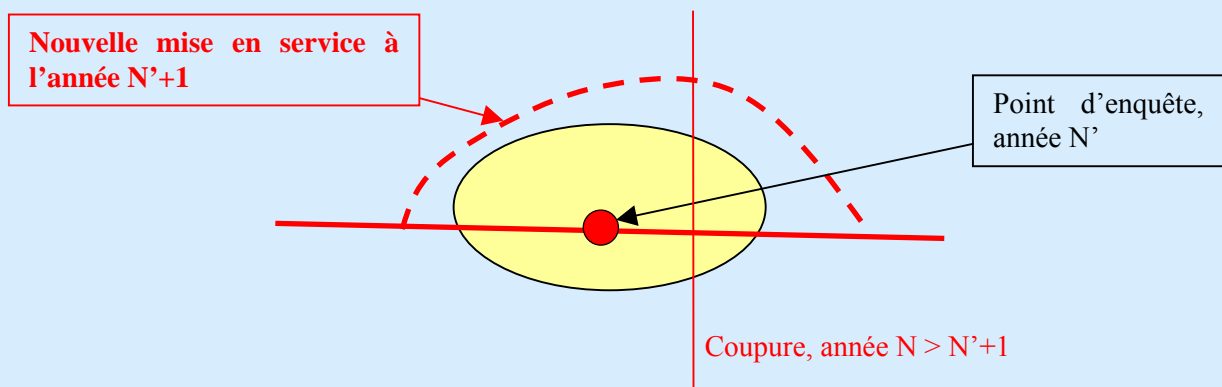


L'objectif est ici d'estimer la structure des flux résiduels dans la traversée à l'année N qui a été modifiée par l'ouverture de la déviation.

La méthode repose sur l'hypothèse suivante : à l'année de mise en service de la déviation, seuls les reports des flux empruntant anciennement la traversée se font sur la déviation. Les résultats de l'enquête sur la traversée peuvent alors être redressés sur les trafics de la coupure (traversée + déviation) à l'année N'+1. L'enquête sur la traversée donne alors, à l'année N'+1, une estimation des flux locaux et des flux de transit. L'enquête sur la déviation donne principalement une estimation d'une partie des flux de transit (ceux qui se sont reportés, selon la concurrence s'établissant entre la traversée et la déviation) et éventuellement de quelques flux locaux (selon la configuration de l'agglomération, la position des échangeurs).

Par différence entre les résultats des deux postes d'enquêtes, il est alors possible de créer un poste d'enquête fictif, principalement constitué de trafics locaux, représentatif des flux sur la traversée après mise en service de la déviation. Les OD de la déviation et celles de la traversée peuvent alors être redressées séparément en fonction des trafics sur chaque axe à l'année N. Ceci peut s'avérer très utile, notamment si l'évolution de ces deux trafics entre N'+1 et N est très différente.

Cas d'une enquête en traversée d'agglomération à l'année N' et avec mise en service d'une déviation à l'année N'+1, sans réalisation d'enquêtes à l'année N'+1.



Ce cas est un prolongement de la situation précédente, si l'enquête sur la déviation ne peut pas être effectuée mais que l'on souhaite utiliser des comptages sur la traversée et sur la déviation à l'année N. Cela peut s'avérer

utile, notamment si les évolutions de trafic sur les deux axes sont très différentes. Il faut alors s'appuyer sur les chevelus issus d'un modèle d'affectation.

Deux scénarios sont créés : un premier scénario correspondant au réseau de l'année N', un second au réseau de l'année N. La matrice constituée à l'année N' est utilisée. La différence des flux OD empruntant la traversée entre les deux scénarios permet de corriger la structure OD de l'enquête sur la traversée pour qu'elle soit représentative de l'année N et de créer un poste d'enquête fictif correspondant aux flux de la déviation. La méthode de redressement classique des deux enquêtes fictives ainsi créées peut alors être employée pour construire une matrice à l'année N.

Dans des cas de forte congestion du réseau, il faudra veiller à procéder de manière itérative jusqu'à l'obtention d'un équilibre.

4.2 - Compléter les trous de la matrice

Les cas traités au paragraphe précédent sont reliés à des situations d'excès d'informations. Cependant, les contraintes de l'exercice de modélisation (délais, budget) conduisent plus souvent à une insuffisance d'informations. Certaines OD ne peuvent être estimées :

- soit parce que les enquêtes ne couvrent pas tous les itinéraires possibles entre les zones ;
- soit parce que le flux est situé sur une section de l'itinéraire pour laquelle la connaissance détaillée des OD n'a pas été jugée prioritaire ;
- soit enfin parce qu'il n'a pas été possible matériellement ou financièrement d'effectuer certaines enquêtes.

Ainsi, pour l'étude de la Route Centre Europe Atlantique (RCEA), cinq postes d'enquête ont été effectués. Les zones encadrées en bleu mettent en évidence les secteurs d'étude où la demande de déplacement n'est pas captée par ce dispositif de recueil.

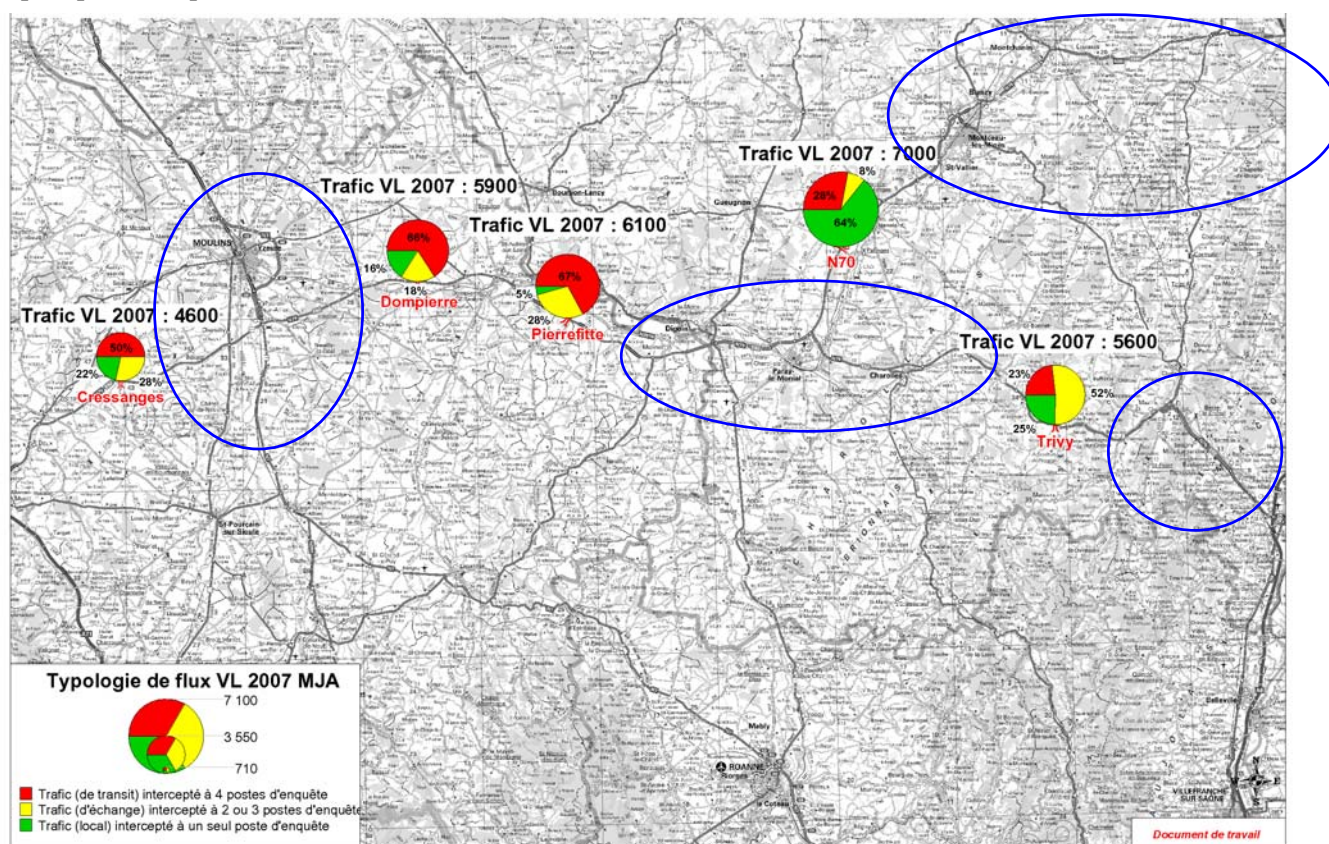


Figure 10 - Exemple de localisation des postes d'enquêtes pour l'étude de la RCEA

La situation typique à laquelle est confrontée le modélisateur est donc la présence de nombreux trous dans la matrice OD. S'il est possible de construire un modèle interurbain en conservant cette matrice (notamment en faisant l'emploi de préchargements), cette situation peut s'avérer préjudiciable dans certains cas.

Prenons l'exemple de la RCEA : un des scénarios à analyser consiste en l'aménagement sur place, l'itinéraire devenant à péage. Comme la carte ci-dessus l'a mis en évidence, il manque de nombreuses enquêtes pour capter la structure des déplacements et la matrice est donc composée de nombreux trous, qui correspondent à des flux de courte distance, notamment entre les villes desservies par la RCEA et les communes avoisinantes. La méthode classique de prise en compte de ces flux est de calculer un préchargement par arc sur l'axe étudié, par différence entre le trafic affecté et les comptages. Ces préchargements sont donc captifs de l'arc sur lequel ils sont calculés. Dans le cas présent, cette méthode de calage revient à supposer que les flux locaux sont captifs de l'infrastructure et qu'ils ne réagiront pas à la mise en place du péage par l'utilisation d'itinéraires d'évitement. Cette hypothèse ne saurait être satisfaisante, d'autant plus que ces flux sont de courte distance, flux connus pour avoir de faibles valeurs du temps (cf. *Transports : choix des investissements et coût des nuisances. Rapport du groupe d'experts présidé par Marcel Boiteux* [11]). Il est donc nécessaire d'avoir une description de ces flux en termes d'OD d'une part, et d'autre part de connaître la sensibilité au péage de ces usagers.

Dans les pratiques recensées, deux méthodes sont proposées pour renseigner les trous de la matrice. Les deux se basent sur la confrontation des données des enquêtes disponibles avec des données socio-économiques (voire des données de niveau de service) pour constituer un modèle qui est ensuite appliqué sur d'autres relations pour estimer les flux.

4.2.1 - Méthode basée sur les déplacements pendulaires - cf. Modélisation du trafic local Cété NP [27]

Le recensement de la population fournit pour chaque couple de communes i et j un résultat exhaustif du nombre de personnes résidant en i et travaillant en j (DT_{ij}). Il donne également quelques informations sur les modes de déplacements utilisés pour effectuer ces déplacements pendulaires, notamment sur la proportion d'utilisation de la voiture. Pour les OD qui sont structurées par ces déplacements pendulaires (échanges périurbains - pôles urbains par exemple), il est donc possible de comparer le nombre de déplacements totaux DEP_{ij} donnés par les enquêtes avec le nombre de migrants en VP entre i et j : $DEP_{ij} = MOB \times DT_{ij}$. Si suffisamment d'OD sont disponibles, la stabilité de la valeur du paramètre de mobilité MOB peut être testée sur le territoire, ce qui conduit à valider ou non le modèle. En cas de validation (constatation d'un lien systématique entre le nombre de déplacements et de migrants), compléter les trous de la matrice pour certains types d'OD devient aisé.

Le Cété NP (cf. *Modélisation du trafic local* du Cété NP [27]) a procédé à ce type d'analyse en Picardie et en région Nord-Pas-de-Calais. Les liens entre déplacements et migrations pendulaires suivants ont été mis en évidence :

- pour les déplacements entre le pôle urbain et la couronne périurbaine, un ratio de 2,83 a été estimé sur un ensemble de seize relations en Picardie et validé sur quatre relations en région Nord-Pas-de-Calais. Ce ratio est surtout valable pour les liaisons entre la couronne périurbaine et le pôle urbain principal. Pour des OD avec un faible nombre de migrants, vers les pôles urbains secondaires, le modèle est nettement moins satisfaisant ;
- l'extension du modèle aux liaisons entre une commune rurale et le pôle urbain est ensuite examinée : un ratio de 4,03 est obtenu sur les liaisons en Picardie, qui est toutefois à prendre avec beaucoup de prudence.

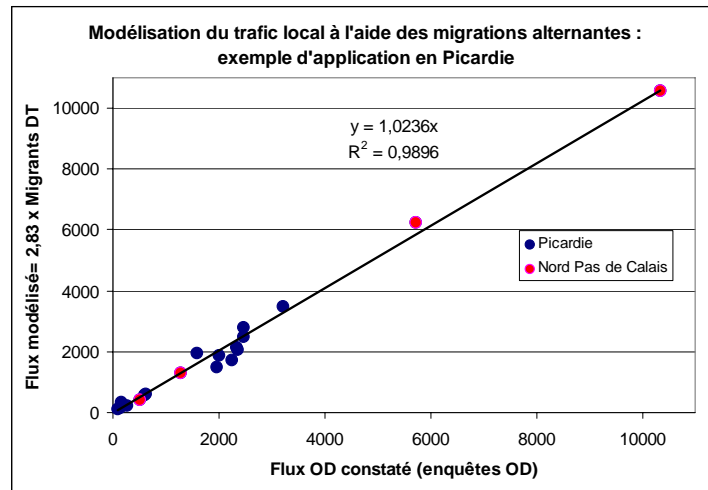


Figure 11 - Analyse de la corrélation entre déplacements tous motifs et domicile-travail

4.2.2 - Méthode gravitaire

La méthode gravitaire est fondée, par analogie avec les lois de gravitation, sur deux principes :

- les déplacements entre deux communes augmentent avec le pouvoir d'attraction de chacune d'elles. Il est caractérisé par leur masse en termes de population, nombre d'emplois, ...
- les déplacements entre deux communes diminuent avec le coût de déplacement les séparant.

Le modèle général peut être écrit sous la forme :

$$DEP_{ij} = f(E_i) \times g(A_j) \times h(CG_{ij})$$

où : f , g et h sont des fonctions quelconques,
 E_i et A_j sont les masses respectivement en émission et en attraction des zones i et j ,
 CG_{ij} est le coût généralisé de déplacement de i à j .

Comme pour la méthode basée sur les migrations pendulaires, le modèle doit être testé et calibré au vu des données d'enquêtes disponibles. Cela peut être fait en utilisant un solveur fonctionnant sur la méthode du gradient, outil facilement disponible dans de nombreux logiciels.

Un modèle de ce type a été calibré par le Cété NC pour un ensemble de vingt six OD commune à commune sur le département du Calvados ; il prend la forme suivante :

$$DEP_{ij} = \frac{(Pop_i \times Pop_j)^{0.7}}{D_{ij}^2}$$

De manière générale, il conviendra d'être très prudent sur l'utilisation de telles procédures et notamment le transfert des modèles d'une région à une autre. Dans la mesure du possible, il est fortement conseillé de calibrer les modèles pour chaque secteur et de vérifier que la matrice OD obtenue permet de reproduire les comptages. Par ailleurs, cette méthode ne doit pas être prise comme un outil de connaissance à part entière des déplacements : il est notamment exclu de l'utiliser pour estimer le trafic de transit et d'échange. En ce qui concerne le trafic interne, une partie de la demande devra impérativement être connue à l'aide d'enquêtes spécifiques, les méthodes présentées dans ce paragraphe ayant pour but de compléter cette connaissance des flux locaux.

4.3 - Ajustement de la matrice

Comme les deux paragraphes précédents l'ont illustré, de fortes incertitudes pèsent sur la qualité de la matrice : erreurs d'échantillonnages, ancienneté des enquêtes, estimation des trous, ... Or, l'affectation permet de mettre

en lien les flux OD reconstitués avec les comptages, y compris ceux résultant d'autres comptages que ceux disponibles au droit des postes d'enquêtes. Ces derniers pourraient donc servir à améliorer l'estimation de la matrice.

Cette situation peut être illustrée par un cas simple : un nœud autoroutier permettant de connecter trois autoroutes comme sur le schéma suivant. Des enquêtes ont pu être effectuées sur les branches 1 et 2, donnant (après combinaison) respectivement 2 000 véh/jour pour les déplacements entre 1 et 2, 5 000 véh/jour pour les déplacements entre 1 et 3 et 10 000 véh/jour pour les déplacements entre 2 et 3. Le trafic de la branche 3 peut donc être calculé par sommation des deux flux 1→3 et 2→3 le composant. Il est alors possible de comparer cette estimation avec le comptage sur l'autoroute 3. Dans notre exemple, le trafic sur l'autoroute 3 est sous-estimé par le modèle de 12%, ainsi qu'illustré sur le tableau suivant :

	1	2	3	Total	Comptages
1		2 000	5 000	7 000	7 000
2	2 000		10 000	12 000	12 000
2	5 000	10 000		15 000	17 000

Tableau 13 - Exemple de matrice OD pour application de la méthode de Fratar

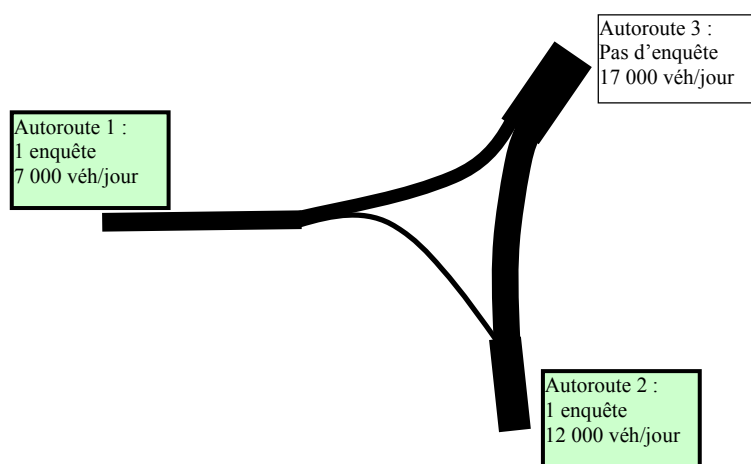


Figure 12 - Exemple de cas d'école pour l'ajustement de la matrice

Dans ce type de situation, un outil habituel de correction de la matrice OD est l'algorithme de Fratar. Celui-ci vise à calculer une matrice permettant de reproduire les marges en procédant de manière itérative. La procédure est la suivante /

- initialisation : $D_{ij}(0)=D_{ij}^*$ et $n=1$, où D_{ij}^* est une estimation du flux OD obtenue par enquête, modélisation,...
- calculer $D_{ij}(n) = D_{ij}(n-1) \times \frac{T_j}{\sum_i D_{ij}(n-1)}$,
- incrémenter n ,
- calculer $D_{ij}(n) = D_{ij}(n-1) \times \frac{T_i}{\sum_j D_{ij}(n-1)}$,
- incrémenter n et revenir à l'étape 2.

Dans l'exemple considéré, la matrice obtenue via l'utilisation de l'algorithme de Fratar est la suivante ; la matrice et les comptages sont donc en cohérence :

	1	2	3	Total	Comptages
1		1 000	6 000	7 000	7 000
2	1 000		11 000	12 000	12 000
3	6 000	11 000		17 000	17 000

Tableau 14 - Exemple de matrice OD avec les résultats de l'application de la méthode de Fratar

En analysant l'algorithme de Fratar, on constate qu'il consiste en une simple correction par le rapport entre le comptage et la somme des flux OD l'empruntant. Intuitivement, il semble intéressant d'étendre cette méthode à l'ensemble des comptages disponibles. Notamment, cela peut être intéressant si le modèle d'affectation a été correctement calé en itinéraires (cf. 4 - Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors) mais que le calage en comptages reste insatisfaisant. Après affectation, on pourrait extraire les flux OD passant par un ensemble d'arcs et les corriger en fonction des comptages. Cependant, l'application de cette méthode à des cas complexes semble hasardeuse et il conviendra de réserver cette approche à des situations relativement simples où les modifications sont maîtrisables.

Ce principe correspond globalement aux méthodes de calage des matrices OD sur les comptages, disponibles dans différents logiciels. Notamment, dans la revue bibliographique, l'étude DREIF [9] décrit de tels outils pour les logiciels Davis, Emme2, Davisum ou Cube. TransCAD [3] possède aussi ce type de procédure. Ils sont constitués par une méthode d'optimisation (par exemple la méthode du gradient) d'une valeur cible représentative de la qualité de reproduction des comptages. Celle-ci peut être une entropie à maximiser ou une fonction de distance à minimiser, combinant l'écart aux comptages et la distance entre la matrice initiale et la matrice calculée.

Si cette méthode se répand pour le calage des modèles de type urbain, à demande complète, elle est à utiliser avec de multiples précautions :

- la demande étant souvent incomplète dans les modèles interurbains, de nombreux comptages ne peuvent être reproduits. De même, les comptages à proximité des points d'injection du trafic sont en général non reproductibles. Il faut donc sélectionner uniquement les comptages qui devraient pouvoir être reproduits par le modèle, ce qui exige à la fois une très bonne connaissance du terrain et des données ;
- le calcul se base sur la répartition des OD sur les différents itinéraires, ce qui nécessite d'avoir initialement une bonne représentation des concurrences entre chemins : il s'agit plutôt d'une amélioration finale de la reproduction des comptages par le modèle que d'une méthode de calage à proprement parler ;
- étant donné qu'il s'agit uniquement de procédures d'optimisation sans lien direct avec le fonctionnement du système de transport, la matrice peut être déformée de manière irréaliste : il faut donc s'assurer a posteriori de l'écart entre la matrice initiale et la matrice calculée.

4.4 - Décomposition de la matrice en classes de trafic

En plus de la connaissance de l'origine et de la destination, les enquêtes OD sur lesquelles sont construites les matrices comportent généralement de nombreuses informations (cf. guide sur les enquêtes OD [28]), dont quelques exemples sont :

- pour les VL :
 - le type de véhicule (voiture particulière, véhicule utilitaire, caravane, ...) ;
 - le motif à l'origine et le motif à la destination du déplacement ;
 - le nombre d'occupants du véhicule ;
 - éventuellement, la prise en charge par l'entreprise des frais de déplacement, ...

- pour les PL :
 - la présence ou non d'un chargement (identification des parcours à vide) ;
 - le nombre d'essieux ;
 - la nature de la marchandise transportée et son poids ;
 - la fréquence du déplacement, ...

Ces éléments permettent de décomposer la matrice OD en sous-classes pour mieux prendre en compte l'hétérogénéité des comportements :

- pour les déplacements de voyageurs, un enjeu clé est de repérer les flux comportant une forte proportion de déplacements professionnels. Ces derniers ont un comportement vis-à-vis du péage tout à fait particulier, qu'il convient de prendre en compte dans la distribution de la valeur du temps. C'est un des principes de l'étude Baie de Seine - Île-de-France [30], dans laquelle la matrice voyageurs est décomposée en cinq motifs (domicile-travail, affaires personnelles, affaires professionnelles, études, loisirs/vacances) ;
- pour les PL, les péages, de même que les limites de vitesse, varient fortement en fonction des classes de véhicules. Dans MONAPL [31], cinq catégories de PL sont donc prises en compte pour tenir compte de ce phénomène (2 essieux à moins de 12t, 2 essieux à plus de 12t, 3 essieux, 4 essieux, 5 essieux et plus) ;
- de nombreuses autres segmentations sont pertinentes, notamment pour bien capter la variabilité de la valeur du temps (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?).

5 - L'offre de transport

Le réseau est un des éléments les plus importants dans un modèle de transport. Il est déterminant pour la pertinence du modèle vis-à-vis de ses objectifs. Son codage doit ainsi être particulièrement soigné et cette partie fournit des indications pour aider le modélisateur dans cette tâche.

- tout d'abord, la partie 5.1 - abordera la question du choix du réseau. Nous verrons que, tout en étant la plus réduite possible, l'étendue géographique du réseau doit englober l'aire d'influence des problématiques étudiées, à la fois en termes de périmètre de la zone étudiée, mais également en termes de finesse à l'intérieur de cette zone. Dans un premier temps, cette section apporte une aide méthodologique pour le choix du réseau, qui est à réaliser en correspondance avec le zonage et la matrice ;
- une attention particulière sera apportée à la position des connecteurs de centroïdes faisant le lien entre la matrice de demande et le réseau au § 5.2 - car elle revêt également une grande importance ;
- une fois les principes de construction du réseau complet ainsi présentés, le § 5.3 - rappellera les vérifications et corrections à apporter au réseau quant à sa connectivité ;
- puis, dans la partie 5.4 - , nous présentons les données caractéristiques du réseau qui servent au calage des modèles d'affectation : les comptages, la typologie des routes, ainsi que les autres caractéristiques utilisées pour les calculs d'affectation, en particulier le temps à vide puis en charge (notamment facteur de concentration et capacité) ;
- enfin, cette section se termine au point 5.5 - par une revue non exhaustive (mais donnant les principales références) des méthodes de calibrage de courbes débit-vitesse pour les courbes dites BPR, utilisées dans de nombreux modèles et notamment dans les Modules Sétra de TransCAD.

5.1 - Choix du réseau

Le choix du réseau est primordial. S'il ne porte que sur un réseau non assez maillé, le modélisateur risque de ne pas réussir à prendre en compte des phénomènes de report, de contournement, en d'autres termes de ne pas appréhender correctement la complexité du réseau routier réel. En revanche, s'il porte sur un réseau trop détaillé, c'est l'assurance de ne pouvoir caler le modèle, au moins en volume, voire en itinéraires et en temps de parcours. En effet, la demande modélisée sera alors sous-dimensionnée et les flux risquent de se diluer dans un réseau trop précisément décrit par rapport à la matrice de demande.

De plus, un réseau trop détaillé aura pour conséquence de rendre difficile la convergence, et dans tous les cas prolonge les temps de calcul et complexifie les analyses de manière significative.

Un lien peut être fait avec la localisation des postes d'enquêtes dont dispose le modélisateur : les axes sur lesquels aucune donnée n'est disponible peuvent ne pas être pris en compte pour assurer un calage optimal. Cependant, il est important de rappeler que le niveau de finesse de la description du réseau dépend évidemment des objectifs que l'on s'est fixés initialement sur le rôle du modèle.

Le point de départ de la sélection du réseau est souvent une base géoréférencée, comme la base 30 000 arcs diffusée par le Sétra. Une première tâche importante consiste à supprimer ou simplifier les réseaux locaux sans intérêt pour l'étude. Le temps consacré à ce premier travail sera largement gagné par la suite (en temps de calcul et d'analyse). Mais attention, selon le contexte de l'étude et suivant les zones, la base 30 000 arcs peut s'avérer trop complète, ou pas assez :

- sur l'exemple ci-dessous (modélisation pour l'étude des contournements de Lons-le-Saunier), la base de données initiale est la base 30 000 arcs. Mais un travail d'élagage de celle-ci a été réalisé pour ne garder que le réseau proche de Lons-le-Saunier, l'enjeu de ce modèle étant de mesurer l'impact, essentiellement local, d'un contournement routier ;

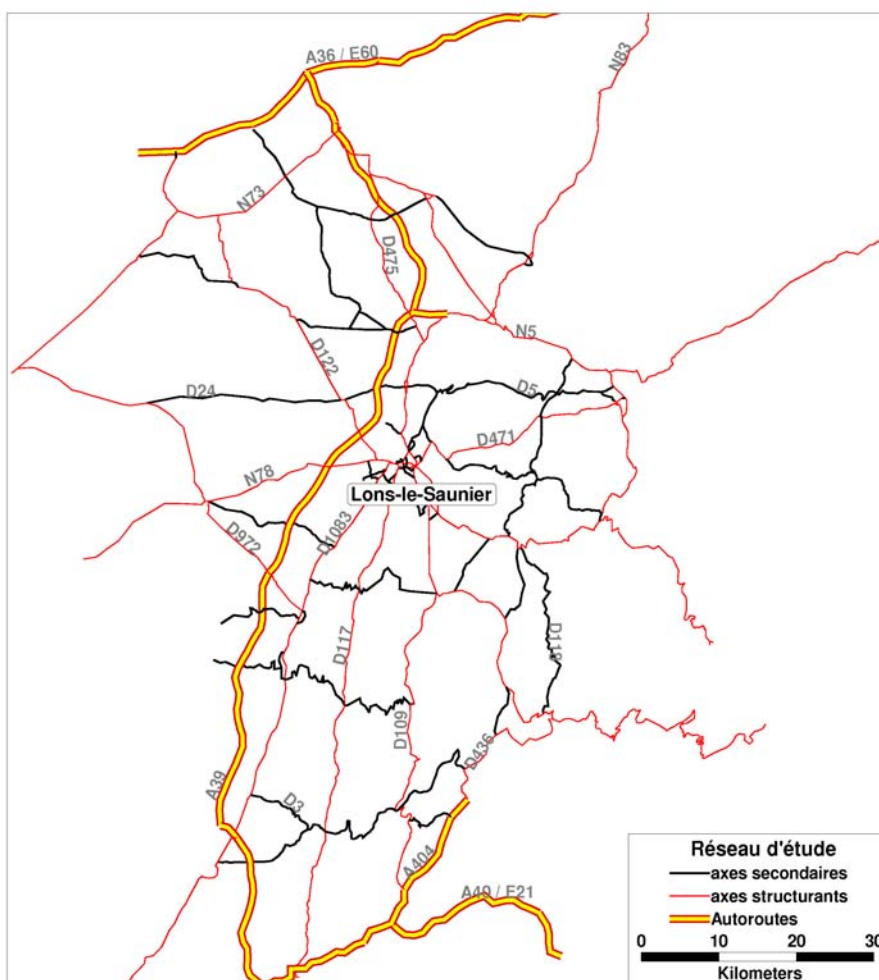


Figure 13 - Réseau routier modélisé pour l'étude des contournements de Lons-le-Saunier

- l'exemple suivant est une situation inverse et concerne la modélisation de la Route Centre Europe Atlantique (RCEA) : bien qu'allégée dans les zones éloignées de l'axe étudié, la base 30 000 arcs a été complétée autour de la RCEA afin de prendre en compte les itinéraires locaux alternatifs.

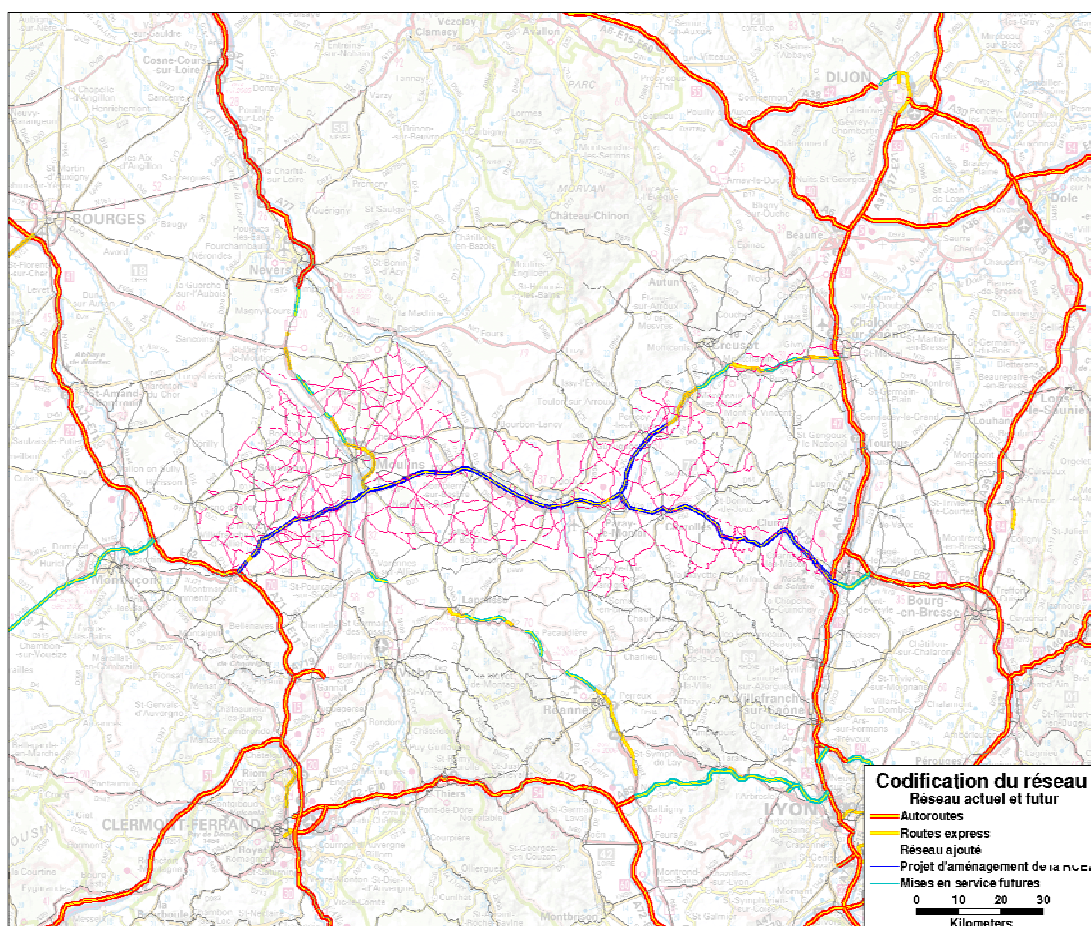


Figure 14 - Réseau routier modélisé pour l'étude de la Route Centre Europe Atlantique

Les premiers résultats d'affectation doivent permettre de juger de la pertinence des choix en matière de modélisation du réseau. En effet, un réseau intégralement surchargé devra probablement être affiné, et à l'inverse, les réseaux locaux attirant trop de trafic mais sans intérêt pour l'étude, supprimés ou simplifiés.

Si l'on s'aperçoit à cette étape que le réseau secondaire attire une grande partie du trafic, cela peut être dû à une description trop fine de celui-ci alors que ses nombreux itinéraires n'ont pas vocation à être étudiés. C'est le cas par exemple à l'intérieur des agglomérations où figurent plusieurs itinéraires identiques en parallèle.

En pratique, dans TransCAD, si l'on souhaite que des arcs du réseau ne soient plus empruntés :



- on peut les supprimer du fichier géographique, mais il sera alors difficile de les y réintroduire (export ou sauvegarde, ...) : on perd en souplesse de modifications ce qu'on gagne en légèreté de la base ;
- on peut mettre les champs AB_Base / BA_Base à 0, pour indiquer que les arcs sont fermés en situation de calage ;
- on peut créer une sélection des arcs à retirer du réseau, et par combinaison, la sélection inverse des arcs à partir duquel le fichier network doit être créé ;
- on peut choisir d'interdire la circulation par classe de trafics (VL/PL) sur certains arcs en utilisant un champ à renseigner dans le scénario d'aménagement.

Le cas inverse où l'on s'aperçoit qu'il manque des arcs peut aussi se présenter. On conseille alors d'utiliser une base de données géoréférencées plutôt que de dessiner et de renseigner l'arc à la main.

Si l'on considère qu'aucun arc ne mérite d'être enlevé ou ajouté, il faut travailler sur la répartition du trafic. Il faut alors apprécier s'il existe un déséquilibre global entre les différents types de réseaux. Par exemple, il faut vérifier avec le réseau 30 000 arcs si les autoroutes sont délaissées au profit des réseaux secondaires, car les traversées de petites agglomérations ne sont souvent pas représentées.

Si l'on se rend compte que les types de routes sont correctement codés, et que le modèle donne un déséquilibre de trafic entre les types de routes, il est recommandé de modifier de façon globale les caractéristiques des arcs, éventuellement à l'aide de la table de typologie, en jouant sur les malus ou les temps à vide, afin d'obtenir des résultats plus proches de ce qu'on peut raisonnablement attendre.

Pour terminer, soulignons que le niveau de finesse de la description du réseau est un élément à faire valider par le maître d'ouvrage, qui doit aussi se reconnaître dans la description de son réseau routier.

5.2 - Positionnement des connecteurs de centroïdes

Le positionnement des connecteurs est un élément à ne pas négliger. En effet, un mauvais positionnement peut entraîner une représentation fautive de l'utilisation du réseau car il peut y avoir un court-circuit de certains arcs, ou à l'inverse, des surcharges de trafic proches des connecteurs qui viennent modifier les chemins empruntés et la répartition des usagers en transit.

Il est pratique d'utiliser une méthode de connexion automatique des centroïdes au réseau. Cela permet de créer directement les arcs avec le type correspondant (pour les Modules Sétra de TransCAD, le type 30 dans la table SETRA_VDF [32] et de renseigner les centroïdes extrémités des connecteurs coïncidant avec l'identifiant des zones. Cette manipulation permet ensuite d'indexer la matrice de déplacement sur les ID des nœuds centroïdes.

Bien qu'il soit possible de paramétrer la méthode de connexion à l'aide de sélections sur les nœuds et les arcs à inclure et exclure, avec ou sans scission des arcs existants, les connexions automatiques ne donnent jamais un résultat pleinement satisfaisant pour toutes les zones et on préférera dans l'absolu les méthodes manuelles.

Si une méthode automatique est utilisée, il est fortement recommandé de vérifier les connecteurs, et on n'hésitera pas à les modifier par la suite. En effet, les outils de connexions automatiques connectent les centroïdes au réseau principalement sur des critères de distance au barycentre des zones, et non sur des critères géographiques permettant de localiser les sources et les puits de trafic.

Dans les zones proches du projet notamment, on évitera de brancher un connecteur directement sur une autoroute s'il est nécessaire de bien représenter la charge sur le réseau secondaire. A l'inverse, dans les zones relativement éloignées du projet étudié, il est recommandé de connecter les centroïdes directement sur les autoroutes ou sur les grands axes, afin de limiter le nombre des petites alternatives qui ralentissent la convergence du modèle.

Dans les cas où le territoire est mal connu, la localisation des tâches urbaines peut aider le modélisateur à choisir l'emplacement des connecteurs.

Dans certains cas, il peut être nécessaire, ou simplement judicieux d'utiliser plusieurs connecteurs sur une même zone : d'abord si le réseau est très saturé à proximité immédiate du connecteur, alors que ce n'est pas le cas dans la réalité, ensuite dans le cas d'une zone géographiquement très étendue pour laquelle on souhaite injecter la demande en plusieurs points. Les trafics au départ et à destination du centroïde choisiront les connecteurs au réseau en fonction des différents chemins possibles pour rejoindre l'autre extrémité du déplacement.

Si l'on connaît la répartition du trafic en ces différents points d'entrée et que l'on ne souhaite pas désagréger la matrice, on pourra jouer par exemple sur la longueur ou le temps de parcours à vide des connecteurs pour obtenir un résultat conforme à cette répartition.

Connecter une zone au réseau : exemple sur le cas de l'Italie dans un modèle national français

Entre l'Italie et la France, on peut, pour simplifier, se limiter à trois points de passage : les tunnels du Mont Blanc et du Fréjus, et Vintimille.

En l'absence de données sur le point de passage des véhicules ayant pour origine ou destination l'Italie, on peut créer un connecteur par point de passage pour relier la zone Italie au réseau routier français. Une solution alternative consiste à désagréger la zone Italie en trois zones, chacune représentant la "zone de chalandise" d'un des trois points d'entrée (*se référer pour cela au 3.2*).

5.3 - Connectivité et caractéristiques générales du réseau

Lors de la construction du réseau, mais aussi tout au long du processus de calage, des modifications ou corrections du réseau sont nécessaires. On parle du codage des arcs, c'est-à-dire le fait de renseigner les paramètres des arcs.

Une grande partie du travail à effectuer sur le réseau consiste à s'assurer que les paramètres des arcs reflètent la réalité. Ces vérifications ne constituent pas une étape à proprement parler puisqu'elles peuvent être effectuées à tout moment. Cependant, avant d'avancer dans le processus de calage, certaines vérifications permettent de repérer des erreurs de codage dès le départ.

La première vérification à faire est un test de connectivité du réseau.



Dans TransCAD, les commandes à choisir sont les suivantes : Tools > Map editing > Check Line Layer Connectivity. Le seuil à indiquer correspond à la distance en-dessous de laquelle TransCAD va chercher les arcs proches mais non connectés aux nœuds. On peut conseiller une distance seuil de 100m.

L'exemple type de l'erreur à corriger absolument est formée par deux arcs, dont les extrémités ne sont pas connectées, se terminant chacun dans le vide. Les autres points litigieux détectés doivent correspondre par exemple à des entrecroisements avec passage inférieur/supérieur, en d'autres termes il faut vérifier que lorsque deux arcs se croisent sans être connectés, la configuration est bien volontaire. De même, la vérification de nœuds codés comme des échangeurs alors qu'il n'y a pas d'échange possible dans la réalité doit être traitée le long des routes dénivelées.

De façon plus avancée, on peut également vérifier la connectivité du réseau et repérer d'éventuelles erreurs de codage à l'aide de cartes d'isochrones, réalisées à partir d'un ou plusieurs nœuds, en fonction de différents paramètres pris successivement, un par un : distance, temps de parcours à vide, coût monétaire après une première affectation, voire éventuellement en coût généralisé en choisissant une valeur du temps médiane.

Une seconde vérification importante passe par la visualisation d'une carte thématique du réseau selon le type de route (en couleur/en épaisseur/en type de trait), afin de contrôler visuellement le codage du type d'arc. Ces cartes permettent par ailleurs d'agrémenter les rapports d'études.



Dans le même esprit, on calculera le nombre de kilomètres par type de voies.
Dans TransCAD, Statistics/ Tabulation/ selon le champ Type).

Le champ "Type" sert par ailleurs à faire le lien entre la table des arcs et la table de typologie (voir la note de présentation de la table de typologie Sétra_VDF [32]). Comme son nom l'indique, cette table définit un certain nombre de types d'arcs, et permet de se référer à ces informations par défaut sans avoir à renseigner pour chaque arc tous les champs utilisés dans l'affectation et les bilans socio-économiques. Cette méthode simplifie grandement le codage des arcs et évite de nombreuses erreurs inhérentes aux manipulations et renseignements à la main.

5.4 - Sources de vérification détaillée de la typologie du réseau

Pour les vérifications générales citées précédemment, on fera utilement appel à certaines sources de données robustes permettant de confronter le réseau modélisé à une autre représentation du réseau réel. De manière non exhaustive, on peut notamment citer :

- les sources de l'Institut Géographique National (IGN) : Route 120, Route 500, BD Topo ;
- les données SIRNET, permettant le calibrage des voies du RRN ;
- les images satellites et/ou aériennes, au premier rang desquelles geoportail.fr de l'IGN, BD Ortho, et Google Maps/Google Earth ;
- les couches d'occupation des sols, afin de connaître les types de routes et les territoires traversés (Corine Land Cover par exemple) ;
- enfin les calculateurs d'itinéraires, parmi lesquels www.viamichelin.fr, www.mappy.com, ... [45]

Enfin, il est souvent nécessaire de faire une ou plusieurs reconnaissances du terrain. Ces reconnaissances permettent non seulement de vérifier le type des arcs, mais également de :

- affiner la description d'une section par rapport aux types d'arcs prédéfinis dans la table de typologie ;
- vérifier les limitations de vitesses réglementaires ;
- observer la signalisation de direction et d'interdiction, notamment les restrictions de circulation des poids lourds ;
- estimer le niveau de service de l'infrastructure, notamment la qualité de l'écoulement aux échangeurs et aux intersections ;
- mesurer les vitesses pratiquées et estimer les temps de parcours moyens.

5.5 - Renseignement du réseau en comptages

Les données de comptages sont loin d'être exhaustives. Pourtant, elles jouent un rôle clé dans le travail de calage. A l'étape de codage du réseau, il est conseillé de renseigner les arcs avec les comptages (si possible différenciés par classe de véhicules) disponibles qu'on aura pris soin de vérifier. Ils permettront dans un premier temps de comparer les volumes affectés aux volumes réellement observés, et éventuellement dans un second temps d'utiliser ces différences pour redresser la matrice OD et/ou calculer un préchargement.

5.6 - Ajustements de certaines caractéristiques du réseau

Une fois les vérifications de base réalisées, il s'agit d'ajuster au mieux les caractéristiques du réseau afin d'avoir une bonne représentation de la situation actuelle.

5.6.1 - Des ajustements possibles à différents niveaux

Deux niveaux d'ajustements sont possibles : localement, au niveau des arcs, ou globalement, au niveau de la table de typologie des arcs donc de la famille d'arcs :

- si de nombreux arcs nécessitent des ajustements, on s'orientera plutôt vers des modifications de la table de typologie ;
- si au contraire seuls certains arcs bien identifiés posent problème, on privilégiera des modifications locales.

Nous allons voir dans ce paragraphe quels sont les paramètres à ajuster selon le type d'anomalie détectée.



Pour plus de précisions sur la manière de renseigner les arcs pour l'utilisation des Modules Sétra de TransCAD, il existe une note intitulée *Quels paramètres renseigner dans le réseau routier ? [33]*, disponible sur le site modélisation du Sétra.

Dans les Modules Sétra de TransCAD, certains paramètres ne peuvent être modifiés qu'au niveau de la table de typologie [32]. Il s'agit des paramètres suivants de calcul des courbes temps-débit : gamma, alpha, et T* pour les autoroutes. Cependant, les effets de ces paramètres étant relativement difficiles à appréhender sur l'ensemble d'un réseau, les modifications de ceux-ci ne sont pas recommandées sans qu'un travail plus approfondi sur le paramétrage des courbes débit-vitesse ne soit réalisé.

Les paramètres que l'on peut ajuster au niveau des arcs peuvent être classés dans trois catégories : les paramètres génériques, les paramètres de calcul du temps à vide et les paramètres de calcul du temps en charge.

5.6.2 - Quelques recommandations pratiques pour les ajustements

Parmi les paramètres de coûts, on en distingue trois qui peuvent faire l'objet d'une attention particulière : les péages, les coûts de consommation de carburant et les malus.

5.6.2.1 - Péages

Dans les modèles, il existe en général dans la table de typologie un nombre limité de types d'arcs correspondant aux autoroutes concédées à péage. Cependant, le péage varie d'une autoroute à l'autre en niveau mais aussi en mode de perception. En effet, si le péage des infrastructures est en théorie calculé sur une base kilométrique, en pratique certains itinéraires peuvent coûter plus cher rapportés au kilomètre que d'autres selon si le paiement se fait au niveau de l'échangeur de sortie en fonction de l'échangeur d'entrée ou par le franchissement d'une barrière pleine voie où le tarif ne tient pas compte du point d'entrée et/ou de sortie du réseau à péage. Ceci a des conséquences sur les choix d'itinéraires et donc sur les trafics. Il faut donc apporter une grande attention au codage des péages, notamment sur le cœur de l'aire d'étude.



Dans le réseau 30 000 arcs, les champs relatifs aux péages routiers sont au nombre de quatre : pour les VL ou pour les PL, péage kilométrique ou péage ponctuel. Les péages kilométriques de la table de typologie ne sont à utiliser que pour les infrastructures éloignées du projet. Il est fortement recommandé de les caler sur les tarifs réellement observés sur le réseau concédé (et à rentrer en €2000, en utilisant l'indice des prix), en tenant compte des éléments suivants :

- un certain nombre d'usagers ne paient pas le péage ou sont remboursés. Si le modélisateur dispose du pourcentage d'usagers exonérés, il faut en tenir compte dans la valeur du péage implémenté ;
- il n'existe qu'une seule classe de PL, les différents tarifs pratiqués selon la taille des poids lourds sont donc à agréger pour avoir un tarif moyen par PL.

5.6.2.2 - Consommation de carburant

Il est également possible de tenir compte en théorie d'une consommation de carburant différenciée par arc ou par type d'arc. Lorsque l'on utilise ce type de paramétrage, il faut toujours se demander si la consommation de carburant a un impact sur le choix d'itinéraire. L'expérience montre que pour les PL, il est utile de s'intéresser aux variations de consommation, notamment en fonction de la pente. En revanche, pour les VL, la consommation de carburant ne semble pas jouer sur le choix d'itinéraire.

5.6.2.3 - Malus

Le dernier paramètre de coût est le malus d'inconfort et nous renvoyons le lecteur pour ce sujet au § 4.5 - *Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?*

Enfin, il est recommandé de ne pas modifier les valeurs par défaut des coûts d'entretien et de dépréciation des véhicules par km.

5.6.2.4 - Le temps à vide

Les pratiques montrent que le temps à vide est souvent un paramètre renseigné à dire d'expert alors qu'il peut faire l'objet d'un calibrage à l'aide de mesures de vitesse et de temps de parcours sur le terrain.

Il convient donc d'énoncer certaines réserves ou limites à l'utilisation des champs de temps à vide comme paramètres de calage renseignés à dire d'expert. Tout d'abord, la cohérence devient difficile à assurer d'une étude à l'autre, d'un modélisateur à l'autre, voire d'un Cété ou d'un bureau d'études à l'autre. Ensuite, on risque de diluer l'information au niveau des arcs alors qu'une intervention au niveau de la table de typologie aurait été souhaitable. Enfin et surtout, il existe un risque d'abus dans le paramétrage des temps à vide, qui ne doivent pas constituer l'outil principal de calage. Ainsi, on peut adopter une attitude différente en fonction de l'importance de l'itinéraire : pour les principaux, la modification sans relevé sur le terrain des champs temps à vide est à proscrire, elle peut en revanche être en première approche retenue pour les axes secondaires.

Il est par ailleurs dans tous les cas utile d'avoir dans le réseau un champ supplémentaire d'information correspondant au temps à vide de l'arc, à renseigner pour tous les arcs du réseau, afin de pouvoir calculer la charge de trafic issue de l'affectation (ratio temps en charge/temps à vide).



Pour les Modules Sétra de TransCAD, l'usage a montré que les paramètres permettant de calculer les temps à vide via les formules du Sétra, issues de courbes débit-vitesse interurbaines [32] (par exemple les champs Lcontr, VIR, Lr4, Relief) sont aussi difficiles à estimer que les vitesses à vide elles-mêmes. De plus, ces formules donnent par construction des estimations basées sur des moyennes à l'échelle nationale, qui sont de moindre précision que des mesures, voire même des estimations locales, de vitesse ou de temps de parcours. L'idéal est bien sûr d'avoir une connaissance fine des pentes et des traversées d'agglomération.

Pour le cas général, on recommande ainsi de s'intéresser surtout aux champs de temps à vide par kilomètre T0_VL et T0_PL (existant dans la carte 30 000 arcs). En général, il est plus intuitif de travailler avec des vitesses à vide. On rappelle ici qu'il s'agit de vitesses à vide moyennes sur toute la longueur de l'arc, et qu'en conséquence il convient d'intégrer les traversées d'agglomérations situées sur l'arc dans l'estimation de ces vitesses à vide. Pour limiter les erreurs liées au manque de familiarité avec les valeurs de temps à vide en minutes par kilomètre (T0), il peut donc être utile de travailler avec un champ des vitesses à vide V0 (en km/h). Il faut alors penser à recalculer les T0 (= 60/V0) à partir des vitesses à vide éventuellement modifiées avant chaque affectation.

Enfin, afin de faciliter l'opération répétitive de mise à jour du graphe de réseau, et surtout afin de ne pas oublier une étape du processus, le modélisateur peut créer une macro permettant à la fois de recalculer les champs T0 à partir des V0, puis de recréer un fichier réseau .net, avant de relancer une affectation (attention, sur autoroutes, le champ T0_VL doit être supérieur à 92km/h, sous peine d'erreur).

Les paramètres permettant le calcul des temps en charge peuvent être utilement modifiés dans le cas où le réseau est suffisamment chargé pour que ceux-ci aient une influence sur le calcul du temps de parcours. Nous allons parcourir ces différents paramètres dans les points suivants.

5.6.3 - Facteurs de concentration

Dans les modèles représentatifs d'une journée moyenne annuelle, on peut utiliser comme dans les Modules Sétra de TransCAD, des facteurs de concentration. Par définition, le facteur de concentration est le rapport entre le débit équivalent et le débit horaire moyen. Le débit horaire moyen est défini comme le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) divisé par 24. Quant au débit équivalent, il s'agit d'un débit horaire fictif représentant les conditions moyennes de circulation sur l'année. Il est défini à partir de la fonction débit-vitesse comme le débit horaire correspondant à un temps de parcours égal à la moyenne des temps de parcours pondérés par les débits horaires. Le débit équivalent dépend directement de la formulation de la courbe débit-vitesse et donc aussi du facteur de concentration. On définit un facteur de concentration par type de véhicules, VL ou PL et les deux facteurs, appelés généralement χ_{VL} et χ_{PL} , sont liés. Etant donné la moindre variabilité des trafics PL par rapport aux trafics VL, on cherche essentiellement à ajuster les facteurs de concentration VL.

On notera que le facteur de concentration n'est pas un facteur de passage entre le trafic moyen annuel et un débit horaire (qu'il soit moyen, d'heures creuses ou de pointe). Pour plus de détails, notamment sur la méthode de calcul des facteurs de concentration, on renvoie le lecteur vers la note d'information du Sétra [24].

Les facteurs de concentration ont un impact très important dans le calcul du temps en charge. Des études de calibrage des facteurs de concentration par type de voies ont été conduites par le Sétra pour renseigner une valeur standard dans la table de typologie des Modules Sétra. De manière générale, une très grande variabilité de ces facteurs est constatée. Un tableur Excel récapitulant les calculs de facteurs de concentration réalisés aux Côtés Normandie-Centre, de l'Est et Méditerranée est disponible en Annexe 3. On peut y constater des valeurs de facteurs de concentration VL oscillant entre 1,9 et 2,7 sur les 2x2 express ou les autoroutes non concédées, voire entre 1,9 et 3,3 sur les autoroutes concédées. Ces très fortes valeurs des facteurs de concentration s'expliquent facilement par la structure du trafic sur l'axe (trafic saisonnier sur A6 ou A13, pointes domicile-travail sur A31 à la frontière avec le Luxembourg, ...).

Il est finalement fortement recommandé de réaliser le calcul à partir des données horaires de trafic sur une période de recueil la plus étendue possible, afin de capter la variabilité journalière, hebdomadaire et saisonnière

du trafic. A minima, il semble indispensable d'effectuer ce calage pour les comptages SIREDO sur le RRN, les données nécessaires étant recueillies et conservées de manière standard en DIR.

Pour effectuer le calibrage des facteurs de concentration, le lecteur peut utilement se référer au document suivant : Valeur des facteurs de concentration par type de routes [34]. A noter que la valeur du facteur de concentration dépend du coefficient d'équivalence VL/PL, du paramètre α_{type_veh} et de χ_{PL} . Un calibrage est donc nécessaire si la courbe débit-vitesse est calée sur un jeu de données locales.

On note enfin que le coefficient d'équivalence VL/PL a vocation à être paramétrable au niveau des arcs, et qu'une méthode palliative est déjà disponible par la modification des facteurs de concentration VL/PL. Sa valeur par défaut dans la table de typologie est $E = 2,5$ ou 3 , mais il peut être un peu plus élevé pour les infrastructures où l'écart entre les vitesses VL et PL est important, comme sur une autoroute pentue.

5.6.4 - Courbe débit-vitesse

Actuellement, la formulation TransCAD des courbes débit-vitesse pour les types VL ou PL est celle d'une BPR (Bureau of Public Road) [1] selon la formule suivante :

$$\frac{T}{T_0} = 1 + \gamma_{type_veh} \times \left(\frac{trafic_equivalent}{capacite} \right)^{\alpha_{type_veh}}$$

où : T est le temps en charge moyen annuel, T_0 le temps de parcours à vide,

γ_{type_veh} , α_{type_veh} et capacité sont les paramètres de la courbe,

et trafic_équivalent est la transformation du TMJA en un trafic horaire représentatif des conditions moyennes de circulation via les facteurs de concentration χ_{VL} et χ_{PL} .

Les pratiques actuelles montrent que la capacité, quand elle est modifiée, est le plus souvent déterminée à dire d'expert. Quant aux paramètres γ_{type_veh} et α_{type_veh} , ils sont très rarement modifiés. Il existe pourtant des méthodes permettant de calibrer la courbe débit-vitesse. Elles nécessitent néanmoins un recueil de données difficile à mettre en place. Dans la pratique, on constate qu'un tel recueil n'est jamais effectué uniquement en vue d'alimenter un modèle d'affectation du trafic. Il faudra plutôt tirer parti de recueils effectués dans le cadre d'études plus larges, par exemple d'analyses de mise en œuvre de mesures de régulation dynamique du trafic.

Dans le cas où des données détaillées de comptages sont disponibles (a minima données 6 min de trafic et de vitesse moyenne harmonique, idéalement données individuelles contenant l'heure de passage, le type de véhicule, sa longueur et sa vitesse), les notes et ouvrages suivants pourront servir de point de départ pour le calibrage de la courbe débit-vitesse :

- fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Détermination du coefficient d'équivalence et de la capacité à partir des observations locales [19], et
- fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Détermination des paramètres de la fonction BPR (Bureau of Public Roads) du temps de parcours [20].

Ces deux notes se complètent pour exposer comment calibrer les paramètres de la courbe débit-vitesse selon la formulation définie dans les Modules Sétra de TransCAD [32] à l'aide de données débit-vitesse moyennes harmoniques 6 min.

La capacité et le facteur d'équivalence VL/PL sont tout d'abord évalués en sélectionnant les données à forte concentration de véhicules. L'examen porte sur la répartition des débits par classe de vitesses moyennes harmoniques, tous les 5 km/h par exemple.

Les données sont ensuite filtrées pour retenir les situations non congestionnées, c'est-à-dire présentant une concentration inférieure à une valeur seuil. L'estimateur du maximum de vraisemblance est utilisé pour calibrer les paramètres de la courbe BPR.

- *Trafic sur les routes express selon le diagramme fondamental*, traduction libre de *Verkehr auf Schnellstrassen im Fundamentaldiagramm* [23]. Dans ce papier, l'écoulement du trafic est distingué selon trois états : fluide, transition, saturation. L'état fluide est lui-même composé de véhicules circulant librement et de véhicules

circulant en colonnes. L'état de saturation contient des véhicules arrêtés et des véhicules redémarrant. Dans l'état de transition, enfin, les conditions de circulation oscillent entre l'état fluide et l'état saturé.

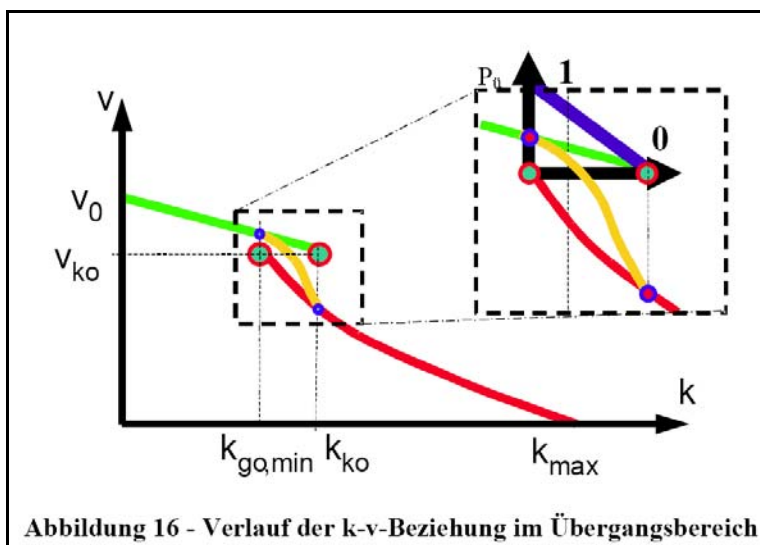


Figure 15 - Diagramme concentration k - vitesse v selon Wu [23]

Chaque état est décrit à l'aide de paramètres microscopiques, comme l'écart inter-véhiculaire moyen en colonnes, directement mesurables. Les courbes débit-vitesse macroscopiques résultantes peuvent donc être comparées aux prévisions du modèle pour valider celui-ci (Figure 11 - Analyse de la corrélation entre déplacements tous motifs et domicile-travail). Comme les Modules Sétra ne permettent que l'utilisation d'une formulation BPR des courbes débit-vitesse, celle obtenue à l'aide de cette méthode n'est pas utilisable en l'état : la méthode permet en revanche de déterminer γ_{type_veh} et la capacité en faisant un usage beaucoup plus approfondi des données avec une utilisation des recueils individuels.

- *A31 – Courbes débit-vitesse, Analyse de la station Kanfen* [35] . Les deux méthodes précédemment évoquées ont été appliquées sur les données de la station SIREDO Kanfen sur A31. Cette section autoroutière connaît des congestions récurrentes liées aux trafics de pointe du matin et du soir orientés respectivement vers et depuis le Luxembourg. Le graphique ci-dessous illustre l'adéquation des résultats du modèle de Wu [23] avec les débit-vitesse 6 min relevés sur la voie de droite.

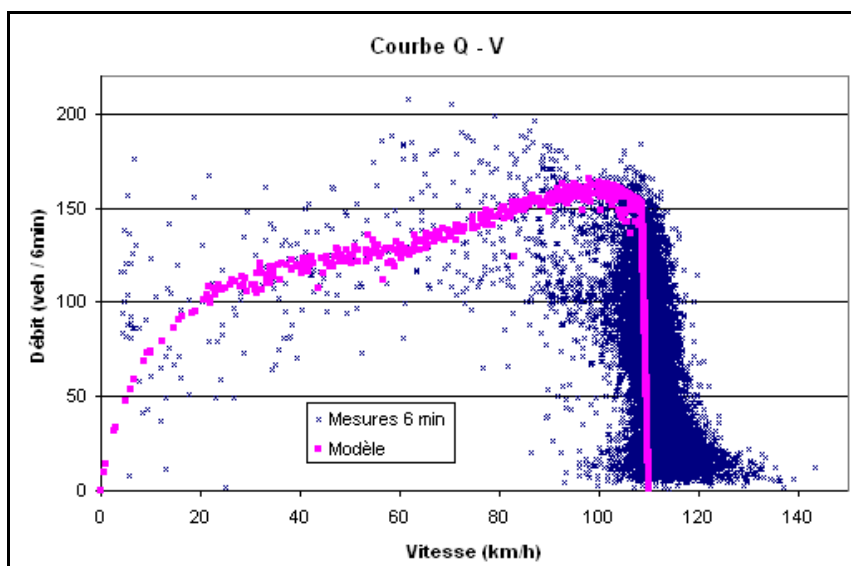


Figure 16 - Courbe débit-vitesse obtenue sur A31 - voie de droite, limitation de vitesse à 110 km/h et interdiction de dépasser PL [35]

Si les données pour effectuer le calibrage ne sont pas disponibles, le modélisateur pourra s'appuyer sur les éléments suivants comme référence pour la recherche de valeurs à dire d'expert des paramètres :

- calage du modèle de trafic VP lillois à l'aide des relations « temps de parcours - débits » calibrées sur le réseau de l'Île-de-France : tests de sensibilité [36]. Dans cette étude, la DDE du Nord a souhaité tirer parti de la

production des premiers résultats de calibrage des courbes débit-vitesse en Île-de-France pour les intégrer comme un des éléments de l'actualisation du modèle lillois. Les courbes connaissant de profondes modifications, différents scénarios sont testés, afin de détecter la combinaison de paramètres permettant d'aboutir au calage le plus satisfaisant du modèle. Les scénarios intègrent :

- différentes valeurs de la capacité par voie autoroutière : 1 800, 2 000 ou 2 200 uvp/h ;
- l'intégration des valeurs des paramètres obtenus lors du calage des courbes Davis sur les données disponibles en Île-de-France : non intégration, valeurs obtenues pour le réseau dénivelé et pour tous les types de voies ;
- la modification de ces courbes au-delà de la capacité en utilisant des puissances 8 ou 16 ;
- différentes valeurs de vitesse à vide selon le type de réseau.

En comparant les résultats d'affectation sur différents points du réseau dénivelé, l'étude permet de définir le scénario le plus pertinent et conclue que les « nouvelles courbes apportent une amélioration de la qualité de la simulation ».

- *réserve de capacité d'un itinéraire, Méthode de calcul* [22]. Ce document a été établi en vue de faciliter certains types d'études d'exploitation de la route. Ce calcul entre en œuvre lorsqu'on s'interroge sur la possibilité de détourner tout ou partie du trafic d'un itinéraire principal vers un itinéraire alternatif. Il s'agit de s'assurer que les itinéraires alternatifs disposent d'une réserve de capacité suffisante. La notion de réserve de capacité qui y est employée est tout à fait utilisable dans le cadre de l'affectation des trafics : "la capacité pratique de l'itinéraire, encore appelée débit de saturation, est la quantité maximale de trafic que peut supporter l'itinéraire sans dégradation excessive des conditions de circulation". L'intérêt principal du document est d'évoquer d'une part la notion de point dur, reliée principalement au fonctionnement des carrefours ou au passage de barrières de péage, d'autre part d'évoquer l'importance de la répartition du trafic horaire par sens pour les routes bidirectionnelles. Ainsi, les recommandations principales concernent :

- les carrefours à feux. Le débit d'une entrée doit être transformé en débit équivalent en tenant compte de la gêne plus ou moins prononcée pour certains types de mouvements (type tourne-à-gauche). Les coefficients de conversion sont fournis dans le document. La capacité d'une entrée est quant à elle donnée par :

$$C = N \times \frac{V_e}{C_y} \times Q_s, \text{ avec } N \text{ le nombre de voies, } V_e \text{ la durée de vert par cycle pour l'entrée}$$

considérée, C_y la durée du cycle et Q_s le débit de saturation (compris entre 1 500 uvp/h en interurbain et 1 800 uvp/h en milieu urbain dense) ;

- les giratoires. La capacité est fonction du débit gênant, lui-même calculé en fonction du débit sortant, du débit tournant, de la largeur de séparation de l'îlot et de la largeur de l'anneau. Elle fait également intervenir la largeur de l'entrée. La formule est la suivante : $C = (1330 - 0,7Q_g) \times (1 + 0,1[Ent - 3,5])$, avec Q_g le débit gênant et Ent la largeur de l'entrée en mètres ;
- les pertes de priorité, les tourne-à-gauche ;
- les barrières de péage, en fonction du type de paiement (péage ouvert ou fermé, paiement en espèces, par carte, télépéage).
- tableau de détermination des capacités des voies selon l'intersection ci-après. L'analyse du fonctionnement des carrefours peut s'avérer importante pour les modèles interurbains. Le tableau suivant propose de corriger en première approximation la capacité des entrées des carrefours, en l'absence d'informations ou de recueils terrain. La capacité de base est de 1 800 uvp/h pour 100 % de feu vert, même si des comptages récents de 2009 révèlent que la capacité de base est plutôt de 2 000 uvp/h aujourd'hui sur les VRU. Les estimations correspondent à un carrefour à 4 branches simples (sauf autoroutes et VRU). Pour un carrefour à feux, on tient compte des temps morts et des piétons via une base de capacité de 1 500 uvp/h. On considère un giratoire comme carrefour à feux.

Données pour 1 voie		Autoroutes et VRU	Boulevards, avenues primaires	Rues secondaires	Rues tertiaires	Dessertes
Types de voies	Variables					
Autoroutes	Pourcentage feu vert	100 %				
	Capacités	1 800				
	Vitesses à vide	130				
VRU	Pourcentage feu vert	100 %				
	Capacités	1 800				
	Vitesses à vide	90 à 110				
Boulevards, avenues, voies primaires vers →	Pourcentage feu vert		50 %	60 %	70 %	70 %
	Capacités		750	900	1 050	1 050
	Vitesses à vide		60	60	70	70
Voies secondaires vers →	Pourcentage feu vert		40 %	50 %	60 %	60 %
	Capacités		600	750	900	900
	Vitesses à vide		50	50	60	60
Voies tertiaires vers →	Pourcentage feu vert		30 %	40 %	50 %	50 %
	Capacités		450	600	750	750
	Vitesses à vide		40	45	50	50
Dessertes vers →	Pourcentage feu vert		20 %	25 %	30 %	40 %
	Capacités		300	375	450	600
	Vitesses à vide		30	35	40	45
Bretelles, échangeurs vers →	Pourcentage feu vert	*****	40 %	50 %	60 %	70 %
	Capacités	750 à 1 000	600	750	900	1 050
	Vitesses à vide	70	60	60	60	60
STOP vers →	Pourcentage feu vert		0 %	0 %	0 %	0 %
	Capacités		200	250	300	350
	Vitesses à vide		25	30	35	40

Tableau 15 - Premières estimations des capacités et vitesses à vide des voies aux intersections

Cette situation peut être illustrée par le cas particulier du pont de Tancarville, situé sur un itinéraire interurbain majeur (axe Le Havre - Rouen, cf. carte suivante). Dans le sens ouest-est, l'accès au pont depuis l'autoroute A131 passe par un giratoire avec une seule voie en entrée. Cette configuration conduit à l'apparition de remontées de files en heures de pointe du soir, qui peut inciter certains usagers à chercher des itinéraires alternatifs.



Figure 17 - Pont de Tancarville - effet de la configuration d'un carrefour sur un itinéraire interurbain

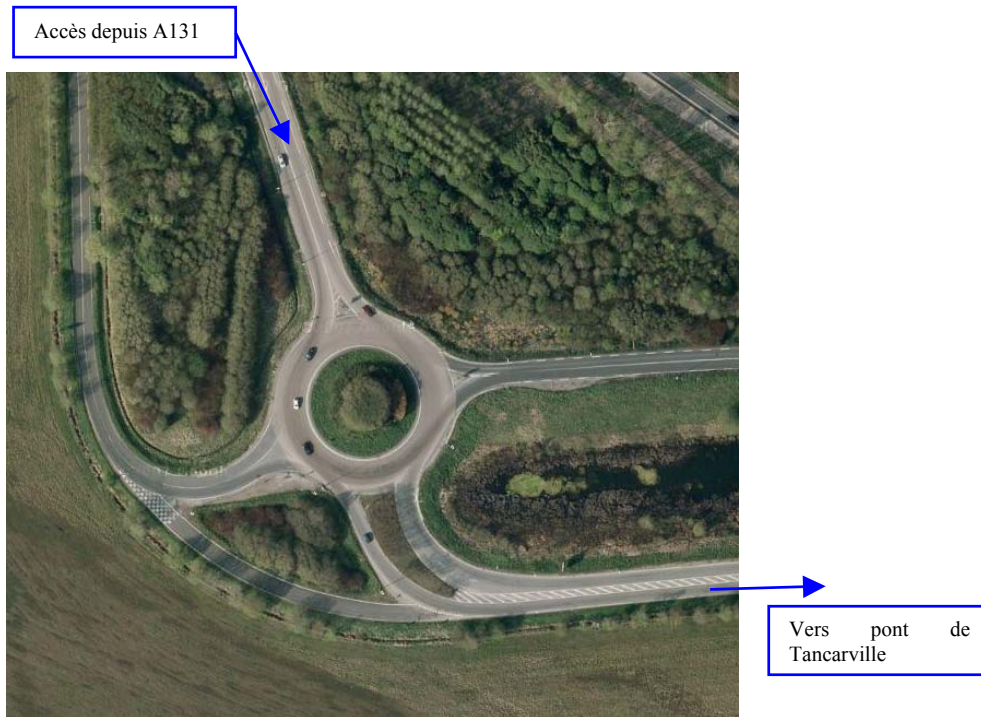


Figure 18 - Giratoire d'accès à l'A31

- *Model Validation and Reasonableness Checking Manual*, p 86-87 [8] : référence à des propositions de modifications des paramètres de la BPR pour un meilleur fonctionnement dans les modèles d'affectation. L'utilisation des courbes BPR est analysée en détails en ce qui concerne leur comportement dans un modèle d'affectation. Les auteurs reprochent à la fonction utilisant les paramètres type ($\gamma_{\text{type_veh}} = 0.15$ et $\beta_{\text{type_veh}} = 4$) d'être peu adaptée : pour des trafics faibles, aucun effet du trafic sur les temps de parcours n'entre en compte, tandis que l'effet devient exponentiel au-dessus du seuil de capacité. Ceci pourrait conduire à une mauvaise convergence liée aux arcs congestionnés. Les courbes BPR ont donc été re-calibrées pour qu'elles correspondent à un meilleur compromis entre le fonctionnement du modèle et les observations, en se basant sur une capacité maximale de 1 800 véh/h. Le tableau et le graphique suivants synthétisent ces résultats, en les comparant aux valeurs pour les autoroutes interurbaines et les VRU préconisées par le Sétra (en jaune dans le tableau, pour les 2x2 voies) :

Type de voie	Freeway			Multilane			Autoroute Interurbaine		VRU
Vitesse de design	113 km/h	97 km/h	80 km/h	113 km/h	97 km/h	80 km/h	130 km/h	110 km/h	
$\gamma_{\text{type_veh}}$	0,88	0,83	0,56	1	0,83	0,71	0,41	0,18	0,41
$\beta_{\text{type_veh}}$	9,8	5,5	3,6	5,4	2,7	2,1	4	4	4

Tableau 16 - Recommandations du *Model Validation and Reasonableness Checking Manual* pour la modification des courbes BPR

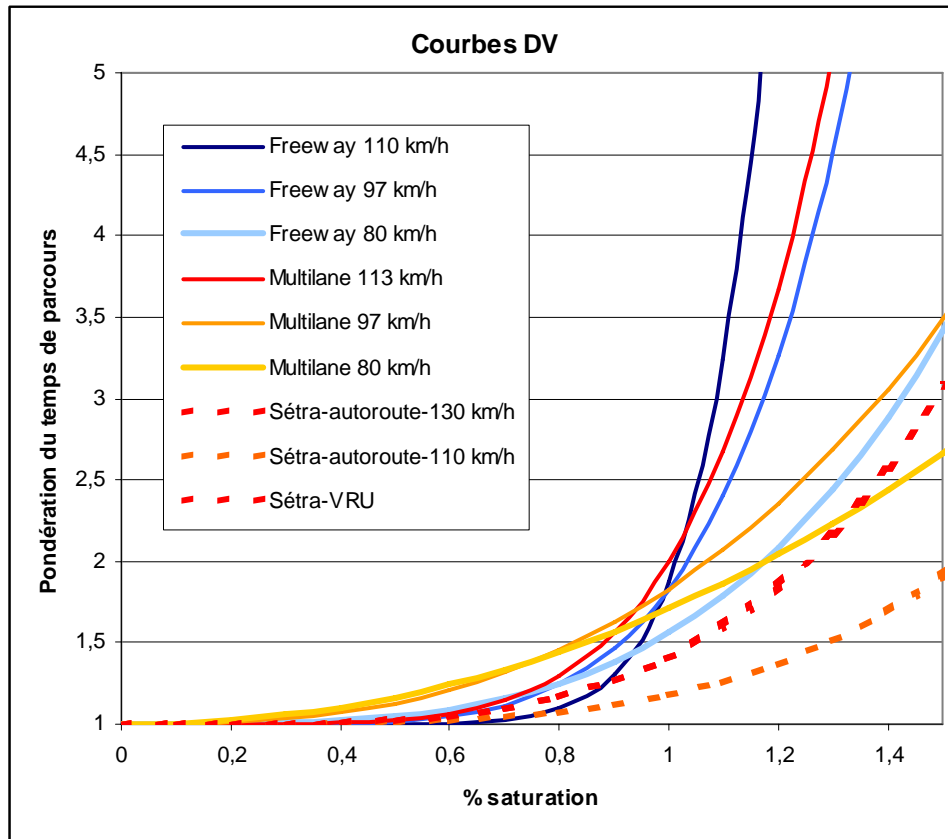


Figure 19 - Courbes BPR modifiées par le Model Validation and Reasonableness Checking Manual

Les courbes proposées par le FHWA [8] montrent une prise en compte claire de la vitesse de dimensionnement : à pourcentage de saturation égal, la vitesse diminue en proportion nettement plus fortement sur les autoroutes les plus rapides. La courbe FHWA se rapprochant le plus des courbes du Sétra est celle pour une "Freeway" de vitesse de dimensionnement à 80 km/h, qui est comparable à la courbe Sétra des autoroutes interurbaines à 130 km/h. Par ailleurs, les courbes Sétra sont similaires sur VRU et sur les autoroutes interurbaines, alors que la distinction entre les "Freeway" et les "Multilane" apparaît nettement dans les recommandations du FHWA [8]. Ces interprétations sont à prendre avec précaution, les comportements américains n'étant pas transposables aux comportements français. De même, l'idée de déformer les courbes utilisées en exploitation pour améliorer le comportement du modèle d'affectation est séduisante. Son usage doit cependant se concentrer sur la forme que prend la courbe au-delà de la saturation, partie qui n'est pas mesurée, et chercher le meilleur compromis possible avec la reproduction d'observations avant la saturation.

Chapitre 5

Phase II : vérification du comportement à vide du modèle d'affectation

Cette phase consiste à réaliser les premiers calculs d'affectation, qui vont permettre de faire certaines vérifications de base, et de s'appropriier le modèle dans son fonctionnement initial, à vide, c'est-à-dire sans tenir compte de la charge de trafic sur le réseau. Cette phase permet également d'identifier les zones où la congestion devra apparaître pour représenter correctement les choix d'itinéraires.

Cette étape peut commencer dès lors qu'une première version du réseau est construite en correspondance avec le zonage.

1 - Objectifs

Le but de cette étape est de voir comment les usagers se répartissent sur le réseau sans contrainte de charge. Cette étape est essentielle pour ensuite comprendre comment la congestion doit être modélisée.

Avant d'avancer dans le calage, on peut distinguer un cas particulier de modèle dans lequel le réseau est très peu chargé. L'ensemble des volumes de la matrice de demande est alors relativement faible par rapport aux capacités des infrastructures. Dans cette situation, les temps de parcours sur le réseau chargé sont très proches des temps de parcours à vide et le calage est largement facilité, car il est possible de déterminer les choix d'itinéraires grâce aux coûts et aux temps de parcours directement via les temps de parcours à vide (avec l'hypothèse très vraisemblable que les effets de la nouvelle affectation sur les temps de parcours en charge sont négligeables). Par exemple, un modèle comportant uniquement des PL entrera vraisemblablement dans cette catégorie.

Dans ce cas particulier, il est possible de caler le modèle en travaillant uniquement avec des matrices représentatives d'une OD et en étudiant ces OD. Cette méthode pour le calage révèle alors un grand intérêt. Dans le cas général, on pourra réaliser ce type d'analyse mais l'on ne s'attardera pas sur cette phase. A partir d'une matrice fictive ou très incomplète, il est en effet difficile de tirer des conclusions. Cette étape peut être effectuée par exemple dans le cas où la matrice est en attente d'être finalisée par un tiers.

Dans tous les cas, elle apporte une aide pour la suite du calage, dans le sens où le chargé d'études aura déjà une connaissance de l'affectation à vide de son modèle. Avec le modèle prix-temps, les itinéraires les moins chers vont être chargés en priorité. Il sera nécessaire d'augmenter les temps de parcours sur ces itinéraires les moins chers afin que les usagers se répartissent sur les itinéraires plus chers. Dès cette étape, on peut se faire une idée des temps de parcours qu'il faudrait obtenir pour avoir une répartition convenable des trafics à valeur du temps fixée ou inversement.

Les premiers tests d'affectation recommandés sont les suivants, dans l'ordre croissant de complexité qui permet également de vérifier le bon paramétrage de l'affectation prix-temps dans les Modules Sétra :

- affectation d'une matrice vide ;
- affectation d'une matrice unitaire : valeur 1 (ou 0,1) dans toutes les cases de la matrice ;
- affectation par OD ou groupe d'OD.

2 - Quelques sources d'erreurs à vérifier dans la phase II

Dans les logiciels de modélisation, l'affectation de trafic est l'une des procédures informatiques les plus complexes. En effet, elle fait à la fois appel aux données d'offre, à la demande, et aux paramètres d'affectation. Parmi les nombreuses erreurs possibles de l'affectation, on peut identifier les sources suivantes :

- la connectivité du réseau ;
- la connexion de la matrice au réseau ;
- le paramétrage du graphe de réseau (fichier network dans TransCAD) ;
- la prise en compte des champs du réseau ;
- et les autres erreurs possibles dans le paramétrage de l'affectation.



Des méthodes de vérification de ces sources d'erreur sont données dans les paragraphes suivants et illustrées sur l'exemple des Modules Sétra de TransCAD.

2.1 - La connectivité du réseau



La vérification de la connectivité du réseau est détaillée au § 5.3 - *Connectivité et caractéristiques générales du réseau*. La méthode à utiliser dans TransCAD y est présentée.

Une autre vérification qui peut être effectuée consiste à s'assurer qu'aucun message d'erreur n'apparaît à l'issue de l'affectation, notamment ceux du type : "Pas de chemin trouvé entre l'origine ID_nœud_O et la destination ID_nœud_D".

De manière plus avancée, il est également possible de vérifier la connectivité du réseau à l'aide de carte isochrone, sur divers critères (coût, temps à vide, coût généralisé à calculer avec une valeur du temps moyenne).

2.2 - La connexion de la matrice au réseau

L'indexation de la matrice est le principe de numérotation des lignes et des colonnes de la matrice. En cas d'erreur sur celle-ci, la procédure d'affectation donne un résultat qui peut sembler plus ou moins aberrant. On peut vérifier que les volumes de trafic affectés sur quelques connecteurs de centroïdes correspondent bien aux volumes de la matrice en entrée. Une autre vérification saine consiste à vérifier que le total de trafic affecté sur les connecteurs est égal au total de la matrice OD.



Pour l'affectation dans TransCAD, ces numéros doivent correspondre aux ID des nœuds du réseau qui ne coïncident pas toujours avec les numéros de zones. La manipulation qui permet de modifier l'indexation de la matrice est présentée dans le guide d'utilisation de TransCAD.

2.3 - Le paramétrage du réseau



Dans TransCAD, le fichier network (correspondant au graphe de réseau) peut être construit à partir d'une sélection d'arcs. Les arcs qui ne sont pas dans cette sélection ne seront pas empruntés. Cette technique est déconseillée car il est facile de modifier accidentellement la sélection ou d'oublier de l'indiquer lors de la création du network. De plus, les sélections ne sont pas systématiquement enregistrées dans le fichier géographique ce qui pourra donc poser problème lors du transfert d'une étude entre deux ordinateurs.

Lors de la création du network, il est important de préciser la sélection des nœuds centroïdes si l'on souhaite que ceux-ci ne soient pas traversés par le trafic.

De plus, dans les Modules Sétra, le fichier network est mis à jour automatiquement à partir du champ obligatoire AB_Base/BA_Base : les arcs renseignés à 0 sont fermés, ceux à 1 sont ouverts. Le fichier network est ensuite mis à jour en fonction du scénario d'aménagement sélectionné :

- des opérations qu'il contient et de leur année de mise en service si elles sont inférieures ou égales à l'année d'affectation ;
- des champs interdiction de circulation VL ou PL éventuellement indiqués dans l'onglet options.

On peut faire certaines vérifications à partir du fichier réseau enregistré en sortie d'affectation. Ce fichier nommé *Network_(Année)-(ID aménagement)-(Nom aménagement).net* est placé dans le même répertoire que le fichier de résultats par arc. On peut par exemple vérifier le nombre d'arcs unidirectionnels (les arcs bidirectionnels comptent pour 2, soit en général 2 fois le nombre d'arcs dans le fichier géographique). On peut également lancer un calcul de plus courts chemins (Multiple Paths...) à partir de la sélection des centroïdes, et vérifier que la matrice obtenue ne comporte pas de case vide (afficher Count dans les Marges ou Matrix Statistics). Les cases non renseignées indiquent qu'il n'y a aucun chemin pour cette OD.

Les OD qui ne trouvent pas de chemins doivent également apparaître dans le rapport d'affectation. (non fonctionnel dans la version 6.21 des Modules Sétra).

2.4 - La prise en compte des champs du réseau

L'erreur la plus courante avec l'utilisation de TransCAD consiste à oublier de mettre à jour le graphe de réseau (fichier network) après une modification du réseau avant de lancer l'affectation. Un utilisateur peut alors avoir l'impression, à tort, que son ajustement du réseau est sans effet sur l'affectation.



Une autre erreur classique avec les Modules Sétra de TransCAD est liée à la règle de priorité entre le champ péage et le champ péage kilométrique. On rappelle que ce dernier est pris en compte seulement sur les arcs concédés. Si les deux champs sont renseignés pour un arc concédé, alors le péage kilométrique est retenu sauf si le péage (non kilométrique) renseigné au niveau de l'arc est strictement positif. On renvoie vers le guide d'utilisation des Modules Sétra pour plus de détails [4].

2.5 - Les paramètres d'affectation à utiliser avec les Modules Sétra



Pour les affectations de calage, on s'assurera que le scénario d'affectation est correctement renseigné, en particulier au niveau :

- du scénario de cadrage économique (sinon les malus et valeurs du temps restent en valeur à l'année 2000) ;
- du scénario de croissance de la demande, en fonction de l'année des trafics de la matrice ;
- de la table de typologie utilisée, en s'assurant qu'il s'agit bien de la plus récente diffusée par le Sétra (ou du moins que celle retenue est basée sur celle-ci) ;
- des champs de péage et de péage kilométrique au niveau du réseau, en particulier pour les arcs concédés.

Une itération suffit dans un premier temps (surtout si les temps de calcul sont longs) et seul le fichier de sortie des résultats par arc est nécessaire à ce stade.

3 - Techniques et outils d'analyse

3.1 - Les enseignements à tirer de différents types d'affectations

3.1.1 - Affectation d'une matrice OD vide

L'affectation d'une matrice OD vide sert principalement à s'assurer de l'absence d'erreurs dans le paramétrage de cette procédure. Elle permet notamment de calculer les temps à vide sur l'ensemble des arcs du réseau, d'en déduire les vitesses à vide puis d'en tracer une carte pour vérification du codage des arcs.

On peut ensuite renseigner deux champs dans le réseau (par exemple, T0_VL_info et T0_PL_info) qui permettront de calculer le ratio du temps en charge sur le temps à vide (T_c/T_0) à l'issue de l'affectation. Ce ratio donne une idée de la charge de trafic et des pertes de temps liées aux surcharges de trafic. Il est complémentaire du ratio Volume/Capacité (V/C) qui peut permettre d'estimer les réserves de capacité mais sans tenir compte des facteurs de concentration.

3.1.2 - Affectation de flux fictifs

On peut procéder à l'affectation d'une matrice OD unitaire (avec la valeur 1 dans toutes les cases), notamment dans le cas où la matrice OD définitive n'est pas encore constituée ou stabilisée.

L'analyse de la première itération permet d'observer les arcs où s'affecte le trafic en priorité sur le réseau à vide. Il faut alors porter une attention particulière aux arcs du réseau restés vides à cette étape. Si ces derniers sont

supposés attirer du trafic une fois le modèle en charge, il faut se demander si la charge de trafic est suffisante pour reproduire cette situation ou s'il est nécessaire de revoir le codage du réseau.

On peut imaginer de nombreuses variantes d'affectation de flux fictifs, par exemple avec des préchargements généralisés égaux aux comptages, qui peuvent aider à mieux comprendre comment le modèle reconstitue la congestion pour mieux prendre en compte ses effets.

Cette affectation sert à analyser le zonage : Quel niveau de finesse d'affectation permet-il ? Faut-il découper des zones pour obtenir du trafic sur certains itinéraires ? Les zones sont-elles connectées de manière satisfaisante au réseau ?

3.1.3 - Affectation à vide de la matrice OD

L'affectation à vide (résultante d'un calcul avec une seule itération) permet de connaître les arcs vers lesquels se dirigent les usagers par défaut : même si la proportion de trafic qu'ils attirent diminuera avec la charge, ils attireront toujours des usagers. Ainsi, cette affectation doit déjà permettre d'identifier les arcs sur lesquels on ne devrait avoir aucun trafic.

Ensuite, cette première affectation permet de s'interroger sur les effets souhaités de la congestion : Permet-elle de rétablir les équilibres ? Où faut-il en avoir ? Est-ce réaliste ? Si la prise en compte des effets de la congestion semble insuffisante, la concurrence entre types de voies peut être analysée : si certains types d'itinéraires sont systématiquement favorisés ou défavorisés, une remise en question de la table de typologie peut s'imposer. Pour certains secteurs, les éléments de la phase I peuvent être examinés spécifiquement, notamment :

- si les choix d'itinéraires à l'origine ou à la destination de certaines zones sont trop marqués, un découpage du zonage peut être envisagé ;
- si les choix d'itinéraires globaux entre macrozones sont corrects, mais que les trajets finaux sont insatisfaisants, le zonage est trop fin par rapport à la connaissance de la demande ou la méthode de désagrégation de la matrice n'est pas adaptée ;
- sans des cas de concurrences spécifiques entre axes (passage par une traversée d'agglomération ou par une déviation par exemple), les erreurs d'affectation permettent d'identifier les arcs pour lesquels une vérification de la description est souhaitable, passant éventuellement par une reconnaissance terrain, voire un recueil de données ;
- ses trous dans la carte d'affectation, les lignes-écran non reproduites, les discontinuités de reproduction du trafic sur un itinéraire permettent de repérer des couples d'OD sur lesquels la construction de la matrice doit être améliorée.

Enfin cette affectation sert de référence pour jauger l'effet de la congestion sur la qualité du modèle : permet-elle de faire progresser fortement l'indicateur d'amélioration du modèle (cf. 4.3 -) ?

3.1.4 - Affectation par OD ou groupe d'OD

Dans le cas d'un modèle qui fonctionne à vide, par exemple un modèle PL, on peut travailler avec une matrice composée d'une seule ou de quelques OD regroupées selon leur positionnement géographique, comme les OD en transit nord-sud, puis est-ouest par rapport à la zone d'étude. L'intérêt est de pouvoir caler le réseau sans avoir à utiliser les outils d'analyse des chemins, puisque le résultat d'affectation donne directement la répartition de l'OD ou du groupe d'OD sur le réseau.

On peut également ajouter dans la matrice une OD spécifique entre deux points pour analyser les choix d'itinéraires entre ces deux points. Cela permet de caler le réseau et/ou les paramètres d'affectation de manière localisée.

A ce stade, le modélisateur peut opter pour les mêmes techniques de consolidation que celle présentées pour la phase I § Principes de constitution du zonage. Pour des méthodes plus avancées, le lecteur se reportera au § 4.4 - pour le calage spécifique à une OD ou à un groupe d'OD.

3.2 - Outils d'analyse

3.2.1 - Réalisation d'une carte de résultat d'affectation

Les cartes de résultats d'affectation permettent de visualiser très rapidement comment se répartit le trafic sur le réseau. Cette analyse très classique est riche d'enseignements. La carte des trafics affectés montre les principaux axes empruntés qui doivent être par exemple les autoroutes pour un modèle interurbain. A l'inverse, cette carte montre aussi quels sont les arcs qui ne sont pas empruntés.

Dans TransCAD, une fois terminée l'affectation, on réalise cette carte thématique à l'aide d'un *Scaled Symbol Theme* sur les deux champs de trafic VL et PL (AB/BA : dual fields cochée). On note que l'analyse est beaucoup plus difficile avec le mélange des VL et des PL dans le champ uvp (Unité de Voiture Particulière). Il est possible de représenter les VL et les PL simultanément comme le montre l'illustration ci-dessous.

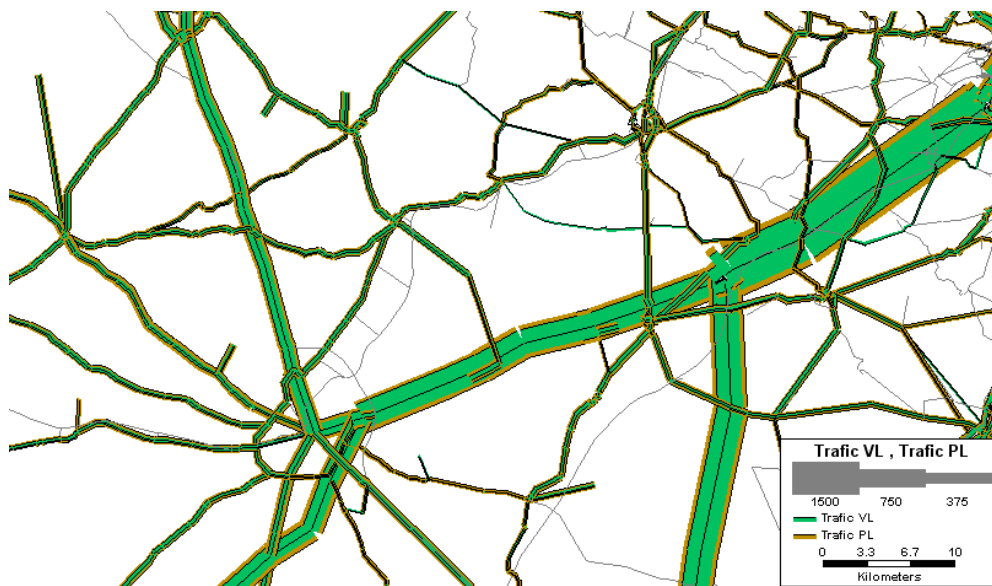


Figure 20 - Exemple d'une analyse de résultats d'affectation avec les Modules Sétra de TransCAD

Lorsque plusieurs affectations ont été calculées, le nom du champ est précédé de :

- [link_flow] : pour la première affectation lancée,
- [link_flow :1] : pour la seconde affectation lancée,
- [link_flow :i] : pour la (i+1) ème affectation lancée.

Le paramétrage automatique (Map Wizard) est utile pour déterminer une première échelle (High Value), à ajuster éventuellement ensuite à la zone visualisée. Le fait de définir la taille 1 pour les plus petites valeurs permet de bien distinguer les arcs peu empruntés des arcs à trafics égaux à zéro.

Si l'on souhaite différencier le type des arcs par leur couleur, on peut utiliser une analyse thématique par couleur (Color Theme) sur un champ du réseau. Il est souvent nécessaire de jouer sur l'affichage des sélections, le plus simple étant de toutes les désactiver, et le style de l'analyse thématique par proportionnalité (Scaled Symbol Theme).

Sur cette carte, les arcs apparaissant comme ceux de la couche de base, ici en trait fin gris, n'ont pas du tout de trafic.

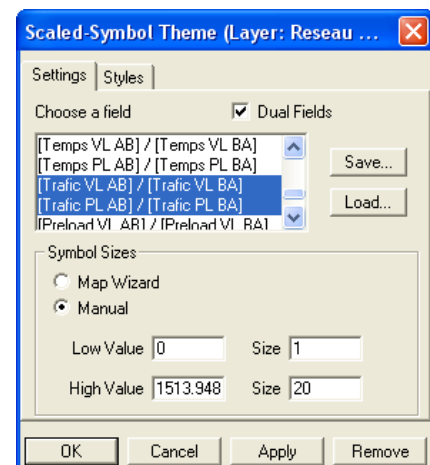


Figure 21 - Paramétrage de l'analyse thématique des trafics dans TransCAD

On peut également ajouter sur cette carte des étiquettes indiquant les niveaux de trafics, en utilisant la macro TMJA qui calcule le Trafic Moyen Journalier Annuel deux sens confondus, à partir des champs résultats (en trafic horaire par sens), le pourcentage PL et met en forme ces informations dans un champ Etiq, prêt à être affiché sur la carte.

3.2.2 - Analyse de chemin

Un outil essentiel pour le calage des modèles de trafic interurbain réside en l'analyse des chemins.



L'outil disponible dans les Modules Sétra de TransCAD, appelé "Outil d'analyse de chemins" est présenté dans le guide d'utilisation des Modules Sétra de TransCAD [4]. Une version améliorée de cet outil, qui permet

de créer des systèmes d'itinéraires (Route Systems) comme sur l'image ci-dessous, est disponible sur le site des utilisateurs de TransCAD.

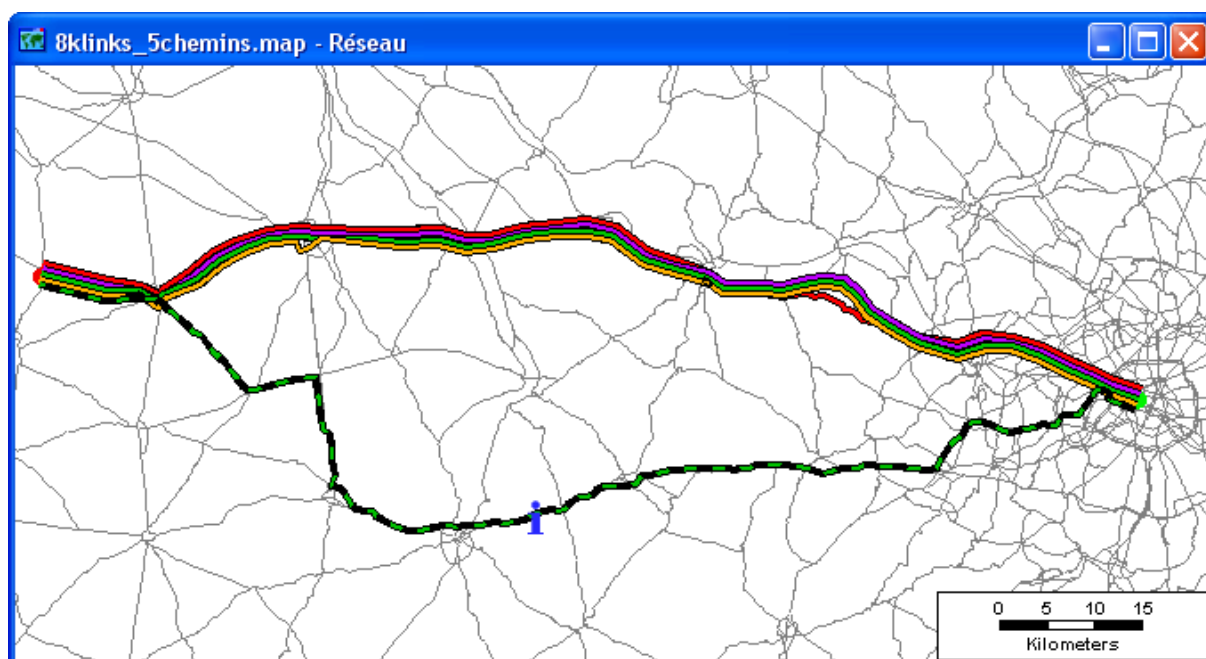


Figure 22 - Exemple d'une analyse de chemins avec les Modules Sétra de TransCAD

Ce type d'outil permet d'analyser les chemins empruntés par les trafics d'une OD sur l'ensemble des itérations et sur chacune d'entre elle, afin de comparer leurs proportions d'utilisation à des répartitions connues des usagers entre itinéraires concurrents. Il offre la possibilité de mettre en pratique les techniques de calage réalisées au niveau des corridors présentées dans la section 4 - *Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors* de la phase III.

3.2.3. - Analyse de chevelu et matrice résultant d'une requête

Il existe d'autres outils pour analyser les répartitions entre itinéraires comme ceux d'analyse aux nœuds et chevelus.



Dans TransCAD, cet outil donne les trafics qui empruntent un ou plusieurs arcs et/ou nœuds que l'on a définis à l'aide d'une requête. Cela permet par exemple de connaître l'origine et la destination de tous les trafics passant par un arc.

Une technique de calage consiste à comparer aux données observées la matrice OD des trafics affectés passant par un point d'enquête. On peut ensuite calculer l'indicateur GEH entre les matrices observées et affectées (cf. Chapitre II § 1.3.1 - Les indicateurs). Cette comparaison doit se faire sur la base d'un zonage agrégé qui permette de comparer les résultats du modèle avec des données issues d'enquêtes suffisamment fiables.

Chapitre 6

Phase III : vérification des résultats d'affectation et ajustements itératifs des paramètres

1 - Hiérarchie des tâches à effectuer

La démarche proposée procède selon une progression de l'échelle de vérification du "global" vers le "local" : il est judicieux d'obtenir les meilleurs résultats possibles avec un modèle générique, de telle sorte que la base de départ soit la plus stable possible, avant d'entrer dans les ajustements tenant compte des spécificités ou contraintes très localisées.

Cette démarche descendante peut être interprétée en fonction des données de vérification utilisées à chacune de ces échelles :

- pour la vérification "globale" du modèle, les résultats d'affectation sont à comparer aux comptages. Ceux-ci doivent être collectés le plus exhaustivement possible afin de bien cerner les limites du modèle ;
- la vérification par corridor répond plutôt à une logique de chemins : il s'agit de s'assurer que la répartition entre itinéraires obtenue par le modèle pour certaines OD ou certains groupes d'OD, identifiés spécifiquement, est satisfaisante ;
- enfin, la vérification "locale" est centrée sur des données spécifiques, qui font l'objet d'un recueil de données ad hoc.

Tâche globale	Tâche détaillée	Ordre	Cas d'application	Page
Vérification de la convergence	Critères de convergence	1	Tous modèles	101
	Ecart entre l'itération finale N et l'itération N+1	1	Tous modèles	101
Analyse globale du modèle vis-à-vis des comptages	Cartes générales d'affectation	1	Tous modèles	103
	Indicateurs de calage	1	Modèles régionaux à demande complète De manière spécifique sur les modèles régionaux basés sur des enquêtes OD	107
	Préchargements	2	Modèles à demande incomplète	110
Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors*	Temps de parcours	2	Tous modèles	112
	Présence de congestion	2	Tous modèles	
	Valeurs du temps	4	Tous modèles	
	Malus	4	Tous modèles	
	Calibrage conjoint du malus et de la valeur du temps	5	Tous modèles	
Analyses de détail	Comptages particuliers	6	Tous modèles	122
	Temps de parcours particuliers	7	Tous modèles	
	Phénomènes particuliers	2	Tous modèles	

Tableau 17 - Organisation du calage et renvoi aux méthodes de traitement

Dans le tableau précédent, les trois échelles d'analyses identifiées sont les suivantes : niveau global, corridor, points particuliers. De manière générale, ces trois échelles sont à étudier de manière successive. Cependant, une attention particulière pourra être portée dès le début de cette phase aux phénomènes spécifiques identifiés dans le secteur d'étude (cf. 1.2).

* La notion de corridor fait l'objet ici d'une définition spécifique précisée au paragraphe 4.1 - Principe : un corridor est constitué par la juxtaposition d'un ensemble d'axes de transport et de flux OD les empruntant.

Au préalable, étant donné que cette phase traite de modèles fonctionnant avec contraintes de capacité, il conviendra de toujours s'assurer des limites de la convergence du modèle. Le risque serait d'entrer dans des analyses qui seraient trop fines par rapport au niveau permis par la convergence.

2 - Vérification de la convergence

2.1 - Critères de convergence

Avant d'interpréter les résultats d'affectation, le modélisateur doit s'assurer que le modèle a effectivement convergé.



TransCAD fournit classiquement à ce propos deux indicateurs (*cf.* Rapport d'Ariane à TransCAD [37] pour une description détaillée) :

- indicateur générique de convergence du modèle Omega ;
- écart maximum entre le flux auxiliaire et le flux résultat à chaque itération.

Nous retiendrons ici que le premier indicateur caractérise la convergence du modèle en termes de charge de trafic, tandis que le second correspond plutôt à la convergence en chemins du modèle (i.e. après un certain nombre d'itérations, le modèle trouve les mêmes chemins à chaque itération).

Le modélisateur dispose de deux paramètres pour réguler la convergence : le seuil maximal de valeur pour Omega et le nombre maximal d'itérations du modèle N. Si la convergence en Omega est donc paramétrée directement, la convergence en chemins ne lui est pas automatiquement corrélée. Cette dernière ne peut donc être contrôlée que par le nombre maximum d'itérations. Si la convergence en chemins est souhaitable pour la réalisation du bilan économique, il conviendra néanmoins de ne pas lui accorder une importance trop forte :

- d'une part, lorsque les coûts de deux itinéraires sont proches, la convergence en chemins n'est pas garantie (phénomène de bascule à chaque itération d'un chemin vers l'autre) ;
- d'autre part, l'absence de convergence en chemins n'affecte pas la qualité du calage du modèle en ce qui concerne les résultats d'affectation en débit par arc. De même, elle n'a pas d'effet sur la répartition globale entre itinéraires d'une OD, à condition qu'elle soit calculée sur l'ensemble des itérations ; ce type de convergence est principalement utile pour faciliter le calcul des temps et coûts de parcours par OD.

S'il est souhaitable d'utiliser des valeurs faibles pour Omega (en fonction de la longueur totale du réseau modélisé L : $L \cdot 10^{-4}$ à $L \cdot 10^{-5}$, L et Omega étant tous deux exprimés dans la même unité par défaut) et des valeurs élevées pour N (> 100 itérations), les temps de calcul avec une affectation prix-temps peuvent vite s'avérer rédhibitoires lorsque le nombre d'arcs et d'OD du modèle est important. Deux solutions sont proposées :

- simplifier le réseau partout où cela n'entre pas en contradiction avec les objectifs donnés au modèle et les phénomènes à prendre en compte. Ceci est en particulier valable si le modélisateur a choisi de s'appuyer sur l'intégralité de la base de données "30 000 arcs" d'une région ou d'un ensemble de régions (*cf.* 5.1 - Choix du réseau) ;
- accepter pendant le processus de calage des valeurs d'Omega et de N moins contraignantes jusqu'à ce que le modèle soit validé en s'assurant que l'itération à laquelle le calage s'arrête produit des résultats suffisamment stables sur les arêtes faisant l'objet du calage (*cf.* 2.2 - *Ecart entre l'itération finale N et l'itération N+1*), puis reprendre des valeurs plus contraignantes pour la réalisation des études de trafic et les tests des scénarios.

2.2 - Ecart entre l'itération finale N et l'itération N+1

De manière générale, mais en particulier lorsque les contraintes de l'outil imposent de retenir des valeurs relativement élevées d'Omega et faibles du nombre maximum d'itérations, une vérification courante à effectuer consiste en la production d'une carte permettant de s'assurer de la stabilité des résultats d'affectation. Il s'agit d'une carte de comparaison des résultats d'affectation à l'itération N à laquelle l'affectation s'est arrêtée (critère

de convergence Omega ou nombre maximum d'itérations atteint), avec les résultats d'affectation à l'itération N+1.

Cette démarche sert notamment à s'assurer de la stabilité des résultats sur les arcs ou corridors identifiés comme étant les plus significatifs pour le calage. Un exemple en est présenté sur la carte ci-dessous pour le modèle du sillon lorrain (N=10). L'interprétation suivante pourrait en être faite : dix itérations suffisent pour assurer une stabilité de l'affectation sur les axes interurbains. Les choix d'itinéraires dans l'agglomération de Metz (au bas de la carte) n'ont en revanche pas convergé et ne pourraient faire l'objet d'analyses prospectives.

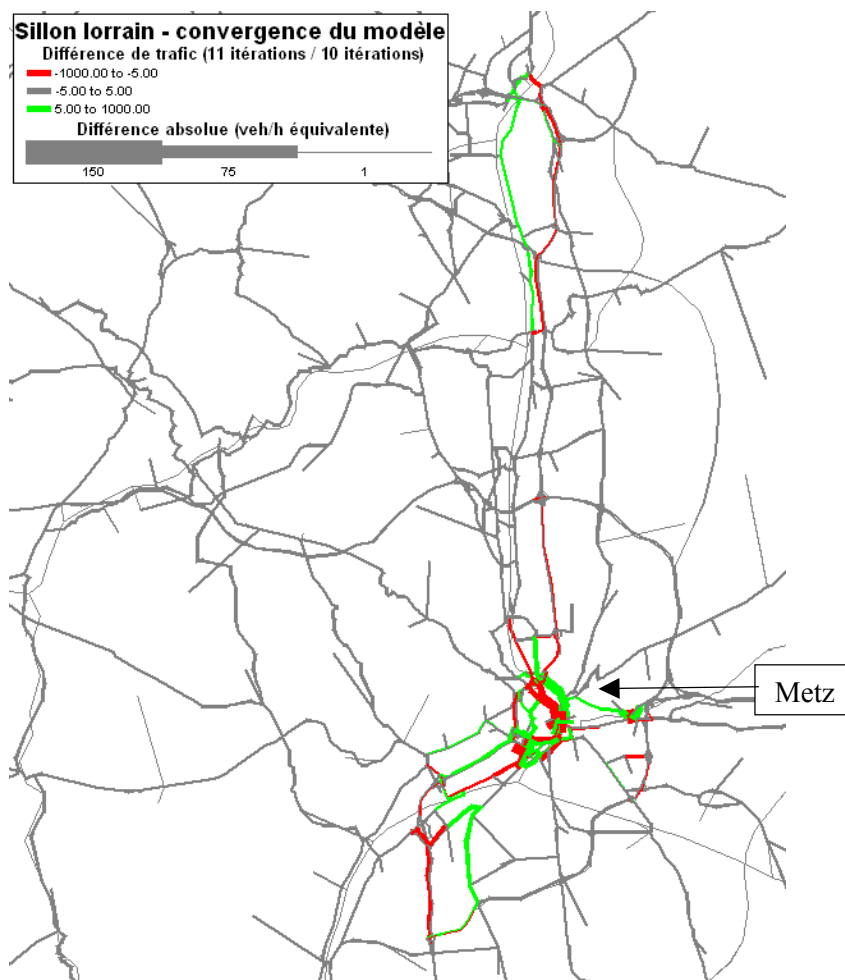


Figure 23 - Exemple d'une analyse de différence d'affectation entre l'itération N+1 et l'itération N

Au vu des contraintes de temps de calcul, cette opération n'est pas nécessaire à chaque modification du modèle, mais elle est à réaliser a minima :

- au démarrage du calage (afin de déterminer la valeur d'Omega et du nombre d'itérations maximal nécessaires pour garantir un bon comportement du modèle vis-à-vis des objectifs) ;
- à sa finalisation, pour mettre en évidence la stabilité du modèle.

3 - Analyse globale du modèle vis-à-vis des comptages

3.1 - Principes

L'objectif de cette première analyse est de vérifier la spécification du modèle et de détecter les besoins en ajustements spécifiques. L'affectation permettant d'étudier le comportement du modèle est effectuée avec des paramètres génériques.



Pour l'affectation avec les Modules Sétra de TransCAD, cela inclut :

- la matrice OD et le réseau construits spécifiquement pour le modèle. Dans la mesure du possible, seul le type d'arc aura été vérifié pour la définition du réseau à ce stade (cf. phase I et phase II) ;
- la table de typologie [32] du Sétra dans sa version la plus récente ;
- les paramètres de distribution de la valeur du temps préconisés par l'instruction sur les méthodes d'évaluation économique la plus récente [17] ;
- les modifications de spécification (par exemple l'utilisation d'un coefficient d'équivalence VL/PL selon la pente) devront être génériques et non spécifiques à un secteur ou à un ensemble d'arcs du modèle.

A ce stade, les comparaisons Modèle/Observations sont effectuées sur les comptages. Deux types d'analyses sont proposés pour étudier le comportement global du modèle :

- les cartes d'affectation qui apportent une information géographique mais plutôt qualitative ;
- les indicateurs de calage qui permettent de tester la sensibilité du modèle à un paramètre ou à une variable.

Ces analyses nécessitent une capacité d'interprétation pour en tirer des enseignements sur les modifications souhaitables du modèle. La pratique de recours à des préchargements généralisés (cf. § 3.3.2 - Utilisation de préchargements) telle qu'elle peut être parfois mise en œuvre est fortement déconseillée à cette étape du modèle car elle comporte le risque de fausser cette interprétation. Il s'agit de l'exemple typique d'une solution simple à mettre en œuvre, mais potentiellement inadaptée. En revanche, elle peut avoir un grand intérêt en termes de solution apportée à certains problèmes détectés en concurrence avec d'autres méthodes nécessitant un travail plus important.

Au vu de la complexité des situations pouvant intervenir, il semble impossible d'essayer d'établir un catalogue dans lequel le modélisateur pourrait venir chercher des solutions clés en mains. Cependant, les premières années d'expérience dans l'usage de TransCAD ont permis de détecter un certain nombre de problèmes ou difficultés d'affectation relativement récurrents. Ceux-ci sont listés dans un troubleshooting, accompagnés des bonnes pratiques de modifications courantes ou de pistes de solutions à apporter pour améliorer le modèle.

L'expérience et la connaissance régionale du modélisateur sont les éléments déterminants pour la bonne mise en œuvre de cette phase : le troubleshooting est construit en vue de guider l'acquisition ou la consolidation de ce type de compétences.

3.2 - Vérification globale du modèle : les analyses à effectuer

3.2.1 - Enseignements à tirer d'une carte de résultats d'affectation

Comme l'état des pratiques l'a clairement mis en évidence, la production d'une carte de résultats d'affectation est l'élément incontournable de vérification du modèle. Deux types de cartes sont particulièrement utiles à ce stade de vérification du modèle.

3.2.1.1 - Carte des charges de trafic (VL/PL)

Ce type d'analyse a été présenté dans la phase II, notamment pour vérifier les erreurs de codification ou de connectivité. Dans la phase III, il est également l'outil de base du calage du modèle :

- d'une part, cette carte permet de s'assurer très rapidement que l'affectation effectuée n'a pas été entachée d'erreurs : mauvaise indexation de la matrice, absence de trafic sur des arcs ayant été ajoutés au réseau, ...
- d'autre part, elle permet d'avoir une vision très rapide de la vraisemblance du modèle par rapport à la connaissance a priori du réseau : le trafic affecté se situe-t-il sur les bons axes ? Y-a-t-il un problème général de concurrence entre types de voies ? L'affectation est-elle particulièrement mauvaise dans certains secteurs ?

3.2.1.2 - Carte des différences de trafic par rapport aux comptages

Cette carte représente :

- en épaisseur de trait la valeur absolue de la différence entre les comptages et les résultats d'affectation ou de l'indicateur GEH (Statistique appelée ainsi d'après son inventeur : Geoffrey E. Havers) ;
- en classe de couleur le pourcentage d'erreurs du modèle par rapport aux comptages ou la classe de GEH de l'arc.

Les trois cartes suivantes en sont des exemples sur trois types de modèles très différents. Elles permettent d'illustrer les enseignements à en attendre mais aussi les limites de ces analyses.

La première carte présente les résultats typiques pour un modèle dit de projet (cf. 1.1 - Objectifs du modèle pour une définition). Un nombre limité d'enquêtes OD a été utilisé pour constituer le modèle et la matrice est donc incomplète : la carte d'affectation montre en conséquence un déficit général de trafic sur l'ensemble des arcs. Ceci permet de délimiter les possibilités du modèle. Notamment, les axes pour lesquels un report important sur le projet est anticipé apparaissent clairement car une plus forte proportion du trafic y est reconstituée. Mais, pour un modèle de ce type, l'analyse globale présente un intérêt modéré. En effet, la part des flux reconstitués restant faible, il convient de passer rapidement à des vérifications à l'échelle du corridor.

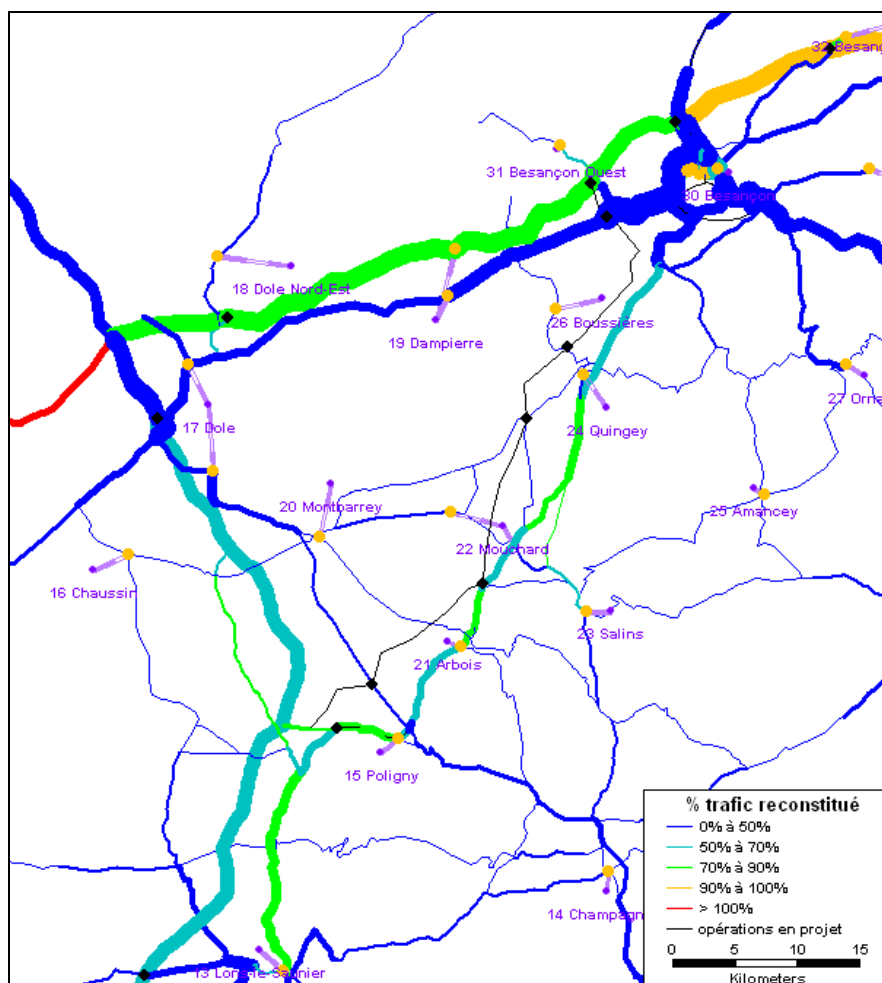


Figure 24 - Exemple de carte de comparaison aux comptages sur un modèle de projet pour l'étude d'A37

La deuxième carte est quant à elle caractéristique d'un modèle dit régional (cf. 1.1 - Objectifs du modèle pour une définition). Généralement, l'intégralité des enquêtes OD disponibles sur le périmètre d'étude du modèle est exploitée ce qui conduit à une matrice plus complète. Cependant, il reste encore de nombreux trous et il est donc difficile de comparer avec l'ensemble des comptages disponibles. La carte est produite uniquement sur la comparaison comptage/affectation au droit des postes d'enquêtes. La quantité d'enquêtes disponibles et leur localisation sont donc les déterminants du calage du modèle. Pour ce type de modèle, l'analyse de cette carte est un préalable, suffisant pour les premiers ajustements du modèle qui consistent à s'assurer que les spécifications globales sont correctes : finesse du réseau (quantité, description), conditions générales de concurrence entre les types de voies. Ce type de carte peut néanmoins masquer les effets de concurrence entre itinéraires : si une grande portion des flux est captive, les comptages peuvent être correctement reproduits, mais cela ne constitue pas nécessairement une information suffisante sur les chemins empruntés.

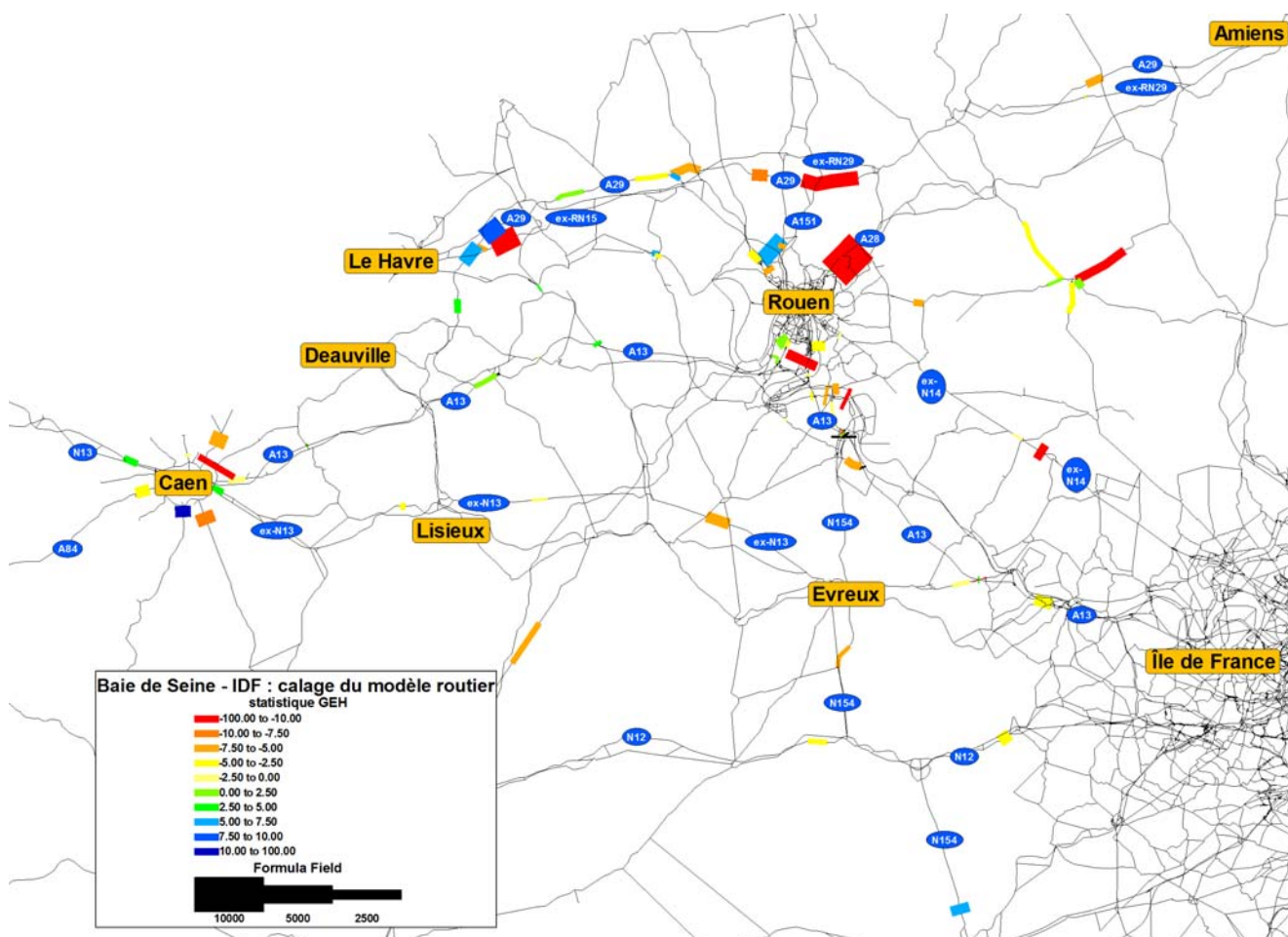


Figure 25 - Exemple de carte de calage par représentation du GEH

La troisième carte concerne enfin un type de modèle construit par analogie avec un modèle urbain (cf. 1.1 - Objectifs du modèle pour une définition) : la demande interne est modélisée à l'aide d'un modèle spécifique (dit de génération/distribution) tandis que la demande externe est captée par un cordon d'enquêtes OD. L'intégralité des comptages peut donc en théorie être utilisée à l'intérieur du périmètre d'étude. La carte fournit, de même que pour le modèle de type régional, des informations sur les spécifications globales du modèle ; elle permet surtout de s'assurer de la qualité de la matrice interne et d'aider à son calibrage.

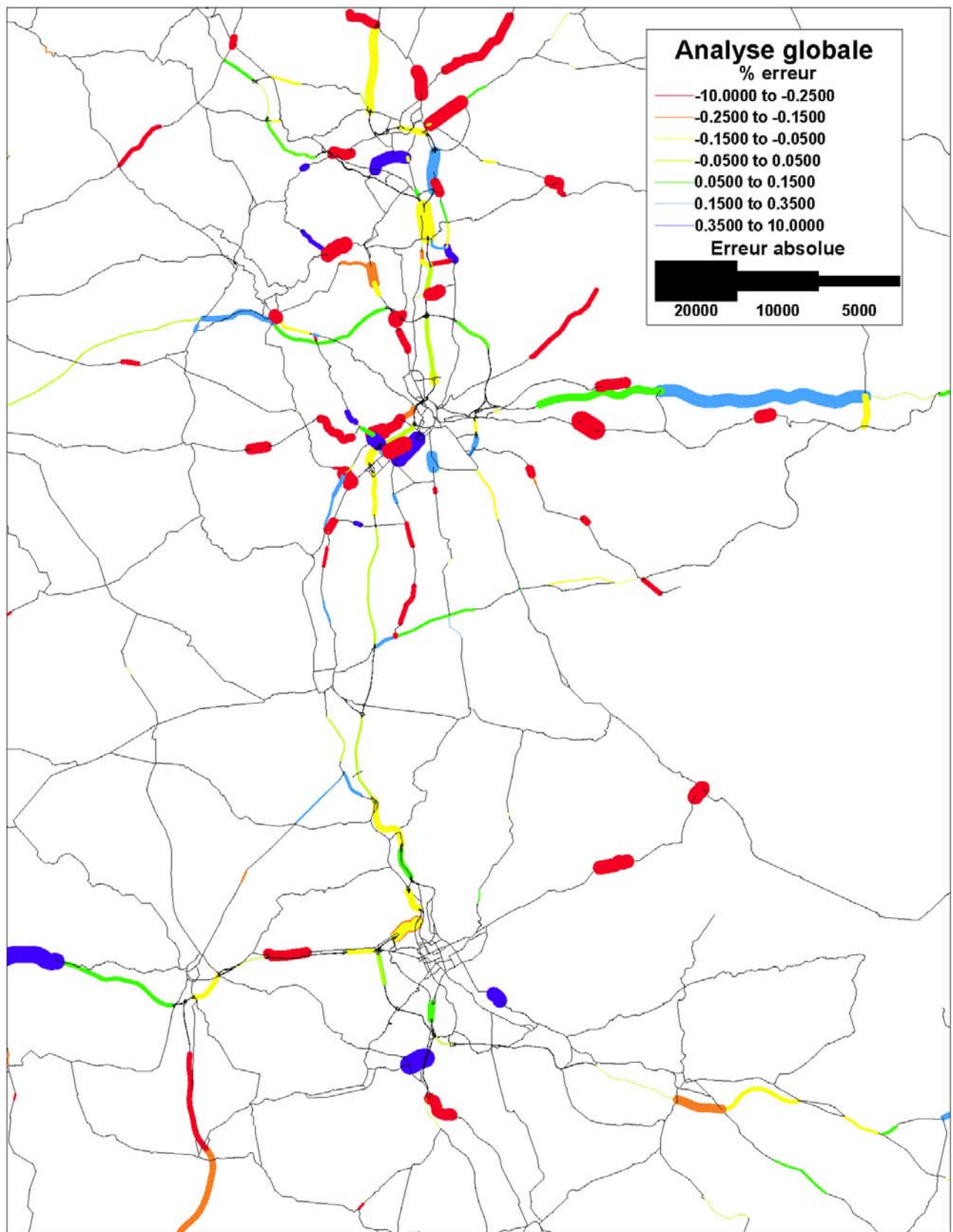


Figure 26 - Exemple de carte de calage pour un modèle avec une demande complète

3.2.2 - Mise en place d'indicateurs de reproduction des comptages

L'analyse évoquée à l'aide de cartes dans le paragraphe précédent permet d'établir un diagnostic géographique détaillé des problèmes rencontrés par le modèle. En revanche, elle ne fournit pas d'informations quantitatives sur la reproduction des comptages. Différents indicateurs peuvent être construits ; ils ont été évoqués au chapitre 2 (cf. 1.3.1 - Les indicateurs).

L'intérêt principal de construire un tel indicateur est de mesurer l'élasticité du modèle vis-à-vis d'une modification d'un paramètre ou d'une variable :

- si le modèle réagit fortement à des variations d'un paramètre ou d'une variable, un calibrage fin à l'aide d'un recueil de données est la solution la plus pertinente ;
- s'il réagit faiblement, l'examen du paramètre ou de la variable peut être écarté pour l'analyse globale.

Le deuxième intérêt est qu'un tel indicateur peut être décliné par type de voies. Il peut donc servir à s'assurer que la concurrence générale entre les types de voies est bien reproduite.

Selon le type de modèles, l'indicateur à construire devra être distinct :

- pour les modèles de type urbain, l'indicateur se base sur l'intégralité des comptages disponibles sur le secteur d'étude ;
- pour les modèles de type régional, l'indicateur est construit uniquement à l'aide des comptages au droit des postes d'enquête. On pourra y ajouter les comptages, pour lesquels le modélisateur estime la matrice suffisamment complète pour que le modèle puisse les reproduire ;
- pour les modèles de type étude de projet, l'intérêt de l'indicateur est moindre. S'il s'avère néanmoins indispensable, un indicateur possible est la comparaison des flux OD aux postes d'enquêtes utilisés et des résultats des chevelus de chacun des postes d'enquêtes.

Un exemple d'indicateur est fourni sur le graphique ci-dessous. Chaque point correspond à un arc : les comptages sont en abscisse et les résultats du modèle en ordonnée. La droite de régression passant par ces points est également tracée ; son équation et son coefficient de détermination sont également indiqués.

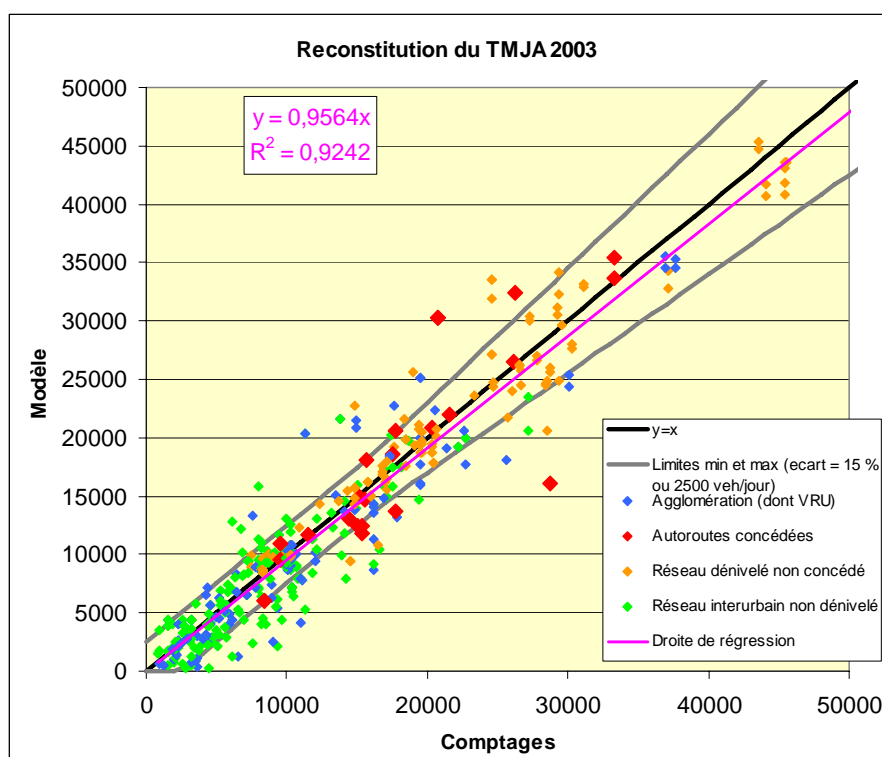


Figure 27 - Exemple de graphe de calage en débit d'un modèle

Ce type d'indicateur fournit quatre enseignements :

- le modèle surestime ou sous-estime-t-il les comptages (coefficient de la droite de régression) ?
- y-a-t-il une dispersion importante des résultats (coefficient de détermination R^2) ?
- y-a-t-il un biais d'affectation selon le type d'arc (coloration des points par type de routes et position de ces points par rapport à la courbe $y=x$) ?
- peut-on identifier des erreurs particulières pesant fortement sur la valeur de l'indicateur (points s'écartant très fortement de la droite de régression, en dehors des limites minimum et maximum) ?

3.3 - Recherche de solutions aux difficultés d'affectation

3.3.1 - Troubleshooting



Dans cette section, quelques problèmes intervenant à l'échelle globale sont présentés pour la modélisation avec les Modules Sétra de TransCAD, afin de souligner comment une stratégie d'amélioration peut être établie dans chaque cas.

3.3.1.1 - Les résultats d'affectation sont trop élevés sur les routes bidirectionnelles et trop faibles sur le réseau dénivelé (autoroutes concédées et non concédées)

Le problème provient probablement d'une mauvaise description du niveau de service offert par les routes bidirectionnelles : si le réseau 30 000 arcs est utilisé, trois problèmes récurrents sont la mauvaise description des traversées de communes, un calcul insuffisamment précis de la longueur de la route (le réseau 30 000 arcs étant basé sur une géométrie fortement simplifiée) et enfin la position des pentes et rampes sur le réseau. Une vérification de détail de ces trois éléments s'impose. Si des pentes importantes sont présentes, il peut en outre être intéressant, notamment pour l'affectation des PL, d'intégrer une correction de la consommation de carburant (*cf.* guide des utilisateurs des Modules Sétra [4]).

Une fois ces corrections effectuées, d'autres éléments peuvent également intervenir :

- la sinuosité de la route ou son étroitesse affectent les temps de parcours : des mesures de temps de parcours permettent de corriger les temps à vide ;
- le manque de visibilité, lié à un fort trafic PL ou de caravanes et camping-cars, entraîne des difficultés de dépassement. Il en résulte de fortes incertitudes sur le temps de parcours qui peuvent être constatées par une reconnaissance sur le terrain. Une méthode de correction du modèle serait alors de renforcer l'effet du trafic PL, via le coefficient d'équivalence PL/VL ou en vérifiant K_{hi_VL} ;
- les habitudes, la signalisation, le confort de conduite, ... Dans ce dernier cas, l'utilisation d'un malus kilométrique est conseillée.

3.3.1.2 - Les résultats d'affectation sont trop faibles sur les autoroutes concédées

Si le problème n'a pas pour origine un mauvais codage des péages de l'autoroute, il peut être lié à la valeur du temps. Dans un premier temps, si le modèle fonctionne avec une distribution unique des valeurs du temps, il est pertinent de stratifier la demande en classes de valeur du temps, en fonction de la longueur du déplacement (*cf.* Méthodes d'évaluation économique des projets routiers [17]). Une autre source d'erreur peut être la sous-estimation de la capacité de l'autoroute (*cf.* § 5.6.3 - Facteurs de concentration et 5.6.4 - Courbe débit-vitesse), notamment des facteurs de concentration. Il suffit de vérifier si le modèle montre des signes de congestion sur l'autoroute malgré un trafic sous-estimé.

Si le problème persiste, il s'agit d'examiner si les flux du secteur d'étude sont constitués d'usagers à forte valeur du temps : proportion de flux de transit, de déplacements professionnels, de déplacements à la charge du conducteur (parfois disponibles dans certaines enquêtes OD). En fonction des résultats, une augmentation incrémentale des valeurs moyennes de valeur du temps peut être justifiée, en prenant garde également à adapter la valeur de l'écart-type, de telle sorte que la forme de la distribution reste pertinente (*cf.* Rapport d'Ariane à TransCAD[37]).

Sinon, le problème doit être examiné corridor par corridor (cf. 4 - *Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors*).

3.3.1.3 - Les résultats d'affectation sont trop faibles sur le réseau dénivelé, mais suffisent pour qu'il soit congestionné

Il est conseillé de collecter les données de trafic horaire des stations de comptage afin de calibrer les valeurs des facteurs de concentration (cf. §. 5.6.3 - *Facteurs de concentration* et [24]). Une autre possibilité, notamment si l'autoroute se situe en secteur périurbain voire urbain, consiste à calibrer la courbe débit-vitesse (cf. §. 5.6.4 - *Courbe débit-vitesse*), ou, en cas d'absence de données, à utiliser avec prudence des courbes débit-vitesse calibrées pour d'autres secteurs (cf. études sur Lille [36] et A31 [35]).

3.3.1.4 - Le modèle affecte trop de trafic en traversée d'agglomération et pas assez sur les contournements

Deux cas sont possibles :

- les vitesses à vide sont trop élevées et ne reflètent pas les contraintes de traversée de l'agglomération (présence de nombreux feux de circulation, de giratoires, voies étroites) ;
- les vitesses en charge sont trop élevées et ne tiennent pas compte de la congestion due aux flux très locaux, notamment si la demande de circulation dans l'agglomération n'est pas incluse dans la matrice OD (par exemple parce qu'elle ne serait pas utile pour les prévisions futures).

Dans le premier cas, des relevés sur le terrain permettront de corriger les vitesses à vide.

Dans le second, il convient d'opter pour une méthode correctrice du réseau, selon les données disponibles : soit opter pour un préchargement si l'on dispose de suffisamment de comptages (cas préférable, car l'évolution de la demande de transit peut alors interagir avec les capacités d'écoulement via l'agglomération), soit diminuer artificiellement les vitesses à vide pour tenir compte de la gêne occasionnée.

3.3.1.5 - L'affectation sur autoroute concédée est trop importante/trop faible dans un secteur particulier du modèle

Trois sources de la sur-affectation sur autoroute à péage peuvent être identifiées :

- les péages : ont-ils été intégrés à leur niveau réel ou en fonction d'une moyenne kilométrique ? Si l'affectation est trop importante, cela peut être lié à un tarif local plus élevé que la moyenne, si elle est trop faible à des dispositifs d'abonnement ou de réduction du péage non pris en compte par défaut ;
- la composition socio-économique du secteur : si la distribution des revenus est remarquable par rapport à la moyenne nationale ou si le secteur est composé de nombreuses entreprises, la distribution des valeurs du temps de ce secteur aura une forme particulière. Il est alors nécessaire de la corriger en conséquence de manière heuristique. Nous renvoyons le lecteur vers le rapport d'Ariane à TransCAD [37] pour les questions relatives à la modification simultanée de la moyenne et de l'écart-type de la distribution de la valeur du temps ;
- la congestion : des congestions localisées sur les barrières de péage peuvent entraîner des stratégies d'évitement de l'infrastructure a priori non modélisées.

3.3.1.6 - Le modèle surestime toutes les coupures

La matrice est probablement construite sur un zonage trop fin, les OD sont donc statistiquement peu fiables et la méthode de combinaison des postes en a été affectée. Il faut donc recalculer la matrice OD à partir des enquêtes sur un zonage plus agrégé et redresser celle adaptée au zonage de l'affectation en conséquence.

3.3.1.7 - Le modèle sous-estime le trafic dans un secteur du modèle à forte densité de réseau (respectivement surestime le trafic dans un secteur à faible densité)

Face à ce constat, il faut analyser si les manques ou les surplus de trafic sont cohérents avec la finesse du réseau modélisé : il est possible que la sélection du réseau lors de la constitution du modèle ait conduit à retenir une quantité trop ou pas assez élevée d'axes créant une concurrence locale avec le réseau principal du secteur.

Il convient également de vérifier comment la matrice est constituée sur ce secteur : Y-a-t-il une partie du trafic qui s'échappe par un axe non enquêté ? Quelle est la fiabilité statistique de la matrice ?

3.3.1.8 - Les affectations sont trop marquées (pas de répartition sur les différents itinéraires – affectation proche d'un plus court chemin) sur un itinéraire particulier

Si le modèle est basé sur un zonage trop agrégé, les choix d'itinéraires proposés ne sont pas forcément réalistes. Corriger en multipliant les connecteurs est relativement facile à mettre en œuvre, mais n'est pas une stratégie efficace dans toutes les situations, car le modèle va trouver pour chaque OD un ou des connecteurs privilégiés. Or, si la répartition diffuse ou déséquilibrée de la population et des activités au sein de la zone est le facteur explicatif du problème d'affectation, il serait certainement souhaitable que le modèle utilise chaque connecteur pour chacune des OD. Dans ce dernier cas, la seule solution possible consiste à désagréger la zone et donc ré-estimer la matrice (cf. § 3.1 - Principes de constitution du zonage pour une description plus complète des problèmes d'affectation pouvant survenir du fait d'un zonage mal construit).

3.3.2 - Utilisation de préchargements

Une pratique de calage globale couramment répandue, notamment lorsque les études étaient effectuées à l'aide du logiciel Ariane ainsi que le montre l'état des pratiques dans le RST (cf. 2 - Analyse des pratiques dans le RST), consiste en l'ajout d'une charge de trafic par arc, correspondant à la différence entre le comptage et le résultat du modèle d'affectation. Cette pratique a une signification précise dans le cas de modèles dits de projets : la description de la demande de déplacements est souvent incomplète et ce préchargement regroupe donc l'ensemble des flux OD dont les choix d'itinéraires ne sont pas explicitement modélisés. Elle est motivée par deux éléments :

- d'une part, par ajout du préchargement et des résultats du modèle, le trafic obtenu sur chaque arête est en pratique identique au comptage et permet théoriquement de décrire correctement son niveau de service (notamment en cas de congestion) ;
- d'autre part, dans le périmètre du projet à étudier, la demande est généralement quasi-complète pour les flux de longue distance, mais des flux locaux peuvent échapper au dispositif de recueil des OD. Dans ce cas, l'ajout de préchargements est une manière de modéliser ces flux locaux.

Pendant, cette pratique génère de nombreux problèmes.

Tout d'abord, elle masque le pouvoir de représentation du modèle. Souvent, une carte de calage en situation actuelle est produite, présentant des trafics par arc reproduisant quasi-parfaitement les comptages, sans mentionner la part de préchargements. Cette part pouvant varier de 0 à 100 %, l'absence d'information à son sujet ne permet pas de tirer d'enseignements sur la qualité du modèle. Afin que le travail de modélisation puisse être contrôlé, la représentation de la part de préchargement par arc est donc impérative, par exemple comme sur la carte suivante :

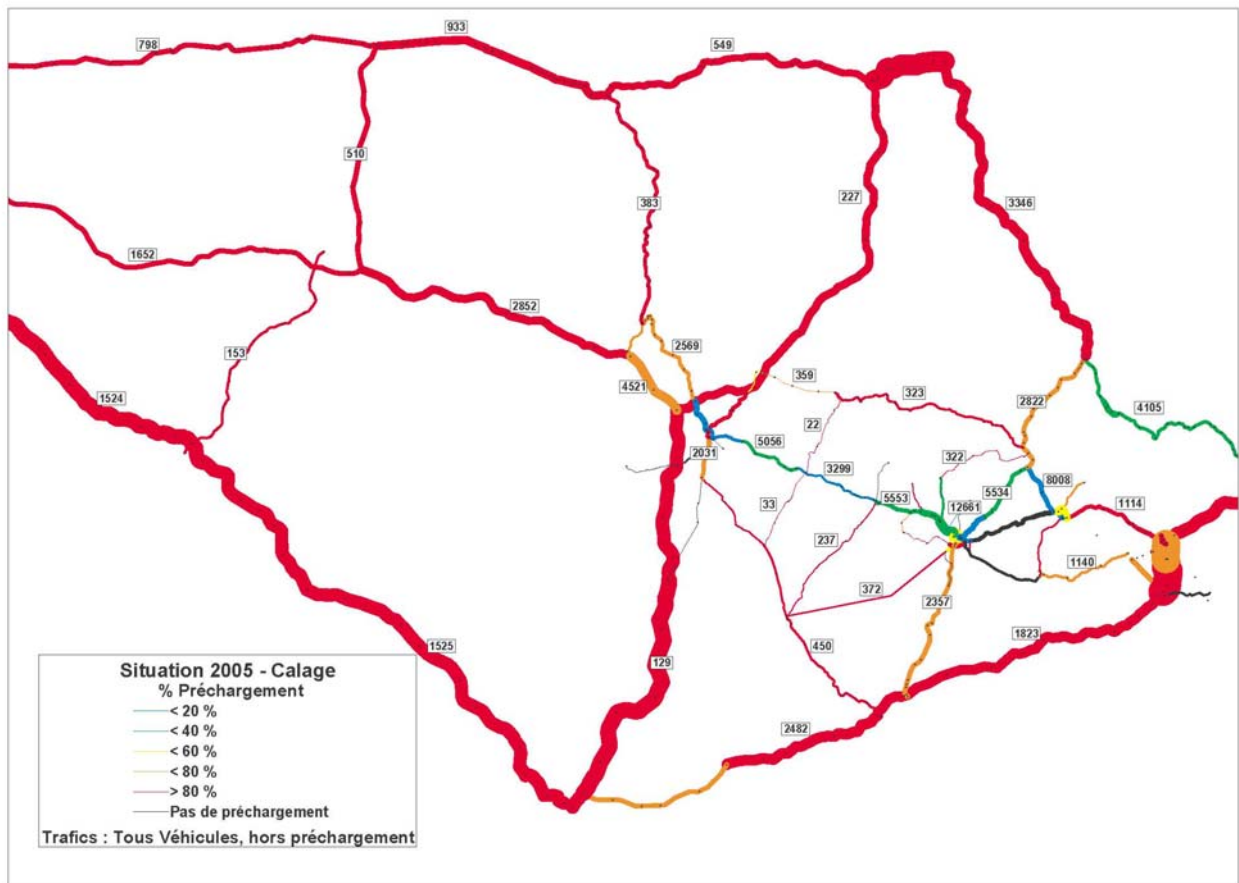


Figure 28 - Exemple de présentation de la part du préchargement – étude A319

Par ailleurs, les préchargements sont des trafics figés à un arc et non plus à une OD, ce qui a plusieurs conséquences :

- d'une part, étant donné que la composition de l'OD n'est pas connue, les hypothèses d'évolution des flux ne peuvent être différenciées ;
- d'autre part, les flux composant le trafic préchargé ne peuvent avoir de modification de leur choix d'itinéraire en fonction du scénario.

Ce dernier point est le problème majeur généré par les préchargements. La différence entre la capacité et le préchargement limite en pratique le trafic maximum qui peut s'affecter sur l'arête. Ceci peut être souhaitable dans certains cas très simples, par exemple l'étude de la déviation d'une petite agglomération pour laquelle les flux locaux n'ont pas d'autre alternative que d'emprunter la traversée du centre-ville. Dans la plupart des cas plus complexes, le trafic préchargé dispose en fait d'alternatives. La non prise en compte de ces reports potentiels introduit donc un biais systématique dans le modèle.

L'intégration de préchargements sur des sections en situation de congestion ou en limite de saturation nécessite donc une étude fine, notamment une analyse de sensibilité (cf. §).

Enfin, il convient de rappeler que le trafic préchargé peut contenir des flux OD de natures très différentes. Dans les faits, l'emploi du terme trafic local pour désigner les préchargements est abusif et il conviendra plutôt de parler de trafic non modélisé.

Ces considérations conduisent à formuler deux recommandations à propos des préchargements :

- en ce qui concerne la connaissance des flux locaux, des méthodes permettant de compléter les trous de la matrice, telles que celles décrites dans la phase I (cf. § 4 - La matrice des déplacements), devront être envisagées avant de recourir à des préchargements ;

- en ce qui concerne la bonne reproduction des niveaux de service, les préchargements devront être effectués localement :
 - des préchargements généralisés peuvent être utilisés sur l'ensemble des sections à l'extérieur du périmètre d'étude, en portant une attention particulière au risque de dépassement artificiel de la capacité. Dans des situations très particulières (comme la traversée de la région parisienne), il peut s'avérer plus efficace de définir un niveau de service ne variant pas en fonction du débit ;
 - sur le périmètre d'étude, le recours au préchargement global ne saurait être une option de calage du modèle. Cependant, dans certains cas, notamment dans des secteurs où les zones sont relativement grandes, un préchargement ponctuel peut permettre d'améliorer le modèle. Ce type d'ajustement devra être justifié au cas par cas.

4 - Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors

4.1 - Principe

Une fois que le comportement global du modèle semble satisfaisant (niveau de convergence suffisant, cartes d'affectation réalistes, indicateur de calage difficile à améliorer), le modèle doit être analysé à nouveau vis-à-vis de ses objectifs spécifiques. Cela a déjà été souligné : le modèle peut avoir un bon fonctionnement global, mais des problèmes spécifiques peuvent être masqués par les effets de masse.

Ainsi, si le trafic d'une autoroute est caractérisé par une forte demande locale captive, la charge de trafic totale sera relativement simple à reconstituer. Cependant, une mauvaise affectation du trafic de transit, qui constitue une faible proportion de la charge totale, ne pourra pas être détectée lors de l'analyse globale. Cette situation peut s'avérer particulièrement préjudiciable. Prenons l'exemple d'une étude centrée autour d'une nouvelle section d'autoroute pour dévier le transit. Si les concurrences entre itinéraires de transit en situation actuelle ne sont pas correctement reproduites, les projections en situation de projet risquent d'être très incertaines !

L'analyse des corridors, qui constitue cette vérification spécifique du modèle vis-à-vis de ses objectifs, doit être centrée sur la notion de chemins, particulièrement significative pour les modèles interurbains. Cette analyse va conduire à effectuer des ajustements plus ou moins importants du modèle, qui auront des effets globaux sur les résultats d'affectation. Elle ne peut donc être conduite de manière totalement indépendante : il faudra s'assurer au fur et à mesure de l'analyse de tous les corridors que le réalisme global du modèle perdure.

Dans la suite, les résultats étudiés sont basés sur des OD ou groupes d'OD spécifiques. Il s'agit de vérifier si la répartition des itinéraires obtenus par le modèle d'affectation pour ces OD sont en cohérence avec des données observées, généralement issues des enquêtes OD.



Pour ce faire, le modélisateur pourra utiliser deux outils des Modules Sétra, décrits aux 3.2.2 - Analyse de chemin et 3.2.3. - Analyse de chevelu et matrice résultant d'une requête :

- l'analyse d'itinéraires effectuée sur l'ensemble des itérations ;
- l'extraction des flux OD empruntant un arc du modèle.

4.2 - Sélection des corridors

Les corridors sont définis ici par extension comme l'ensemble des routes et autoroutes permettant d'effectuer un grand type de liaison : en supplément de corridors tels que les liaisons Baie de Seine - Île-de-France ou Paris – Tours, on pourra considérer des corridors Benelux - Espagne ou Benelux - Région PACA, ...

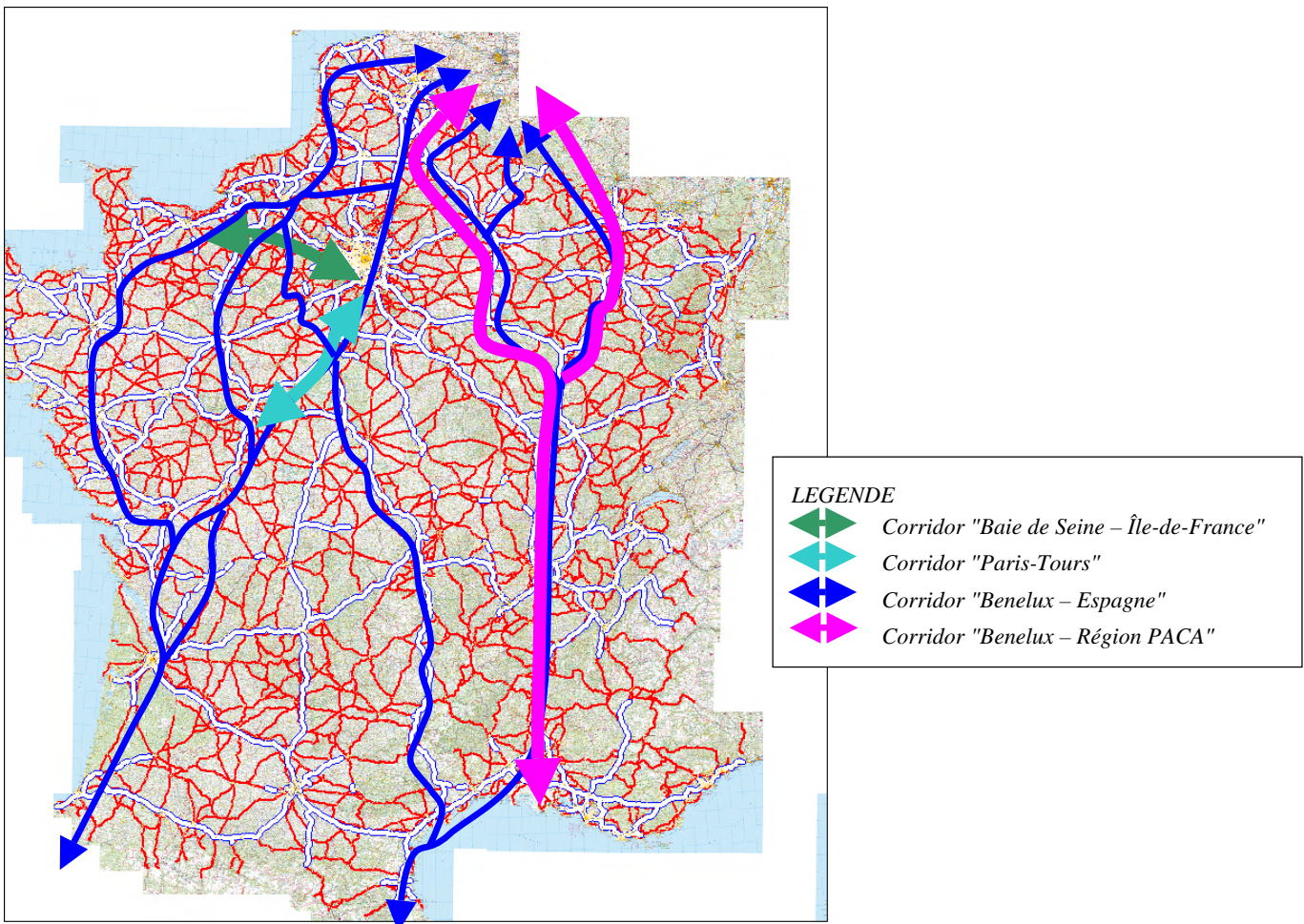


Figure 29 - Définition d'un corridor - exemples

Ce corridor doit pouvoir être décomposé en itinéraires alternatifs valables pour toutes les OD du corridor. Par exemple, le corridor Paris - Tours contient des déplacements Benelux - Espagne, mais ceux-ci empruntent éventuellement d'autres itinéraires (par Rouen, par le sillon lorrain, ...) que ceux du corridor en question. Il convient donc de porter une grande attention à la définition des corridors qui sont simultanément une sélection d'un ensemble d'itinéraires et d'un ensemble d'OD mettant ces itinéraires en concurrence.

Les corridors découlent généralement de la commande et donc des objectifs du modèle, à savoir un projet d'infrastructure précis. Dans ce cas, les corridors sont relativement aisés à déterminer, en examinant les OD desservies par le projet. Si l'on reprend l'exemple de l'autoroute A319 (cf. § 1.1 - Objectifs du modèle), les corridors sont définis dès le départ, lors de la préparation du calage en lien avec les objectifs ; les deux corridors les plus importants sont constitués d'une part des liaisons locales vers Vesoul ou vers Langres et d'autre part des liaisons Paris - Bâle/Mulhouse. D'autres corridors (Paris - Besançon, Paris - Remiremont) pourront être examinés si les effets croisés avec l'aménagement de la RN57 doivent être étudiés.

La commande peut néanmoins être moins liée à l'analyse de corridors spécifiques que l'étude d'un nouveau projet routier interurbain : effet d'une politique de transport comme l'éco-redevance PL, mise au point d'un outil d'analyse des transports sur une région, étude des politiques d'urbanisation, ... Dans certains cas (notamment pour la taxe PL dans certains secteurs), des corridors peuvent néanmoins être identifiés. Dans les autres cas, des stratégies adaptées sont à mettre en œuvre, par exemple :

- effectuer en amont un test d'affectation de la politique à étudier, déterminer au vu des résultats les OD qui sont particulièrement sensibles à cette politique, vérifier le calage du modèle pour ce type d'OD ;
- mettre au point un modèle généraliste à recalculer au cas par cas en fonction des commandes ;
- mettre au point un modèle plutôt de type urbain.

Une condition impérative pour l'analyse d'un corridor est l'existence d'au moins une coupure d'enquêtes OD permettant de reconstituer les parts de marché des différents itinéraires. Si plusieurs coupures sont disponibles,

une combinaison des résultats pour reconstituer les estimateurs optimaux des parts de marché s'avère intéressante (cf. § 4.1 - *Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale*). Cependant, pour des raisons pratiques de temps de calcul, il peut être plus facile d'extraire de l'affectation les matrices OD passant par les postes d'enquêtes que les chevelus pour chaque couple d'OD à analyser : la reconstitution des parts de marché globales n'est pas indispensable ; elle peut servir à écarter les résultats d'un poste d'enquête OD peu fiable.

En fonction du modèle, il sera probablement nécessaire de travailler sur un zonage agrégé : au-delà d'une vingtaine de zones, le nombre d'OD devient trop conséquent pour avoir une vision synthétique des résultats. Travailler sur un nombre restreint d'OD n'a, en outre, de sens que si elles constituent une fraction significative de la demande. Il faut aussi garder à l'esprit que désagréger des zones fait perdre en précision de résultats d'enquêtes.

Les corridors et les coupures identifiés, l'éventuel zonage agrégé mis en place, deux étapes restent à effectuer : établir quelles liaisons OD sont conservées dans quels corridors et donner un ordre de vérification des corridors. Ces étapes relèvent nettement de la connaissance du contexte et de l'expertise du modélisateur. Une première approche pourrait néanmoins être la suivante :

- trier les corridors par classes de distance ;
- sélectionner les OD composant les corridors les plus longs (du type Benelux - Espagne) ;
- retirer ces OD des corridors plus courts, sélectionner les OD composant les corridors dans la classe de longueur suivante et continuer ainsi de manière itérative ;
- pour l'analyse, procéder dans l'ordre inverse : porter tout d'abord une attention particulière aux corridors courts, puis augmenter progressivement les classes de distance.

L'idée de cette procédure est d'une part de n'avoir dans l'analyse de chaque corridor qu'un nombre restreint mais significatif d'OD, et d'autre part de vérifier dans un premier temps le modèle localement, i.e. dans le secteur d'étude, pour s'assurer notamment de la bonne description du réseau, avant d'élargir le périmètre aux liaisons de transit.

4.3 - Principes de la vérification d'un corridor

Pour le corridor étudié, il convient dans un premier temps de lister les itinéraires, de les classer selon le temps et le coût de parcours et d'identifier leurs parts de marché constatées (soit en recomposant une valeur unique, soit en lisant les résultats de chaque poste d'enquêtes composant l'itinéraire). Cette étape permet de repérer immédiatement si certains itinéraires sont inefficaces (plus longs et chers que tous les autres). Si cet itinéraire a une utilisation constatée non négligeable, deux cas se présentent :

- soit il existe une incertitude sur la description du réseau : niveau de congestion insuffisamment pris en compte d'un itinéraire, coût du péage déviant fortement des moyennes nationales, ... ;
- soit la spécification du modèle n'est pas adaptée à l'analyse du corridor : cela peut notamment être le cas lorsque le zonage d'affectation est trop agrégé et empiète sur le corridor.

Trier les itinéraires selon le coût et le temps de parcours permet de largement enrichir l'analyse des résultats. En regroupant les résultats selon trois classes d'itinéraires : chers et rapides, peu coûteux et lents et intermédiaires, l'analyse des résultats sur la coupure peut s'interpréter selon le tableau ci-après. Ceci permet de séparer les cas selon des situations standard relativement simples à étudier, qui nous permettent d'exposer différentes stratégies d'amélioration du modèle. Il convient toutefois de ne pas perdre de vue que la réalité peut s'avérer nettement plus complexe, avec des résultats très différents à l'intérieur d'une classe d'itinéraires.



Notons que la sélection par les Modules Sétra de TransCAD des seuls itinéraires efficaces conduit à ce que le tri des OD selon le coût ou le temps de parcours produit la même classification que celle présentée ici : pour la suite, les OD sont regroupées selon le temps de parcours.

Situation	Trafic sur itinéraires rapides	Trafic sur itinéraires intermédiaires	Trafic sur itinéraires lents	Trafic sur coupure
1	-, 0 ou +	-, 0 ou +	-, 0 ou +	-
2	-	-	-	-
3	-, 0 ou +	-, 0 ou +	-, 0 ou +	+
4	+	+	+	+
5	-	-	+	0
6	-	+	-	0
7	-	+	+	0
8	+	-	-	0
9	+	-	+	0
10	+	+	-	0

- Manque de trafic
- 0 Trafic correctement reproduit
- + Surplus de trafic

Tableau 18 - Situation de calage d'un corridor

A ce stade du modèle, les ajustements possibles sont nombreux, il faut néanmoins faire la différence entre :

- la vérification de la constitution du modèle (offre et demande de transport) : ici, il s'agit de données mesurables et en partie mesurées, les ajustements consistent principalement en des corrections d'erreurs ou en une détection de choix trop simplificateurs. Si une difficulté particulière survient (par exemple : doutes sur la bonne reproduction de la congestion), une campagne de relevés complémentaires est la seule méthode réellement acceptable pour améliorer le modèle ;
- l'ajustement de la valeur du temps et du malus : ces données n'étant pas mesurables directement, il est conseillé de conserver dans un premier temps les valeurs issues de l'analyse globale et de travailler sur les données mesurables. Si cela ne s'avère pas suffisant, un calage de ces paramètres (par une méthode heuristique ou par une méthode statistique) peut être envisagée (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?).

4.4 - Situations de calage d'un corridor

Pour faciliter la compréhension, et à l'exception des cas 1 à 4, les situations sont nommées en fonction de l'itinéraire dont les résultats sont de signe opposé à ceux des deux autres itinéraires : ainsi la situation 5 se nomme "trop de trafic sur les itinéraires lents", ce qui signifie selon cette convention que les deux autres itinéraires ont un manque de trafic.

Par ailleurs, le fichier Excel Tests_Situations_Calage.xls joint au rapport en annexe 4 vous permet d'effectuer des tests simples sur les reports qui devraient se produire (hors effet de congestion).

4.4.1 - Situation 1 : manque de trafic sur la coupure

Face à ce constat, il faut :

- vérifier l'importation de la matrice dans le logiciel de modélisation (somme des trafics VL/PL par rapport au fichier importé) et le pourcentage de la matrice qui a été affecté (somme des trafics sur les connecteurs) ;
- examiner si certaines OD contournent la coupure selon le modèle alors qu'elles ne le devraient pas. Vérifier le trafic sur la coupure en ajoutant ces OD. Si le problème disparaît, il s'agit d'une difficulté d'affectation. Sinon, la matrice est à reprendre ;
- examiner les OD qui passent par plusieurs coupures (problème de combinaison des postes) et corriger éventuellement ces OD. En outre, les flux passant uniquement par la coupure examinée peuvent également

avoir été mal estimés. Le résultat de l'estimation (optimale) des OD passant par plusieurs coupures peut être réutilisé pour redresser d'autres OD ;

- examiner si le niveau global de finesse du réseau est adapté à celui de la matrice OD et supprimer des arcs en conséquence.

4.4.2 - Situation 2 : manque de trafic sur la coupure - cas particulier d'un manque de trafic sur tous les itinéraires identifiés

Outre les solutions correspondant à la situation 1, le problème peut provenir de l'appartenance de la coupure à un macro-itinéraire (élément combinant plusieurs itinéraires dont les routes empruntées sont identiques sur une forte portion du trajet) moins attractif dans le modèle qu'il ne l'est dans la réalité. Cela signifie donc que le corridor a été mal défini et que d'autres itinéraires doivent lui être ajoutés pour avoir une coupure satisfaisante.

4.4.3 - Situation 3 : trop de trafic sur la coupure

Dans ce cas, il faut :

- vérifier l'importation de la matrice dans le logiciel de modélisation (somme des trafics VL/PL par rapport au fichier importé) et le pourcentage de la matrice qui a été affecté (somme des trafics sur les connecteurs) ;
- examiner si certaines OD de ces postes d'enquête peuvent ou devraient contourner la coupure puis vérifier le trafic sur la coupure en retirant ces OD : si le problème disparaît, il s'agit d'une difficulté d'affectation. Sinon, la matrice est à reprendre ;
- examiner les OD qui passent par plusieurs coupures (problème de combinaison des postes) et corriger éventuellement ces OD. En outre, les flux passant uniquement par la coupure examinée peuvent également avoir été mal estimés. Le résultat de l'estimation optimale des OD passant par plusieurs coupures peut être réutilisé pour redresser d'autres OD ;
- examiner si le niveau global de finesse du réseau est adapté à celui de la matrice OD : ajouter des arcs en conséquence.

4.4.4 - Situation 4 : trop de trafic sur la coupure - cas particulier si tous les itinéraires identifiés ont trop de trafic

Outre les solutions correspondant à la situation 3, le problème peut provenir de l'appartenance de la coupure à un macro-itinéraire (élément combinant plusieurs itinéraires dont les routes empruntées sont identiques sur une forte portion du trajet) plus attractif dans le modèle qu'il ne l'est dans la réalité. Cela signifie donc que le corridor a été mal défini et que d'autres itinéraires doivent lui être ajoutés pour avoir une coupure satisfaisante.

4.4.5 - Situation 5 : trop de trafic sur les itinéraires lents

Face à cette situation, nous recommandons de :

- vérifier la description des itinéraires lents et la bonne intégration des contraintes limitant le niveau de service ;
- mettre en œuvre la démarche identifiée, qui conduira à augmenter le malus sur les itinéraires lents et :
 - soit augmenter la moyenne de la distribution des valeurs du temps ;
 - soit augmenter le malus sur les itinéraires intermédiaires (à une valeur plus faible que celle des itinéraires lents).

4.4.6 - Situation 6 : trop de trafic sur les itinéraires intermédiaires

Dans ce cas de figure, il est conseillé de mettre en œuvre la démarche identifiée au (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?), qui conduira :

- soit à augmenter le malus sur les itinéraires intermédiaires tout en restant à une valeur plus faible que celle des itinéraires lents ;

- soit à donner une valeur de malus identique aux itinéraires lents et intermédiaires et augmenter la moyenne et l'écart-type de la valeur du temps.

4.4.7 - Situation 7 : manque de trafic sur les itinéraires rapides

Ici, il s'agit aussi de mettre en œuvre la démarche identifiée au (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?), qui conduira :

- soit à augmenter la moyenne et l'écart-type de la distribution des valeurs du temps ;
- soit à augmenter les malus sur les itinéraires lents et dans une moindre mesure les itinéraires intermédiaires.

4.4.8 - Situation 8 : trop de trafic sur les itinéraires rapides

La démarche identifiée au (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?) peut également être mise en œuvre, elle conduira à diminuer la moyenne de la distribution des valeurs du temps et à augmenter le malus sur les itinéraires lents, voire dans une moindre mesure sur les itinéraires intermédiaires.

4.4.9 - Situation 9 : manque de trafic sur les itinéraires intermédiaires

La démarche identifiée au (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?) peut également être mise en œuvre, elle conduira à diminuer la moyenne de la distribution des valeurs du temps et :

- soit diminuer l'écart-type de la distribution des valeurs du temps ;
- soit augmenter le malus sur les itinéraires lents.

4.4.10 - Situation 10 : manque de trafic sur les itinéraires lents

La démarche identifiée au (cf. § 4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?) peut également être mise en œuvre, elle conduira à diminuer la moyenne de la distribution des valeurs du temps et :

- soit augmenter l'écart-type de la distribution des valeurs du temps ;
- soit augmenter le malus sur les itinéraires intermédiaires (à une valeur plus faible que celle des itinéraires lents).

4.5 - Valeurs du temps vs. Malus : comment choisir ?

En l'absence d'études de référence récentes sur ces paramètres, il est recommandé d'être très prudent dans leur ajustement. En ce qui concerne la valeur du temps, le lecteur pourra néanmoins se reporter au rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux en 2001 [11] et à des études particulières comme celle de F. Leurent sur les valeurs du temps des automobilistes à Marseille [14]. Ces ajustements doivent être effectués après que le modélisateur s'est assuré de manière exhaustive de la bonne description du niveau de service sur le réseau.

En l'état des connaissances, le modélisateur devra trouver un compromis le plus acceptable possible entre la modification de la valeur du temps et celle du malus. Il pourra procéder de la manière suivante en effectuant successivement 4 étapes distinctes :

- vérification du réseau ;
- valeurs tutélaires ;
- ajustement du malus par heuristique ;
- calibrage des valeurs du temps et du malus.

4.5.1 - Vérification du réseau

A ce stade, le réseau devrait être correctement codifié, de telle sorte que le niveau de service réel soit reproduit. Il s'agit ici d'une condition nécessaire à un ajustement satisfaisant des paramètres d'affectation. En fonction de l'effort consenti à ce stade du calage, il pourra donc s'avérer pertinent de procéder à une vérification du réseau (cf. § 5 - *L'offre de transport*).

4.5.2 - Valeurs tutélaires

Avant d'entrer dans des procédures de calibrage de la valeur du temps à l'aide de préférences déclarées ou révélées, il semble pertinent d'exploiter au maximum la possibilité donnée par les valeurs tutélaires de définir des distributions de valeur du temps distinctes selon les OD en fonction de leur structure (distance, motif de déplacement ou nature de marchandises transportées et distribution des revenus de l'origine et/ou de la destination). L'outil de référence dans ce contexte est constitué par le rapport *Transports : choix des investissements et coût des nuisances* [11]. Nous pouvons ici en rappeler les principales conclusions, basées notamment sur l'analyse comparative des résultats d'enquêtes de préférences révélées ou déclarées. Si les distributions de valeur du temps obtenues sont très variables, certaines tendances ont pu être constatées :

- « selon les motifs : les valeurs du temps pour déplacements professionnels sont de l'ordre de 70 % à 80 % du coût salarial total ; les valeurs du temps pour déplacements domicile-travail de l'ordre des 3/4 de la valeur du temps de déplacement professionnel ; les valeurs du temps pour déplacements « autres motifs » de 30 à 50 % de la valeur du temps de déplacement professionnel » ;
- « la valeur du temps semble croître avec le revenu, mais plutôt moins vite (élasticité de 0,5 à 1) » ;
- « la valeur du temps pour les trajets urbains est inférieure à la valeur du temps pour les trafics interurbains » ;
- « la valeur du temps augmente avec la durée du déplacement » ;
- « enfin la valeur du temps dépend des conditions de déplacement (pénibilité) : rapportée à ce qu'elle est dans les conditions d'un confort normal, la valeur du temps augmente avec l'inconfort ».

Valeur du temps proposée en milieu urbain par voyageur (euros 1998/h)				
Motif de déplacement	% du coût salarial	% du salaire brut	France entière (euros 1998/h)	Ile-de-France (euros 1998/h)
Déplacement professionnel	61%	85%	10,50 €	13 €
Déplacement Domicile-Traail	55%	77%	9,50 €	11,60 €
Autres déplacements (achat, loisir, tourisme, etc.)	30%	42%	5,20 €	6,40 €
Lorsqu'on ne dispose pas du détail de trafics par motifs. Prendre une valeur moyenne pour tous les déplacements.	42%	59%	7,20 €	8,80 €

Tableau 19 - Valeur du temps en milieu urbain par voyageur, issu du rapport *Transports : choix des investissements et coût des nuisances* [11]

Les valeurs à retenir pour les déplacements de voyageurs sont synthétisées dans le tableau ci-dessus pour le milieu urbain et le Tableau 20 - Valeurs du temps en interurbain par VL pour le milieu interurbain. Pour le milieu interurbain, il semble néanmoins plus pertinent d'utiliser une valeur du temps définie comme une fonction continue de la distance. Partant de l'expérience du RST mettant en évidence que les valeurs du temps à utiliser sont généralement plus élevées que les valeurs tutélaires, nous avons retenu la fourchette haute de la courbe pour l'estimation.

Distance du déplacement	Valeur du temps (€ 2000 / h)	Valeur du temps préconisées pour la modélisation (€ 2000 / h)
Distance < 20 km	9,88	0,1765 d + 9,88
Distance de 20 à 50 km	13,41	0,01168 d + 11,07
Distance de 50 à 400 km	0,0304 d + 15,39	0,0498 d + 14,42
Distance > 400 km	34,36	34,36

Tableau 20 - Valeurs du temps en interurbain par VL

Ces éléments permettent de différencier les moyennes des distributions de valeurs du temps en fonction de la classe de distance, du motif de déplacement et de la distribution des revenus. Sur ce dernier point, il convient en outre de garder à l'esprit que l'écart-type de la distribution log-normale des valeurs du temps est défini en fonction de la distribution des revenus (cf. F. Leurent [14]). Or, des indicateurs (médiane, décile, voire écart-type) sont couramment disponibles pour caractériser les revenus par commune de résidence, par exemple sur le site de l'Observatoire des Territoires [46]. Ceux-ci peuvent donc fournir des éléments d'estimation des écarts-types de distribution de la valeur du temps par commune origine et/ou destination.

L'intégration de ces paramètres nécessite néanmoins de pouvoir définir une distribution de valeur du temps par OD. En pratique, cette possibilité est plus ou moins évidente à mettre en œuvre dans les logiciels.



Dans les Modules Sétra de TransCAD, ceci est théoriquement possible mais les modèles dont le zonage est de grande taille peuvent inciter à ne pas souhaiter définir une distribution de la valeur du temps par OD. Une alternative satisfaisante consiste à définir des groupes d'OD ayant les mêmes distributions de valeurs du temps, en fixant des moyennes espacées entre elles de 1€/h pour limiter le nombre de classes.

En ce qui concerne, la valeur du temps du transport routier de marchandises, les valeurs tutélaires ne permettent pas d'effectuer une telle différenciation des flux OD selon leur structure. Des études et éléments de calcul sont disponibles sur le site du CNR pour la valeur du temps du transport routier de marchandises [47].

On retiendra finalement qu'il est possible à l'aide de documents de référence de différencier les moyennes de la distribution des valeurs du temps VL/PL par OD, voire l'écart-type, en se fondant sur une bonne connaissance économique du fonctionnement des flux.

4.5.3 - Ajustement du malus par heuristique

Le malus permet de capter, par une approche indirecte, les éléments intervenant dans le choix d'itinéraires qui ne peuvent pas être mesurés. Ainsi, tant que tous les éléments de description du réseau directement mesurables n'ont pas été examinés (par exemple, l'effet de la pente sur la consommation ou la détermination de temps de parcours réaliste), il est recommandé de se concentrer sur cette phase de l'amélioration du modèle plutôt que sur l'ajustement des malus.

Avant d'exposer comment procéder à cet ajustement du malus, il convient tout d'abord de rappeler que celui-ci doit être justifié par l'existence d'éléments de prise de décision non intégrés dans le modèle. Ainsi, l'instruction sur l'évaluation économique des projets routiers [17] intègre déjà des pénalisations pour les VL liées aux caractéristiques des axes, rappelées dans le tableau ci-dessous. Si ces éléments constituent les seules références disponibles, il convient de rappeler qu'il s'agit d'éléments calibrés en utilisant un modèle d'affectation stochastique fondé sur la loi d'Abraham de répartition entre les itinéraires (cf. rapport Ariane – TransCAD [37] pour plus de détails sur ce modèle).

Type de malus	Valeur du malus VL (en € 2000 / véh/km)
Chaussée unique	0,026 €/véh/km
Carrefours non dénivelés	0,017 €/véh/km
Caractère non autoroutier	0,007 €/véh/km
Accès non limité	0,007 €/véh/km

Tableau 21 - Valeurs des malus VL par type de malus, issu de l'instruction [17]

Cette approche semble ne pas reproduire l'intégralité des malus pouvant intervenir :

- absence de malus PL liés aux éléments du tableau ;
- absence de malus lié directement au confort de circulation, en fonction de l'état de la chaussée ou de sa configuration (sinuosité, étroitesse de la chaussée, traversée d'agglomération : éléments importants pour les choix d'itinéraires, notamment pour les PL) ;
- caractérisation insuffisante des aléas de temps de parcours liés à la difficulté d'effectuer des manœuvres de dépassement (visibilité, importance du trafic dans le sens opposé) : le malus devrait être fortement variable en fonction des spécificités locales ;

- non prise en compte des effets liés à la signalisation (souvent favorable aux axes à caractère autoroutier) ou à l'accidentologie, ...

L'ajustement du malus s'effectue sur les axes appartenant à un itinéraire non autoroutier trop utilisé et pour lesquels des éléments de justification tels que présentés ci-dessus peuvent être mis en avant. Le malus sur ces axes est augmenté progressivement et de manière itérative jusqu'à obtention de la répartition constatée entre itinéraires. Il convient d'anticiper les effets de report qui vont se produire : le trafic se reportera a priori sur les itinéraires efficaces les plus proches en coût de l'itinéraire sur lequel l'ajustement est effectué (ou si ce dernier est de coût minimal sur l'itinéraire le plus proche en coût). En fonction des réserves de capacité de ces itinéraires, un transfert sur d'autres itinéraires peut également entrer en considération. Les ajustements à produire sur ces différents axes sont donc à coordonner selon s'ils entrent ou non en concurrence sur les OD examinées.

Par ailleurs, il convient de procéder à une correction par groupe d'OD, dans l'ordre croissant de distance de ces OD. Les OD de courte distance permettent en effet de travailler sur des petites sections d'axe et donc de construire une représentation du niveau de service de l'axe beaucoup plus fine que les OD de longue distance. Néanmoins, si la congestion joue un rôle important dans le secteur d'étude, une détermination simultanée pour toutes les OD est indispensable.

A l'issue de cet ajustement, il convient d'examiner les valeurs des malus de manière :

- relative : les différences obtenues sur les malus des différents axes sont-elles pertinentes ?
- et absolue : le malus dépasse-t-il le coût kilométrique sur autoroute concédée ?

4.5.4 - Calibrage des valeurs du temps et du malus

Si les valeurs de malus obtenues sont trop élevées, sans qu'elles puissent conduire à une justification ou à une correction du réseau, il s'agit de procéder à une estimation conjointe du malus et de la valeur du temps. La méthode de référence est mise en œuvre dans le rapport sur les valeurs du temps de F. Leurent [14], décrite dans le rapport de convention Sétra-Inrets, Comparaison entre deux principes d'affectation du trafic routier [25] et exposée dans l'encadré suivant.

Comment déterminer conjointement le malus et la valeur du temps par la méthode du maximum de vraisemblance ?

Constituer une base de données désagrégées d'enquêtes OD formant une coupure. Chaque axe d'enquête constitue une alternative i .

Reconstituer les valeurs des variables (temps de parcours T_i , coût de parcours C_i , malus par type de routes M_i) des différentes alternatives.

Former des fonctions d'utilité pour chaque individu n

$$U_i(n) = \alpha \times T_i(n) + \beta \times \left(C_i(n) - \sum_{\text{Typesderoute}} M_i(\text{type}, n) \right) + \sum_{\text{Typesderoute}} \gamma_{\text{type}} \times M_i(\text{type}, n) + \theta_i$$

Le modèle doit permettre d'estimer conjointement α , β , γ_{type} et θ_i , avec α suivant une distribution lognormale dont la moyenne et la médiane sont à estimer (la moyenne pouvant être dépendante de la distance). Par ailleurs, une des valeurs θ_i doit être fixée nulle.

Définir des valeurs initiales de ces paramètres (par défaut : 0).

Pour procéder à l'estimation, on utilise le postulat de rationalité des individus qui cherchent à maximiser leur utilité. En utilisant un modèle déterministe (modèle prix-temps) ou stochastique (modèle Logit, voire Probit), il est possible de calculer en fonction des valeurs prises par U_i la probabilité $P(i^n)$ d'utilisation de l'alternative i^n effectivement choisie par l'individu n . Ceci permet de construire une fonction de vraisemblance à maximiser :

$$L = \prod_n P(i^n)$$

Pour des raisons de calcul (la vraisemblance a une valeur très faible qui est difficile à gérer), la log-vraisemblance est utilisée en pratique comme fonction à maximiser. La résolution se fait à l'aide d'une méthode d'optimisation, par exemple la méthode du gradient. Différents logiciels permettent d'effectuer cette tâche : par exemple, Excel dispose d'un solveur qui réalise cette tâche. Il est néanmoins préférable d'utiliser des logiciels spécialisés, tels que Biogeme [48] (pour une formulation de type Logit ou Probit), qui fournissent des tests statistiques permettant de s'assurer de la fiabilité des résultats.

NB : l'optimisation peut se retrouver piégée par un maximum local : il convient donc de tester le modèle avec plusieurs jeux de valeurs initiales des paramètres, notamment des valeurs, a priori, proches des résultats attendus.

Il est préférable de travailler sur une coupure présentant des choix d'itinéraires simples entre deux points de choix, ceci à cause de deux effets :

- d'une part, les enquêtes OD donnent une information sur l'utilisation d'un point de passage et non d'un itinéraire. Or, un point de passage peut appartenir à plusieurs itinéraires donc à plusieurs alternatives. Il en résulte qu'il est impossible dans le cas général de déterminer l'alternative choisie. La fonction à optimiser devrait donc être modifiée en conséquence, en déterminant la probabilité d'utilisation du point de passage et non plus de l'itinéraire. Ceci nécessite l'utilisation d'une procédure d'optimisation ad hoc et empêche l'emploi de logiciels spécialisés tels que Biogeme [48];
- d'autre part, lorsque les itinéraires sont complexes, ils peuvent devenir corrélés. Or, certains modèles (modèle Logit multinomial par exemple) supposent l'indépendance des alternatives. Détecter la corrélation entre les alternatives complique considérablement la tâche de modélisation.

L'utilisation d'un modèle stochastique plutôt qu'un modèle déterministe est incohérente avec la loi d'affectation déterministe utilisée dans les Modules Sétra. Ainsi, F. Leurent [14] trouve des moyennes de la distribution des valeurs du temps 4 fois plus élevées avec un modèle déterministe (basé sur une distribution log-normale des valeurs du temps) qu'avec les modèles stochastiques (cf. Tableau 16 - Recommandations du Model Validation and Reasonableness Checking Manual pour la modification des courbes BPR). Néanmoins, le modèle stochastique présente un avantage important : il permet de différencier la variabilité des choix liée à la distribution de la valeur du temps de la variabilité liée à l'erreur résiduelle (par exemple : la connaissance imparfaite des niveaux de service). Dans l'étude de F. Leurent [14], la part de variabilité attribuable aux valeurs du temps est ainsi de 2/3 et celle de l'erreur résiduelle de 1/3.

Model	Value-of-time (F/h)			$\sigma_{\Delta e'}$	Log likelihood
	Mean	Median	SD		
Logit with fixed VoT	63.0	63.0	0	8.37	-1 599.3
Probit with fixed VoT	60.2	60.2	0	7.60	-1 596.7
Log-Normal VoT ; no alea	253	58.2	1070	0	-1 471.9
Log-Log VoT, no alea	381	59.2	-	0	-1 453.5
Logit with Log-Normal VoT	70.3	56.5	52.2	7.17	-1 587.8
Logit with Log-Log VoT	73.0	56.9	76.7	7.12	-1 587.8
Logit with Uniform VoT	63.6	63.6	51.5	7.05	-1 587.4

Tableau 22 - Résultats de l'estimation de la valeur du temps - issu de F. LEURENT [26]

Enfin, l'utilisation de constantes modales θ_i présente un intérêt local particulier pour le calage : des valeurs sensiblement différentes de 0 permettent de détecter des itinéraires, pour lesquels la description du réseau "ne capte pas" l'intégralité des paramètres de description du niveau de service. Une analyse spécifique est alors nécessaire.

5 - Analyses de détail

Le modèle fonctionne correctement et les concurrences entre itinéraires pour les différents corridors sont reproduites, cela signifie qu'une partie importante du calage est réalisée. Il reste désormais à s'assurer que l'affectation fournit des résultats satisfaisants sur certains points de détail, garants de la crédibilité du modèle, dont quelques exemples sont cités ici :

- pour l'étude d'un projet de déviation, le modèle devra reproduire les comptages sur l'itinéraire à dévier ;
- pour des études visant à diminuer la congestion, les temps de parcours des axes saturés devront être correctement reproduits ;
- pour une étude de modulation du tarif du péage, il faut s'assurer d'une bonne reproduction des effets d'évitement des itinéraires à péage, ...

5.1 - De la reproduction des comptages

A ce stade de vérification du modèle, si les ajustements ont été faits de manière satisfaisante, chercher à reproduire un comptage ne devrait pas aboutir à effectuer des modifications en profondeur. Les différences entre l'affectation et les comptages sont à chercher au niveau local. On peut distinguer les deux cas, selon que les résultats d'affectation soient supérieurs ou inférieurs aux comptages.

5.1.1 - Résultats d'affectation inférieurs aux comptages

Pour les modèles interurbains, il s'agit du cas le plus courant, lié à la méthode de constitution de la demande de transport via des enquêtes OD :

- généralement, l'écart est lié aux trous de la matrice OD ou au trafic interne à la zone qui ne peut être reproduit. Pour tous les arcs n'ayant pas fait l'objet d'enquêtes OD, un préchargement local par la différence entre le comptage et le résultat d'affectation peut être envisagé. Pour les arcs ayant fait l'objet d'enquêtes OD, le préchargement se fait uniquement avec la somme des flux OD non inclus dans la matrice ;
- dans certains cas, des problèmes très locaux peuvent survenir : taille de la zone trop importante, mauvaise position du connecteur, utilisation d'une route de desserte locale comme itinéraire alternatif. Les corrections à effectuer sont dans ce cas relativement évidentes en fonction du diagnostic.

5.1.2 - Résultats d'affectation supérieurs aux comptages

Ce cas peut être nettement plus problématique, car il s'agit probablement d'une erreur liée au modèle et non d'une difficulté inhérente à la spécification. Il faut dans un premier temps rechercher des sources d'erreur locales : taille de la zone trop importante, mauvaise position du connecteur, absence de codification d'une route de desserte locale qui est utilisée comme itinéraire alternatif, ...

S'il n'y a pas d'erreurs locales et si les choix d'itinéraires dans le ou les corridor(s) concerné(s) sont satisfaisants, les erreurs d'échantillonnage pour la constitution de la matrice sont certainement déterminantes : la répartition des flux au sein de la macrozone, dans laquelle la ou les zone(s) sont située(s) à proximité immédiate du comptage, est erronée. Il convient de la modifier en procédant par une méthode heuristique : conserver la valeur des flux de la macrozone et diminuer progressivement les flux des zones proches du comptage au profit des autres zones jusqu'à reproduire le comptage, puis s'assurer que la modification reste dans la marge d'erreur de l'estimation des flux (cf. 4.1 - *Choix des postes d'enquêtes, combinaison optimale*).

5.2 - Vérifier les temps de parcours

Si des données de temps de parcours sont disponibles, la vérification de leur bonne reproduction doit intervenir très en amont de la constitution du modèle. Les temps de parcours conditionnent en effet les conditions de concurrence entre itinéraires et une modification vient donc rompre l'équilibre d'affectation obtenu.

Dans le cas où des données de temps de parcours sont produites tardivement et que le calage du modèle a déjà été largement effectué, différents cas se présentent :

- s'il n'y a pas de congestion, seuls les ordres de grandeur sont importants, afin d'avoir un calcul économique non faussé : on peut donc accepter une marge d'erreur relativement élevée, d'autant plus que l'échantillon de mesures disponibles est souvent relativement faible. Des écarts importants sont révélateurs d'un calage biaisé : une explication doit être identifiée afin de corriger le modèle en conséquence. Par exemple, il se pourrait que les trafics sur les différents types d'arcs soient tous surestimés d'un facteur identique. Une telle situation, dans un secteur où tous les axes routiers sont d'accès gratuits, rendrait le modèle invalide pour effectuer des prévisions de trafic sur un projet d'infrastructure à péage. La réalisation de mesures de temps de parcours peut donc s'avérer un moyen très efficace de contrôle d'un modèle ;
- si des situations de congestion sont effectivement constatées à partir d'un échantillon de mesures conséquent (par exemple les relevés individuels de vitesses d'une station SIREDO sur un mois), le modèle doit être analysé plus en détail au niveau des temps de parcours. Si les résultats en moyenne annuelle ne sont pas satisfaisants au vu des données, une profonde modification du modèle est nécessaire et il peut notamment être utile de chercher à construire deux modèles pour les périodes de pointe et creuse.

5.3 - Quels phénomènes sont correctement pris en compte ?

Au début du processus de modélisation, ainsi qu'indiqué au paragraphe 1.2 – Modèle et territoire, une identification des phénomènes à reproduire est pertinente : elle permettra d'améliorer la crédibilité du modèle. Nous rappelons que ces phénomènes peuvent être de deux natures :

- soit ils interviennent au niveau global ou sur un corridor ;
- soit ils interviennent au niveau local.

Dans leur premier cas, la vérification de la bonne prise en compte de ces phénomènes doit être intégrée aux démarches identifiées pour chacun des deux niveaux global et local d'analyses. Ceci peut être le cas par exemple d'un phénomène d'évitement du péage.

Dans le second cas, un calage à la fin du processus de modélisation est largement satisfaisant. Il peut par exemple s'agir de l'utilisation d'une route de desserte locale comme itinéraire de substitution.

Chapitre 7

Phase IV : validation du modèle

Après avoir vérifié de nombreux paramètres, la construction d'un modèle est pratiquement terminée, la phase que nous abordons maintenant est la validation. Cette phase de validation permet de :

- s'assurer que le modèle est en mesure de reproduire correctement des données ou phénomènes qui n'ont pas été pris en compte pendant le calage lors des étapes précédentes. On considèrera alors qu'il est capable d'être utilisé en projection pour réaliser des simulations de déplacements sur des scénarios différents ;
- vérifier l'absence de biais systématique dans le modèle ;
- rendre les résultats du modèle crédibles, gage d'une utilisation la plus objective et d'une diffusion la plus large possibles.

Dans le chapitre 2, nous avons vu que cette étape de validation, si elle est clairement identifiée dans la littérature (cf. 1.1.2 - Deux concepts distincts : calage, validation), est rarement mise en œuvre dans les modèles opérationnels ou souvent partiellement (par exemple pour certaines étapes seulement d'un modèle à 4 étapes). La principale raison souvent avancée est celle du nombre limité de données : les chargés d'études préfèrent en effet dans ce cas utiliser toutes les données à leur disposition pour le calage. En conséquence, certaines solutions de validation par des tests de sensibilités ou par comparaison des paramètres calés avec d'autres grandeurs usuellement utilisées dans les modèles sont également proposées dans la littérature et mises en œuvre dans la pratique.

Finalement, pour s'assurer de cette validation du modèle, le chargé d'études peut donc :

- dans une situation idéale de disponibilité des données, s'appuyer sur un jeu de données différent et effectuer le même calcul des indicateurs quantitatifs que ceux présentés dans le rapport de calage et listés dans le chapitre 2 ;
- dans les autres cas, vérifier que son modèle est robuste par des tests de sensibilité et que son paramétrage est cohérent par rapport à d'autres modèles de déplacement similaires. Nous recommandons alors d'effectuer certains tests incontournables.

Selon les objectifs du modèle, le chargé d'études pourra proposer au maître d'ouvrage de procéder à un recueil de données spécifique pour pouvoir valider son modèle afin de se rapprocher du cas idéal.

Ces analyses quantitatives permettent de remplir les deux premiers objectifs de la validation (le poids des données et phénomènes omis, l'absence de biais systématique). Le dernier objectif (la crédibilité du modèle), le plus difficile à atteindre, est exclusivement à réaliser en lien avec l'appropriation du modèle par le maître d'ouvrage. Notamment, il conviendra :

- d'une part d'éviter l'effet boîte noire, en produisant un rapport de calage détaillant exhaustivement les hypothèses prises, paramètres et données utilisées ;
- d'autre part d'avoir une parfaite connaissance du modèle pour être en mesure d'expliquer rapidement tout résultat contre-intuitif.

1 - Valider avec le maître d'ouvrage

La validation du modèle avec le maître d'ouvrage est un processus complexe qui n'aboutit pas nécessairement à une décision tranchée : le maître d'ouvrage peut ainsi décider d'utiliser les résultats du modèle mais en ayant certains doutes sur sa qualité. Cette situation est à éviter et deux éléments nous semblent être d'une grande utilité pour participer à une démarche transparente :

- présenter un rapport de calage permettant d'éviter l'effet boîte noire ;
- élaborer une stratégie pour rendre le modèle crédible.

1.1 - Le rapport de calage

A l'issue du travail de calage, il est recommandé de rédiger un rapport de calage pour assurer :

- la transparence du modèle ;
- la pérennité du modèle ;
- l'appropriation du modèle par le maître d'ouvrage.

Pour atteindre ces objectifs, ce rapport devra contenir :

- un indicateur global de calage incluant une analyse des écarts entre trafics observés et modélisés ;
- une ou plusieurs carte(s) de calage afin de visualiser dans l'espace la qualité du modèle ;
- une synthèse sur le calage des concurrences entre itinéraires ;
- une documentation des principaux changements effectués au fur et à mesure du calage.

1.1.1 - L'indicateur global de calage

Cet indicateur a déjà été abordé à deux étapes dans le document : d'une part, les principales options possibles ont été présentées au *chapitre 2 § 1.3.1 - Les indicateurs* ; d'autre part l'importance d'un indicateur global pour mesurer l'amélioration du modèle a été soulignée au *chapitre 3 § 3.2.2 - Mise en place d'indicateurs de reproduction des comptages*. On rappelle notamment que cet indicateur est à construire dans différents types de modèles :

- **urbains** : l'indicateur sera construit à l'aide de l'ensemble des comptages disponibles dans le secteur d'étude ;
- **régionaux** : l'indicateur sera construit à l'aide d'une sélection de comptages que le modèle doit pouvoir reproduire. Cette sélection devra être établie avant le lancement du calage en accord avec le maître d'ouvrage. A défaut, il s'agira des arcs sur lesquels des résultats d'enquêtes OD sont disponibles ;
- **de projet** : l'indicateur ne saurait être construit à l'aide de comptages. Le seul indicateur qui présente un intérêt serait une comparaison des flux OD observés sur un arc avec les résultats de l'extraction des chevelus de cet arc.

Par ailleurs, cet indicateur n'a qu'un intérêt très modéré en valeur absolue : il est relativement simple d'obtenir un indicateur de calage satisfaisant en effectuant des modifications irréalistes (*cf. § 3.3.2 - Utilisation de préchargements*). En valeur relative, il est intéressant à deux titres :

- en lien avec la documentation du calage du modèle, il met en valeur les modifications des paramètres et des variables d'entrée auxquelles le modèle est le plus sensible. L'indicateur devrait donc être présenté dans son contexte chronologique ;
- entre différents modèles similaires, il ne remplace certes pas une comparaison qualitative du calage mais il vient la compléter sur le plan quantitatif.

Ne donnant qu'une seule valeur, les indicateurs standard (pourcentage d'erreur moyen, %RMSE, ...) présentent l'avantage d'une grande simplicité, ce qui facilite l'interprétation. Néanmoins, ils sont peu explicatifs et des analyses complémentaires (du type cartes de calage) sont nécessaires pour détecter les améliorations à apporter. Il sont donc surtout utiles pour apprécier rapidement l'intérêt d'une modification du modèle. Ils peuvent également être déclinés par type de voies ou par corridor pour enrichir l'analyse, ce qui nécessite une anticipation préalable des défauts du modèle. Par exemple, si le modélisateur perçoit une mauvaise reproduction de la concurrence entre itinéraires à péage et itinéraires gratuits, l'indicateur de calage pourra être décliné sur les deux groupes d'arcs des réseaux concédés et non concédés.

Une façon plus explicative de présenter un indicateur global de calage est de tracer sur un graphique :

- les points représentant les couples trafic observé/résultat du modèle ;
- la droite $y = x$;
- les courbes correspondant aux limites minimum et maximum qu'on admet pour la reproduction des comptages ;
- et la droite de régression entre le modèle et les comptages.

Une analyse un peu plus fine consiste également à calculer ces droites moyennes par type de voirie, pour s'assurer que tous les types de routes sont correctement modélisés. Le graphe ci-dessous a déjà été vu au paragraphe 2.3.2.5 - Méthode de travail Baie de Seine/Île de France. Une alternative possible est de produire un graphique avec la valeur absolue de l'erreur en abscisse et le pourcentage d'erreurs en ordonnées.

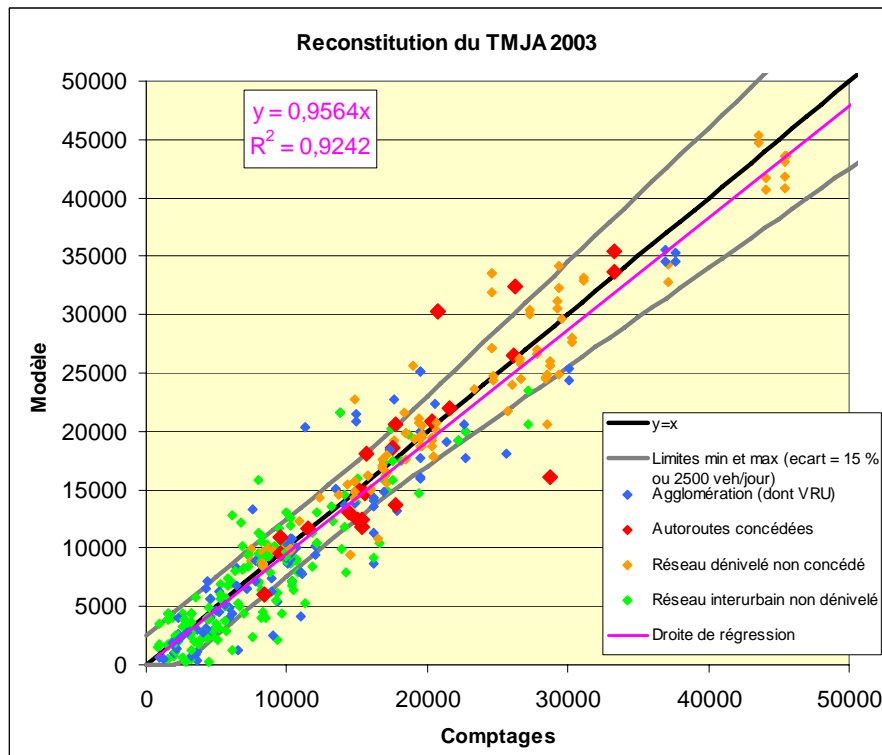


Figure 30 - Exemple de comparaison des comptages et flux modélisés

Ce graphique est riche d'enseignements. Tout d'abord, le coefficient de la droite de régression obtenue permet d'analyser si le modèle est en sur ou en sous-affectation, tandis que le coefficient de détermination indique la dispersion des résultats par rapport à cette régression : plus la valeur est proche de 1, plus le modèle est précis. Cependant des valeurs trop proches de 1 doivent également attirer l'attention, car il se pourrait qu'un artifice tel que le préchargement ait été utilisé pour caler le modèle. Ensuite, les courbes des limites minimum et maximum des résultats acceptables mettent en évidence les points particuliers qui devront faire l'objet de vérifications spécifiques. En outre, les valeurs de pourcentage d'erreur et d'erreur maximum retenues sont un résultat objectif de calage du modèle, qui peut être facilement présenté et compris par un maître d'ouvrage. Finalement, la coloration des points (ici par type de voies mais cela peut également être fait par corridor, ...) et leur position fournit des indications sur des biais systématiques de concurrence entre itinéraires. Il est même possible de tracer des droites de régression particulières par ensemble de points pour quantifier les problèmes d'affectation.

Au-delà d'une représentation graphique des écarts comme celle proposée ci-dessus, il est utile de quantifier et de mentionner dans le rapport de calage les écarts entre flux modélisés et observés. Pour cette quantification, on peut, de façon simple, calculer les écarts absolus ou relatifs et mentionner sur l'ensemble des points de comparaison pertinents, la part des points s'écartant de 5%, 10%, 20%, ... des observations (de même avec des valeurs absolues en nombre de véhicules par jour). Mais il semble finalement plus adapté de retenir pour cela l'indicateur GEH, qui s'impose de plus en plus pour apprécier la qualité des modèles de déplacements. Cela est dû au fait qu'il permet de prendre en compte non seulement les erreurs absolues et relatives mais également de minorer les erreurs relatives importantes sur des flux absolus faibles. Sa formule est rappelée ici :

$$GEH = \sqrt{\frac{(f - c)^2}{(f + c)/2}}$$

où : f sont les flux affectés et
c les comptages.

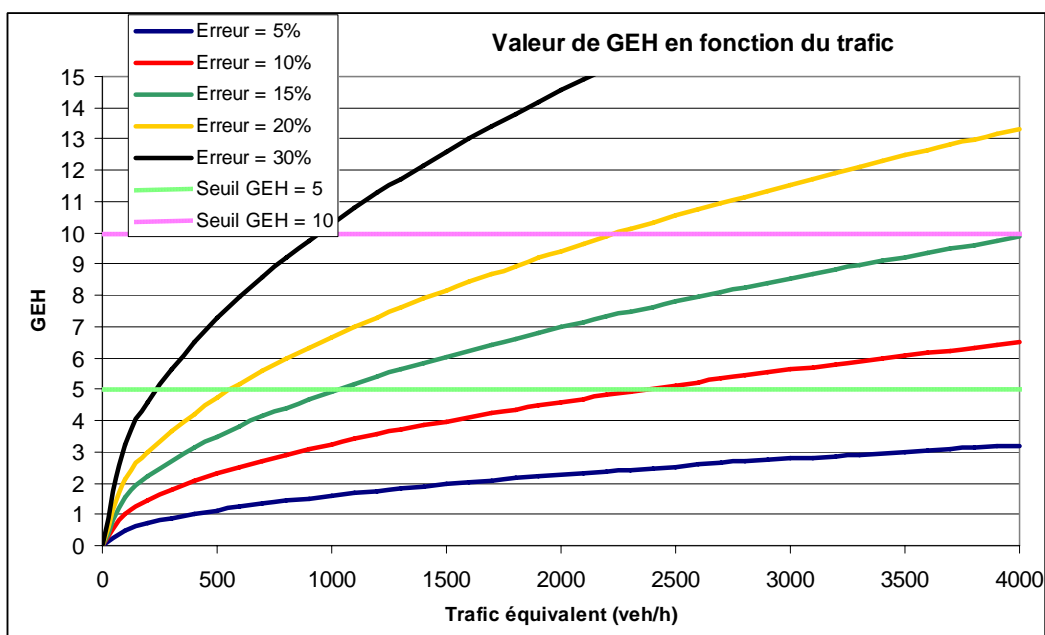


Figure 31 - Trafic et GEH admissible en fonction de l'erreur

Les valeurs de GEH sont représentées pour une erreur négative en fonction du pourcentage d'erreur et du trafic équivalent (véh/h) sur le graphique ci-dessus. Les seuils retenus usuellement (GEH = 10 pour une correction indispensable et GEH = 5 pour une attention particulière) sont à utiliser pour des trafics horaires. Pour une erreur de 15%, seuls les arcs de plus de 1 000 véh/h doivent donc attirer l'attention et ceux de plus de 4 000 véh/h sont à corriger impérativement. Pour une erreur de 30 %, il s'agit des arcs de respectivement plus de 200 véh/h et plus de 1 000 véh/h.

Pour conclure sur les indicateurs de calage, on rappelle que ce type d'analyse n'est utile que lorsque la demande est relativement complète. Dans le cas contraire, il n'est pas utile d'essayer de valider le modèle en regardant les écarts en volume, forcément importants, mais plutôt en itinéraires. En revanche, les cas où la demande modélisée est clairement supérieure à la demande réelle sont le plus souvent inacceptables. Un indicateur, portant sur les flux OD empruntant les arcs où des enquêtes OD sont disponibles, est envisageable, mais il est relativement lourd à mettre en œuvre.

1.1.2 - L'analyse des cartes de calage

Les cartes d'affectation sont un élément incontournable du rapport de calage. A minima, trois cartes seront produites :

- une carte dite de préchargement montrant l'importance du préchargement par rapport au trafic affecté ;
- une carte dite de différence, représentant les différences absolues en épaisseur de traits et relatives en couleurs permettant notamment d'identifier les lieux auprès desquels un problème persiste ;
- une carte dite de calage indiquant sur une sélection d'arcs stratégiques sélectionnés au préalable avec le maître d'ouvrage, la valeur des flux affectés et celle des comptages.

En fonction de l'importance du trafic PL dans la composition actuelle ou anticipée des flux du secteur d'étude, ces cartes devront être produites à la fois pour les VL et pour les PL. La carte de calage fera exception à cette règle et devra distinguer VL et PL dans tous les cas.

1.1.2.1 - Cartes de préchargement

La carte de préchargement est à présenter en premier : le pourcentage du préchargement par rapport au trafic total y est indiqué selon un code couleur. Elle permet de constater immédiatement dans quelle mesure et dans quels secteurs les autres types de cartes sont pertinents. Notamment, il convient d'identifier les modèles où le trafic de la quasi-totalité des arcs est composé majoritairement de préchargements. En reprenant l'exemple de la carte du cf. § 3.3.2 - Utilisation de préchargements (carte ci-dessous), il apparaît clairement que les cartes

d'affectation ne présenteront que peu d'intérêt et que le calage devra être jaugé exclusivement à l'aune des itinéraires. En effet, en dehors de la RN19 qui est l'axe étudié, tous les axes ont des préchargements correspondant à plus de 80 % du trafic total.

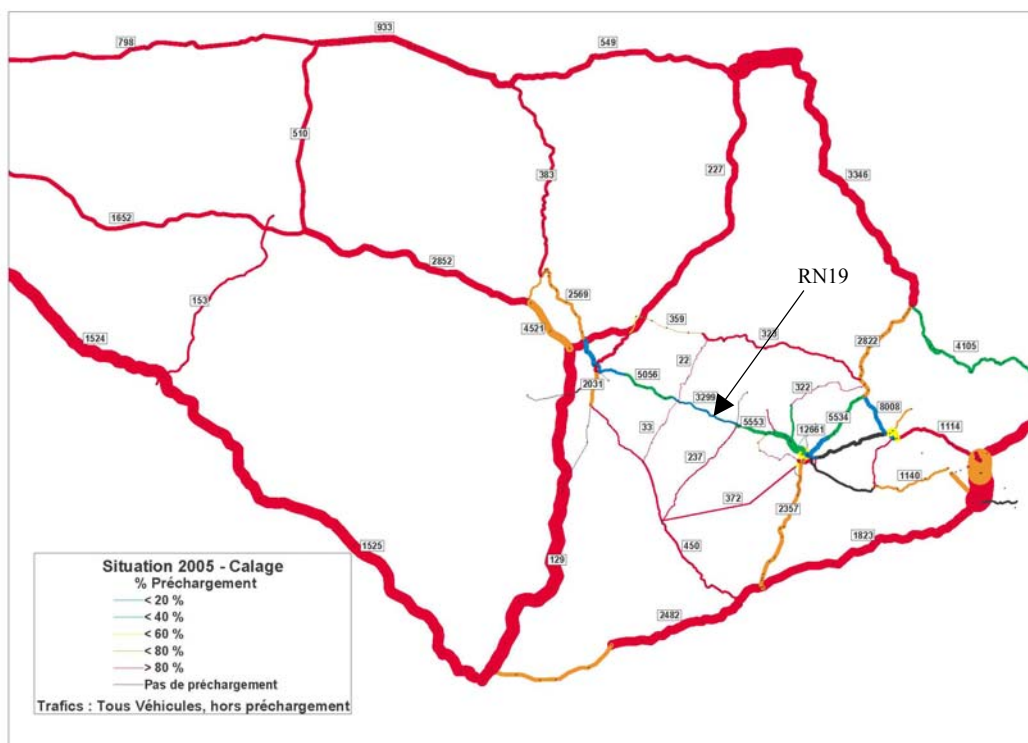


Figure 32 - Exemple de carte de préchargement pour le calage

La carte ci-après est quant à elle réalisée pour l'étude de l'autoroute A37 Besançon-Poligny. En épaisseur de traits, ce sont les trafics affectés qui sont représentés. En couleur, ce sont les proportions de trafic reconstitués. Par complément, en dehors des arcs pour lesquels le trafic reconstitué est supérieur aux comptages, on peut donc déterminer les préchargements. Contrairement à la situation de la carte précédente, le modèle constitué ici permet de reconstituer une portion non négligeable (> 50 %) des flux sur deux itinéraires concurrents : A36 – A39 d'une part et N83 d'autre part. L'information est déjà suffisamment complète : la carte de différences est donc peu pertinente ; la carte de calage correspondra quant à elle à une carte de présentation des comptages.

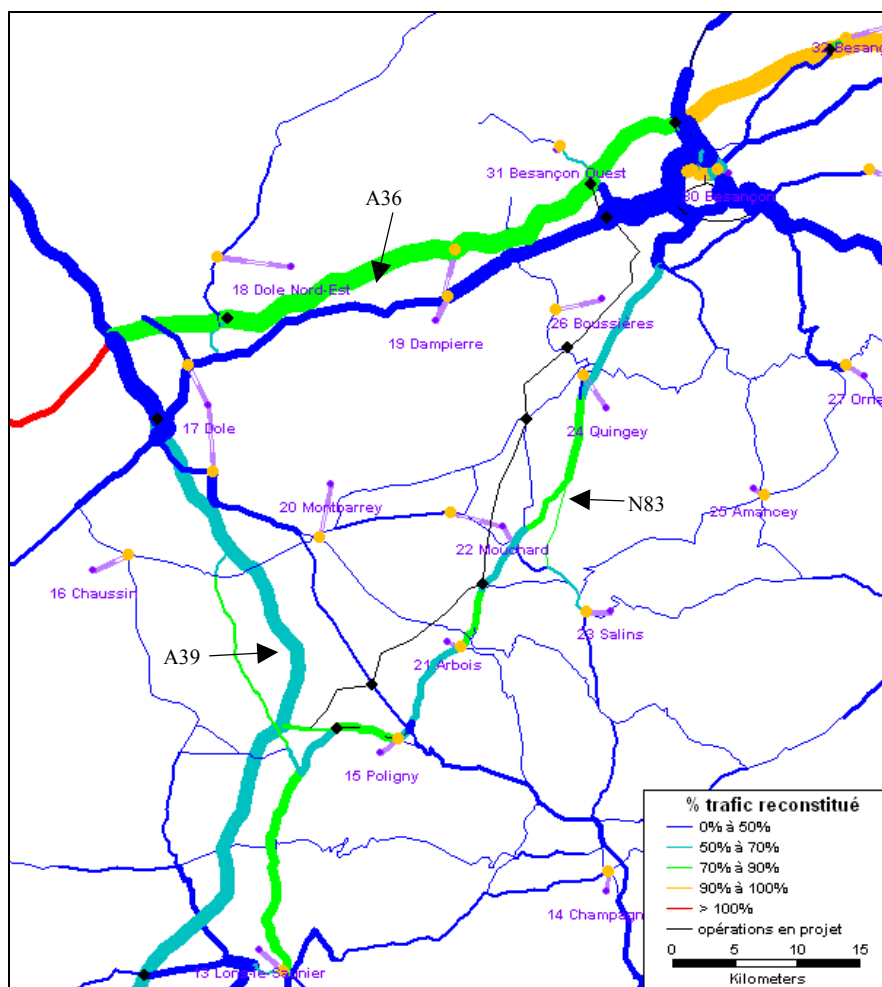


Figure 33 - Carte des écarts entre le trafic modélisé et le trafic observé

Les deux exemples présentés correspondent à des modèles faisant recours au préchargement généralisé. Pour ces modèles, la carte de préchargement contient d’ores et déjà toutes les informations utiles pour cette étape : le calage en itinéraires sera l’indicateur le plus approprié. Une carte présentant les comptages utilisés doit également être jointe.

Pour les modèles ayant recours à un préchargement ponctuel, la carte de préchargement reste intéressante afin d’avoir l’information sur les secteurs particuliers du modèle où cette méthode a été utilisée. Ceci permet d’anticiper les limites du modèle pour l’étude de projets précis.

1.1.2.2 - Cartes de différence

La carte de différence ne présente un intérêt que pour les modèles n’ayant pas recours au préchargement généralisé. Cette distinction est relativement aisée à effectuer : les modèles avec préchargement généralisé ont toujours une valeur de comptage par arc du modèle, tandis que les modèles sans préchargement généralisé ont généralement de nombreux trous dans la densité des comptages sur le réseau.

La carte de différence présente les écarts entre comptages et résultats du modèle en différence absolue par l’épaisseur de traits et relative en couleurs. Deux cartes distinctes pour les VL et pour les PL sont à produire dans la plupart des cas, en fonction du contexte de l’étude. Comme alternative, on pourra également présenter le GEH en codes couleurs, calculé sur le trafic équivalent horaire par sens. Les codes couleurs devront faire apparaître clairement les seuils $GEH=5$ et $GEH=10$ et la chaleur des couleurs dépendra du signe de la différence entre le résultat d’affectation et les comptages (on présentera $-GEH$ pour les sous-affectations et $+GEH$ pour les sur-affectations). L’exemple suivant est issu de l’étude Baie de Seine – Île-de-France (cf. Rappels sur l’utilité des modèles de déplacements où le sujet des cartes de différence est également commenté en tant qu’outil d’aide au calage).

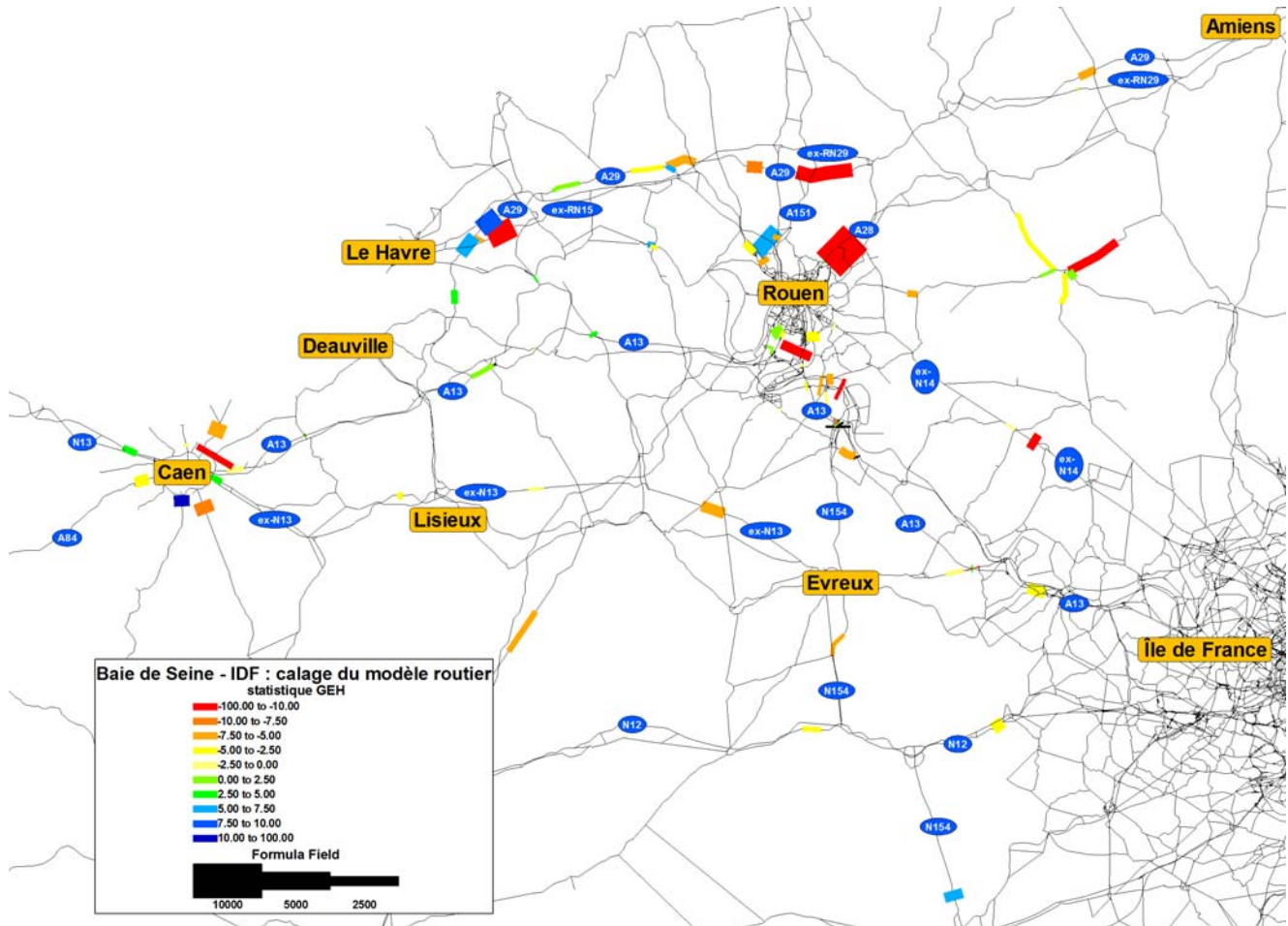


Figure 34 - Exemple de carte de différence pour le modèle Baie de Seine – Ile-de-France

Le principe de la carte de différence est illustré par cet exemple : les écarts entre modèle et comptage sont présentés sur une sélection d’arcs du modèle définie au préalable (dans le cas présent, il s’agit des arcs pour lesquels des enquêtes OD sont disponibles). Les problèmes d’affectation subsistant apparaissent immédiatement. Par exemple, le modèle Baie de Seine – Ile-de-France n’est pas en mesure d’analyser correctement le choix d’itinéraire au nord de Rouen entre A151 et A28 : il privilégie trop fortement l’A151. A contrario, les concurrences entre A13, ex-N13, ex-N14 et N12 ou entre l’usage du pont de Tancarville et du pont de Normandie pour rejoindre Le Havre semblent correctement reproduites : sur chaque axe, la plupart des comptages ont un GEH inférieur à 5.

1.1.2.3 - Cartes de calage

Les cartes de calage sont les éléments les plus utiles au maître d’ouvrage, car leur lecture est très aisée : des étiquettes, se référant à des arcs précis correspondant à des stations de comptages permanents ou des sites de comptages temporaires sélectionnés au démarrage de l’étude, indiquent les valeurs des comptages et les résultats du modèle. La carte peut alors être examinée arc par arc pour discuter des défauts et qualités du modèle. Sur l’exemple ci-après du calage du modèle du sillon lorrain, le maître d’ouvrage pourrait par exemple s’interroger sur le résultat de l’arc le plus au sud-ouest (sur l’A31 dans sa portion concédée) : le résultat d’affectation n’est que de 12 800 véh/jour alors que le comptage donne une valeur de 17 700 véh/jour. Au vu de l’objectif de l’étude, l’analyse d’un projet d’autoroute concédée nord-sud, des doutes peuvent donc être émis sur la pertinence du modèle, qui conduisent à une discussion approfondie sur les origines de cette erreur d’affectation (dans ce cas la très forte variabilité des flux saisonniers sur cette autoroute – le trafic atteint 27 000 véh/jour au mois de juillet contre 12 000 véh/jour au mois de janvier – et des flux hebdomadaires – de 14 000 véh/jour un

lundi de septembre à 21 500 véh/jour un vendredi de septembre). Le maître d'ouvrage a alors en sa possession une bonne partie des éléments de décision pour valider le calage du modèle.

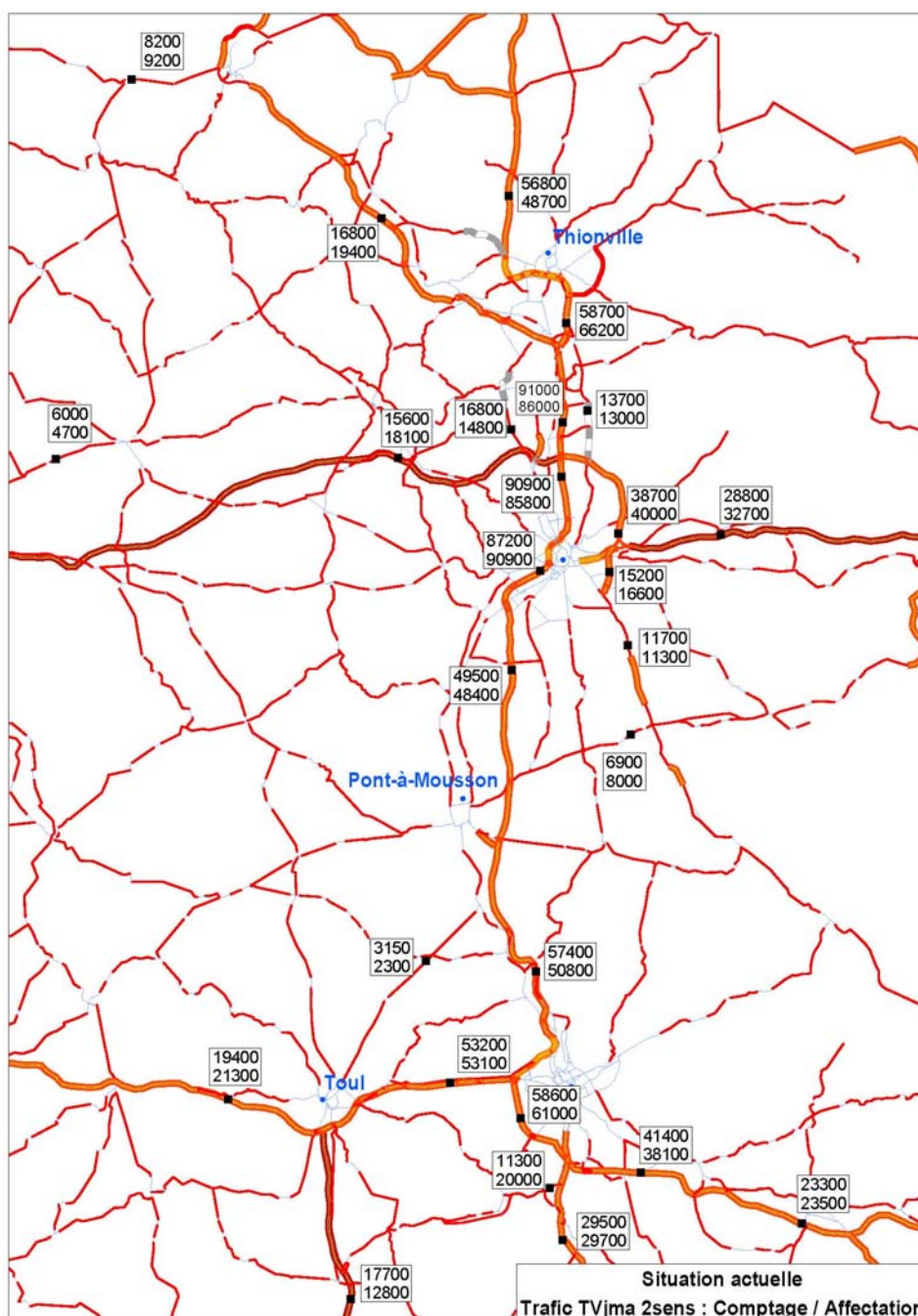


Figure 35 - Exemple de carte de calage pour le modèle du sillon lorrain

Néanmoins, comme précisé précédemment, ce type de cartes n'est pas valable pour les modèles utilisant les préchargements généralisés. En effet, cette analyse se résume dans ce cas à une carte de comptages. Elle reste pourtant utile, et c'est le deuxième intérêt de ce type de carte vis-à-vis du maître d'ouvrage, car elle délimite clairement la connaissance du trafic. Les résultats des scénarios testés par le modèle comprennent toujours des cartes d'étiquettes de valeur de ce type. Étant donné que la validité du modèle n'est vérifiée que sur les arcs pour lesquels un comptage est disponible, il est nettement préférable que les cartes des résultats futurs ne tiennent compte que de ces arcs. La carte de comptage correspond alors à la limite des résultats que le maître d'ouvrage est en mesure d'attendre du modèle. Elle peut donc conduire à envisager des recueils de données complémentaires : dans cette optique, cette carte est à présenter au démarrage du calage du modèle, puis elle conserve toute sa pertinence dans le rapport de calage.

Enfin, dans ce cas spécifique des préchargements généralisés, la présentation du calage des concurrences entre itinéraires est la seule manière de connaître le fonctionnement du modèle. C'est également un complément utile, voire indispensable, pour les autres types de modèle.

1.1.3 - La validation des concurrences entre itinéraires

Lors du calage du modèle, une sélection de corridors a été effectuée (cf. § 4 - Analyse des répartitions d'itinéraires au sein des corridors). Le rapport de calage présentera les résultats obtenus sur ces liaisons, comme sur le tableau suivant, pour rendre compte du calage de la concurrence entre l'A4 et la RN4, qui a également permis de calibrer les valeurs du temps.

Valeur du temps VL				Répartition enquêtes VL			
Moyenne	70			Enquêtes		Modèle	
Ecart type	0.9			%A4	%RN4	%A4	%RN4
Origine	Destination	Différence temps (min)	Différence coût (€)				
Paris	Nancy	13.97	11.94	54%	45%	63%	36%
Reims	Nancy	4.78	7.09	32%	68%	38%	62%
Strasbourg	Paris	53.59	26.41	87%	13%	84%	16%
Lille	Nancy	4.78	7.1	56%	44%	38%	62%
Mulhouse	Metz	10.34	14.5	63%	37%	41%	59%
Colmar	Metz	10.34	14.5	51%	49%	41%	59%
Sarrebouurg	Paris	18.36	17.62	48%	53%	58%	42%
Strasbourg	Reims	39.62	15.08	86%	14%	90%	10%
Chalons en champagne	Paris	21.63	9.19	91%	9%	88%	12%
				%RN4	%A5	%RN4	%A5
Troyes	Paris	30.43	7.24	15%	85%	3%	97%

Tableau 23 - Exemple d'analyse du calage des choix d'itinéraires pour la concurrence A4-RN4

Un autre exemple en est présenté ci-après pour le modèle de trafic développé pour l'étude de l'A150 au nord de Rouen.

TABLEAU DE RECALAGE

Origine	Destination	A 150				Tancarville				Pont de Brotonne				RD 982			
		Enquêtes		Modèle		Enquêtes		Modèle		Enquêtes		Modèle		Enquêtes		Modèle	
		VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL	VL	PL
Fécamp	RouenRD	844	35	1066	47	29	4			135	19	62	4	13		29	1
	Rouen_Gauche	85	11	55	0			12	0	36		73	0			1	0
	La Vaupalière	40	4	183	6												
	Total Rouen	969	50	1304	53	29	4	12	0	171	19	135	4	13	0	30	1
Yvetot	RouenRD	2987	159	2690	145					179	16	41	4	72		16	1
	Rouen_Gauche	155	77	151	49					46	10	65	38				
	La Vaupalière	249	18	532	16									3			
	Total Rouen	3391	254	3373	210					224	26	106	42	72	3	16	1
Bolbec	RouenRD	311	38	304	42	84	6	46	6	47	6	5	0	24		9	0
	Rouen_Gauche	26	32	53	0			78	0			16	0				
	La Vaupalière	40		40	11												
	Total Rouen	377	70	397	53	84	6	124	6	47	6	21	0	24	0	9	0
Le Havre	RouenRD	2116	322	1860	349	3170	654	3273	589	57	25	4	0	138	63	126	8
	Rouen_Gauche	159	6	23	6	272	86	358	88	26		3	0				
	La Vaupalière	81	19	696	100									6			
	Total Rouen	2356	347	2579	455	3442	740	3631	677	84	25			138	69	126	8
Caudebec Rive Droite	RouenRD	72		110	0					189	22			356	34	166	0
	Rouen_Gauche	59	21							47	7			39	3	3	0
	La Vaupalière	8		63	0										10	36	0
	Total Rouen	139	21	173	0					236	29			395	47	205	0
St Romain de Colbosc	RouenRD	99	32	53	0	291	51				9			11		3	0
	Rouen_Gauche	19		8	2	40	21	64	18			2	0				
	La Vaupalière	4		101	15												
	Total Rouen	122	32	162	17	331	72	64	18	0	9	2	0	11	0	3	0
Criquetot	RouenRD	16	14	85	0	58		9	0		3			13		2	0
	Rouen_Gauche	20	2	8	1			10	1			2	0				
	La Vaupalière	4		14	91												
	Total Rouen	40	16	107	92	58	0	19	1	0	3	2	0	13	0	2	0
Lillebonne	RouenRD	328	29	535	0	228	92	231	0	277	32	130	0	193	38	130	0
	Rouen_Gauche	10	32	11	0	21	14	51	0	41	25	52	0		28	1	0
	La Vaupalière	14	4	129	0										10	19	15
	Total Rouen	352	65	675	0	249	106	282	0	318	57	182	0	193	76	150	15
Lillebonne	A13 est	46	32	16	11	388	223	289	203	260	50	335	96				
Le Havre	A13 est	46	105	97	59	3735	1421	3849	1550	79	43	70	12	6			
Fécamp	A13 est	53	32	62	11	112	7	58	0	381	43	440	0				
Yvetot	A13 est	115	10	154	20					445	77	406	66				
Total		8005	1034	9099	981	8429	2579	8328	2455	2245	387	1699	220	859	201	541	25

Reproduction erronée										236				395		205	
Reproduction passable	1321	65	1979	0	388		289			803	29	623			123		15
Incohérence matrice / enquête	40		107		331		64							72		16	
Bonne reproduction	6645	969	7013	981	7709	2579	7975	2455	1206	358	1076	220	392	78	320	10	

Tableau 24 - Exemple d'analyse du choix d'itinéraires pour l'étude de l'A150

L'affectation consistant à déterminer les itinéraires permettant de relier une origine à une destination et à répartir les flux de l'OD entre ces itinéraires, on comprend que ces tableaux sont en fait les seuls éléments qui permettent de mesurer précisément et directement la qualité du modèle. Leur production devrait donc être incontournable dans un rapport de calage :

- si le calage a été effectué en analysant les itinéraires, leur production devrait être très aisée :
- si le calage a été réalisé uniquement sur les comptages, par exemple pour un modèle de type urbain, la vérification des itinéraires constitue une validation du modèle. La répartition des flux sur les itinéraires représente en effet un jeu de données différent de celui utilisé pour le calage.

La vérification du choix d'itinéraires doit être réalisée avec une certaine tolérance. En effet, la qualité des mesures n'est pas aussi précise que pour les comptages car l'échantillon de données est souvent de l'ordre de 10 à 20% du trafic du jour d'enquête, soit moins de 0,05 % du trafic d'une année complète. En conséquence, l'erreur sur l'observation elle-même n'est pas négligeable. Il s'agit donc de réaliser un contrôle de l'ordre de grandeur des résultats du modèle par rapport aux observations. Dans l'exemple de la concurrence entre A4 et RN4, seuls les flux entre Mulhouse et Metz d'une part, Lille et Nancy d'autre part semblent moins bien calés ; cela reste acceptable.

S'il est donc inconcevable de produire un indicateur global de différence entre modèle et comptage avec un seuil à atteindre, cette analyse est néanmoins utile comme mesure de l'amélioration du modèle. C'est l'esprit du calage effectué pour le modèle permettant d'étudier l'A37 entre Besançon et Poligny. La concurrence entre itinéraires analysée dans cette étude est celle du corridor Besançon-Poligny, avec deux chemins possibles : N83 ou A36 puis A39 (cf. carte du paragraphe 5.1.1.2). Il suffit donc de comparer les chevelus donnés par le modèle

sur la N83 avec les flux OD enquêtés sur cet axe. Un pourcentage d'erreur moyen peut être calculé, qui permet de contrôler aisément l'avancement du calage. Le tableau de calcul correspondant est présenté ci-après.

Origine	Destination	N83_VL05	N83_PL05	TCAD_VL05	TCAD_PL05	Delta VL	Delta PL	Ecart relatif
Total		7629	1055	5711	1062	+ou - 1726	+ou - 718	28%
13 Lons-le-Saunier	30 Besancon	1275	52	1252	127	-24	+75	+4%
23 Salins	30 Besancon	789	8	789	8	-0	+0	+0%
11 Haut-Jura	30 Besancon	581	31	578	32	-4	+1	-0%
21 Arbois	30 Besancon	514	32	515	32	+0	+0	+0%
15 Poligny	30 Besancon	446	17	531	32	+85	+16	+22%
14 Champagnole	30 Besancon	427	29	427	29	-0	-0	-0%
22 Mouchard	30 Besancon	399	18	399	18	-0	+0	+0%
03 Grand Sud-Est	30 Besancon	170	99	0	115	-170	+16	-57%
03 Grand Sud-Est	35 Alsace	100	127	0	67	-100	-60	-70%
23 Salins	24 Quingey	193	3	192	3	-0	-0	-0%

Tableau 25 - Exemple de l'analyse du choix d'itinéraires sur l'étude de l'A37

1.1.4 - La documentation des modifications apportées au modèle lors du calage

Pendant la réalisation du calage, il est recommandé de tenir une main courante des modifications apportées au modèle. Elle constitue surtout une justification du travail de calage et pourra être annexée au rapport. Elle doit contenir au minimum :

- la date de réalisation des différents tests ;
- les numéros de version du modèle testés si plusieurs spécifications existent en parallèle ;
- l'emplacement du fichier de description du zonage sur lequel les tests sont effectués ;
- la valeur des paramètres qui sont modifiés ;
- la liste des arcs qui font l'objet de modifications ainsi que les valeurs fixées ;
- les modifications générales apportées à la matrice OD (ajout d'une enquête, ajustement sur des comptages, ...);
- les modifications de détail de la matrice OD ;
- l'emplacement des fichiers si le résultat est archivé ;
- les principaux résultats de calage du modèle, en version quantitative via des indicateurs globaux et qualitative avec des commentaires.

Un exemple très perfectible de main courante est présenté ci-dessous pour l'étude du sillon lorrain.

date	heure	opération
21/05/2008	15	Création du fichier de suivi du calage : valeurs initiales 23 % pour
21/05/2008	15	Connecteur Angleterre vers Belgique
21/05/2008	15	Modification du principe de l'équivalence PL : multipliée par Relief/1.75 sur autoroute et par Relief sur
21/05/2008	15	Arcs mal connectés à Bruxelles ?
21/05/2008	15	Correction algorithme de préparation à l'affectation pour bonne prise en compte de la pente sur la vitesse
21/05/2008	18	Valeur 2 du suivi du calage : 24 % pour TMJA et 28 % pour PLJA
22/05/2008	8	Différence entre affec 14 ité et 1 ité
22/05/2008	8	Découpage de l'arc 12405 / 8872 parallèle à A 31 à nancy => gain de 6 000 VL sur A 31 prévisible !
22/05/2008	8	Manque 4 000 VL sur A 31 à Gye, à diagnostiquer !
22/05/2008	8	Modification coûts VL en urbain (types 21 à 29) 17 c € => 20 c € ???
22/05/2008	8	Bascule de 1 000 PL d'A 4 sur RD 415 au fur et à mesure des itérations : trop de blocages dans Strasbourg
22/05/2008	8	A 31 Thionville, bascules de PL dans Thionville et Fensch, corriger les vitesses ! Idem A 31 / RD 1
22/05/2008	9	Modification coûts PL en urbain (types 21 à 29) 45 / 50 c € => 50 / 55 c € ???
22/05/2008	9	Redécoupage RD 415 en fonction des traversées
22/05/2008	9	RD 611 : PL à 60 km/h + type 27 sur la "queue de chat"
22/05/2008	10	Valeur 3 du suivi du calage : 22 % pour TMJA et 28 % pour PLJA
...
22/05/2008	12	Valeur 4 du suivi du calage : 22 % pour TMJA et 28 % pour PLJA
...
23/05/2008	12	Valeur 5 du suivi du calage : 18 % pour TMJA et 27 % pour PLJA
...
03/06/2008	8	Valeur 6 du suivi du calage : 18 % pour TMJA et 24 % pour PLJA
...
03/06/2008	16	Valeur 7 du suivi du calage : 18 % pour TMJA et 22 % pour PLJA

Tableau 26 - Exemple de main courante pour le calage de l'étude du sillon lorrain

En outre, ces différents éléments devront être stipulés dans le rapport :

- ouvrages, valeurs et données de référence avec lesquels le modèle de base est construit ;
- spécifications particulières introduites dès la première étape de calage ;
- ajustements statistiques effectués, basés sur les comportements individuels ou sur les variables de sortie ;
- résumé des principales phases de calage, incluant l'esprit des modifications apportées ainsi qu'un commentaire qualitatif et quantitatif sur les résultats.

1.2 - La crédibilité du modèle

L'objectif principal du rapport de calage est de rendre le modèle crédible, de faciliter son appropriation et donc de favoriser un usage de celui-ci le plus pertinent possible. De plus, assurer la transparence du modèle doit lever une partie des critiques usuelles adressées aux modélisateurs et donner l'opportunité à tous les acteurs concernés par une étude de modélisation, d'accéder à la même connaissance des limites du modèle et de les valider collectivement.

Quel que soit le degré de véracité du modèle, il est donc important avant de se lancer dans des études prospectives ou de simulation de scénarios avec un nouveau modèle, d'exposer les points forts et les limites connus du modèle au(x) maître(s) d'ouvrage et aux différents acteurs, afin que les résultats obtenus soient le plus largement partagés. Le but est d'éviter une remise en cause des résultats du modèle au moment de son exploitation en situation future.

Cependant, il convient ici de rappeler qu'un modèle est généralement utilisé lorsque les situations sont trop complexes pour pouvoir anticiper toutes les conséquences prévisibles d'une politique ou d'un projet de transport. Ceci signifie que les résultats du modèle ne sont pas toujours simples à interpréter et à expliquer. La propriété d'apporter des résultats surprenants est souhaitable lorsque le modèle est correctement calé et validé : c'est à cette condition que le modèle permettra d'enrichir la réflexion. Ces résultats ne sont néanmoins intéressants que si le maître d'ouvrage y accorde du crédit : cela suppose donc qu'il dispose d'un cadre explicatif pour analyser les différences entre scénarios. Or, la présentation d'une seule situation de modélisation, la situation de calage, n'apporte aucun élément pour élaborer ce type d'analyses. Pour augmenter la crédibilité du modèle à ce titre, deux options sont ici proposées :

- une validation rigoureuse du modèle, sur un voire plusieurs jeu(x) de données différents. Le rapport de calage doit alors mentionner les résultats de cette étape, via la présentation des indicateurs et cartographies présentés dans les paragraphes suivants ;
- dans tous les cas, différents tests d'affectation sont à effectuer : analyse rétrospective, sensibilité au péage, test du (ou des) projet(s) avec la demande actuelle, ... Le rapport de calage devra commenter les résultats et présenter une explication précise des phénomènes à l'œuvre.

2 - Valider en testant les réponses du modèle à différentes situations

2.1 - Réalisation de la validation idéale : utilisation d'un (de) jeu(x) de données différent(s)

Schématiquement, trois grands types de données sont à analyser pour la validation :

- l'offre de transport : le réseau routier et ses caractéristiques ;
- la demande de transport : la matrice OD des déplacements VL/PL ;
- les paramètres de l'affectation : valeur du temps et courbes débit-vitesse.

La situation de calage permet d'analyser les résultats du modèle pour une configuration particulière consistant en la combinaison d'un jeu de données pour chacun de ces trois grands types. Pour valider le modèle avec des jeux de données différents, sept autres configurations seraient théoriquement à étudier, telles que présentées

dans le tableau ci-dessous. Chacune de ces sept configurations peut en outre se démultiplier en autant de possibilités qu'il y a de jeux de données.

	Offre de transport		Demande de transport		Paramètres de l'affectation	
	Situation actuelle	Autre(s) jeu(x) de données	Situation actuelle	Autre(s) jeu(x) de données	Situation actuelle	Autre(s) jeu(x) de données
1	X		X		X	
2	X			X	X	
3	X		X			X
4	X			X		X
5		X	X		X	
6		X		X	X	
7		X	X			X
8		X		X		X

Tableau 27 - Présentation des scénarios théoriques pour la validation d'un modèle

Cependant, les configurations sont limitées par la disponibilité du jeu d'observation des données de sortie correspondant. Dans un premier temps, nous nous limiterons aux données de comptage. En pratique, les configurations suivantes peuvent être analysées :

- situation 2 : il s'agit d'exploiter la diversité des configurations possibles de la demande de transport pour s'assurer que le réseau a été correctement codifié. L'offre de transport est principalement étudiée grâce à ce test de validation :
 - si le modèle fonctionne sur une base horaire, la situation actuelle peut être basée sur l'heure de pointe du soir et les autres jeux de données correspondre aux autres périodes horaires modélisées ;
 - s'il fonctionne sur une base journalière, le modèle peut par exemple être décomposé en jours ouvrables, pointes saisonnières, samedi type, dimanche type ;
 - enfin, la demande peut être évaluée à deux horizons différents auxquels l'offre de transport est sensiblement similaire. Cette situation apparaît notamment lorsqu'un modèle régional est créé et mis à jour au fur et à mesure des études ;
- situation 5 : en ce qui concerne l'offre de transport, seul un recul temporel permet un recueil de données différentes de celles utilisées lors du calage : le réseau routier et autoroutier a pu connaître de fortes modifications (mises en service d'aménagements, créations d'échangeurs, variation des péages, ...). Il est dans ce cas intéressant de comparer les données de sortie du modèle en faisant varier la matrice OD selon les règles dont l'utilisation est prévue pour la prospective. La validation n'est alors pas complètement rigoureuse : les données de sortie ne correspondent pas exactement au jeu de données d'observation. Ce test de validation donne des indications sur la pertinence de la matrice OD et de ses règles d'évolution ;
- situation 6 : elle correspond à la situation 5, avec une matrice OD déterminée spécifiquement pour l'année à laquelle l'offre de transport est définie. Cette situation permet principalement de tester la pertinence des paramètres d'affectation.

Les paramètres d'affectation n'étant pas directement observables, il est en pratique impossible de les faire varier dans le processus de validation. Leur valeur sera néanmoins à adapter en fonction de la configuration de la demande d'une part, et des évolutions des courbes débit-vitesse constatées d'autre part [38].

Pour analyser la qualité de la reproduction de la situation de validation, il conviendra d'employer l'ensemble des indicateurs et cartes produits dans le rapport de calage. Ces résultats sont comparés pour les deux situations (calage et validation) : cela permet de vérifier si la qualité du modèle reste comparable dans une situation d'affectation autre que celle utilisée pour le calage.

Cette méthode n'est encore une fois valable que pour un nombre restreint de modèles : elle ne s'applique pas aux modèles faisant l'objet de préchargements généralisés. Pour ce type de modèle, il faudra étudier la corrélation entre la variation de trafic obtenue par le modèle et la variation de trafic donnée par les comptages. Cet indicateur n'est cependant pas suffisant, car il est possible que les flux non modélisés connaissent également

de fortes modifications entre les deux situations étudiées. Dans ce cas, seule une connaissance des itinéraires empruntés dans les deux situations (calage et validation) présente un intérêt.

Pour le modèle du sillon lorrain, le calage est effectué sur la situation de l'année 2003 et la validation sur la l'année 2007 (item 5 du tableau de situations). Entre ces deux horizons, un aménagement important a été mis en service, la rocade de Metz. La carte de calage a déjà été présentée (cf. 1.1.2.3 - Cartes de calage) ; la carte suivante constitue la carte de validation. Outre le trafic sur la rocade où sur la section nord-est, les comptages passent de 15 200 véh/jour à 33 100 véh/jour, l'affectation donne respectivement 16 600 véh/jour et 29 776 véh/jour. Les effets de report sur les infrastructures directement concurrentes, dont A31 en traverse de Metz ou d'augmentation de l'attractivité générale de l'axe A31 peuvent ainsi être vérifiés.



Figure 36 - Exemple de carte de validation du modèle du sillon lorrain

2.2 - Valider en « expliquant » le comportement du modèle

L'approche précédente, si elle est en toute rigueur la seule pertinente, est lourde à mettre en œuvre. De plus, les champs couverts ne reposent que sur des situations bien précises et la faisabilité de la validation idéale est donc dépendante, non seulement des données, mais aussi du contexte. Il n'est finalement pas garanti qu'elle donne des informations qui soient utiles pour les objectifs d'évaluation de scénarios spécifiques du modèle. Il en résulte que la production des premiers tests d'affectation de scénarios doit faire partie intégrante de la validation du modèle.

Ces tests d'affectation peuvent être effectués sur une fraction significative des scénarios à étudier : par exemple, lorsque plusieurs variantes d'un même projet routier assurant les mêmes fonctionnalités sont à l'étude, un des scénarios pourra être sélectionné pour la phase de validation. Cela peut être le scénario pour lequel les effets les plus importants sur le trafic sont attendus.

Pour ce scénario, ou ce groupe de scénarios, l'analyse des résultats d'affectation devra être la plus exhaustive possible. On ne saurait se contenter d'une carte de résultats d'affectation ; on cherchera à en étayer les résultats. L'analyse devra donc comprendre :

- des cartes de différence d'affectation entre la situation de référence et le scénario de validation analysé (comme sur la carte ci-dessous), permettant de visualiser les reports de trafic ;

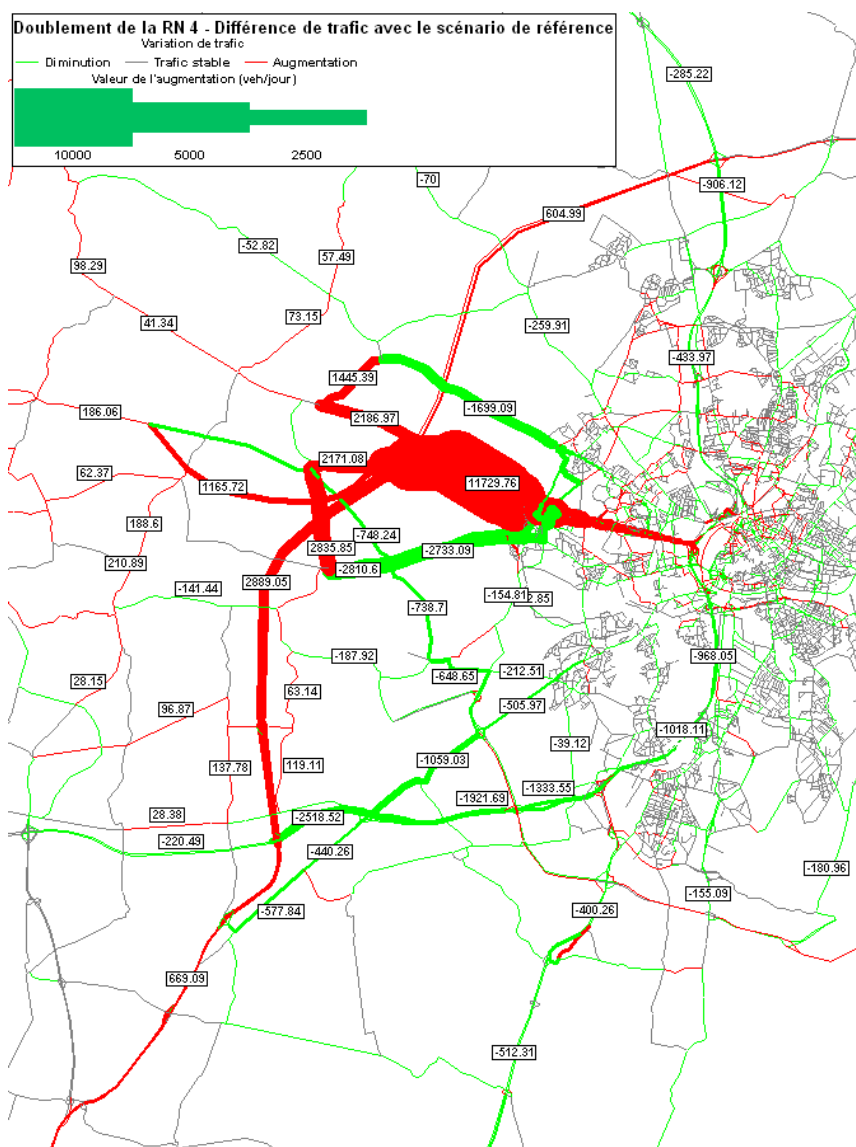


Figure 37 - Exemple de carte de différence d'affectation entre le scénario de référence et le scénario de validation sur Strasbourg

- une comparaison des utilisateurs des infrastructures en situation de référence et en situation de projet, par extraction des chevelus ;

Utilisation échangeur GCO+RN4 Bretelle	TMJA selon le scénario		Augmentation de l'utilisation
	Référence	Doublment RN4	
GCO nord vers RN4	2 900	3 500	+21%
RN 4 vers GCO nord	4 400	5 200	+18%
GCO sud vers RN4	3 300	5 000	+52%
RN4 vers GCO sud	3 300	5 100	+55%
Total	13 900	18 800	+35%

Tableau 28 - Utilisation de l'échangeur entre le Grand Contournement Ouest de Strasbourg et la RN 4 – comparaison entre la situation de référence et le scénario de projet

- si le projet implique une modification des péages d'utilisation du réseau sur le secteur d'étude, des tests de sensibilité au péage ;

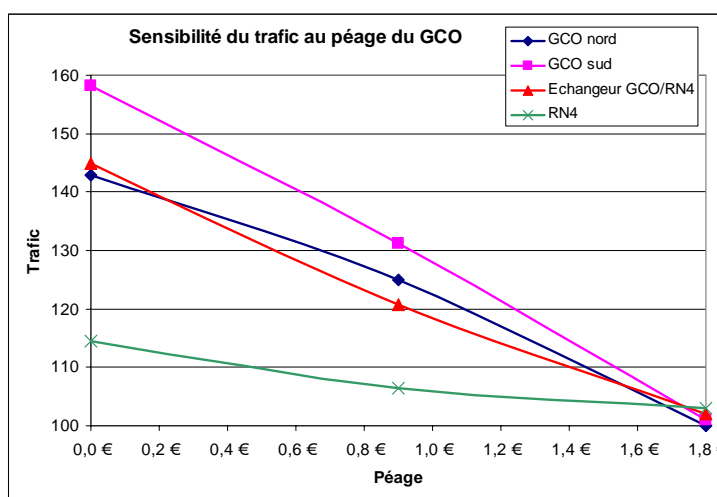


Tableau 29 - Tests de sensibilité au péage sur l'étude du Grand Contournement Ouest de Strasbourg

- si le modèle produit des résultats pour différentes périodes temporelles, pointes journalières, saisonnières, ..., une description de l'utilisation du projet ou des infrastructures principales en lien avec la cartographie de la congestion.

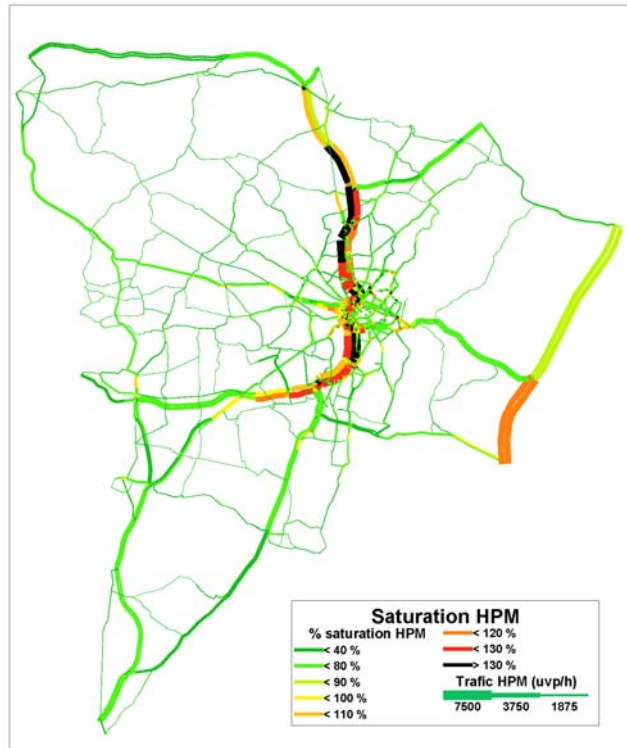


Figure 38 - Analyse de la congestion

- une analyse des résultats sur plusieurs horizons d'étude, sans hésiter à créer un scénario fictif consistant en l'affectation de la matrice actuelle sur le réseau projeté en situation de scénario ;
- une comparaison des résultats du modèle construit avec un autre modèle. Celui-ci peut être un modèle pré-existant sur la zone d'étude, un modèle construit sur une autre échelle ou selon des principes différents, ... Les résultats des deux modèles étant la plupart du temps différents, il s'agit de comprendre pourquoi, et de l'expliquer au maître d'ouvrage. Ces comparaisons sont un bon moyen de pointer les limites de chaque modèle, et de les faire partager.

Conclusion - Travaux complémentaires et perspectives d'évolution

Pour conclure, le groupe de travail sur le calage des modèles de trafic a identifié quelques travaux méthodologiques qu'il serait souhaitable de mener dans une perspective d'amélioration continue des méthodes de modélisation du trafic :

- concernant la matrice OD, nous connaissons aujourd'hui des évolutions de fond sur la prise en compte de l'incertitude qui vont se développer dans les années qui viennent, accompagnant l'idée que la matrice de demande fait bien partie des éléments à caler. Ce champ est donc à approfondir, suite aux premiers travaux réalisés avec le LVMT et le Cété de l'Est en 2009 et dans un contexte de rénovation éventuelle des outils d'exploitation des enquêtes de circulation ;
- sur les notions de réseau, il semble souhaitable de poursuivre les efforts d'investissements considérables dans la constitution de bases de données permettant une bonne description du réseau, et donc de développer les relevés de données, notamment de vitesses (à vide, en charge, ...) ;
- sur la congestion, on rappelle qu'il s'agit dans un premier temps de bien déterminer dans quelle mesure elle doit intervenir dans le modèle et que des méthodes existent pour calibrer les courbes temps-débit. Les auteurs recommandent dans un premier temps une diffusion et une pratique les plus larges possibles du calcul des facteurs de concentration ;
- en outre, un investissement dans la mise à jour des courbes débit-vitesse reste indispensable même si la congestion est rare en interurbain ;
- la notion de malus d'inconfort (VL et PL) doit être approfondie en lien avec les valeurs du temps, notamment en investiguant les incertitudes sur les temps de parcours ;
- les données d'enquêtes sont aujourd'hui sous-utilisées. Il s'agit de données de préférences révélées sur les choix d'itinéraires qui permettent de calibrer le modèle précisément comme on l'a montré ;
- enfin, cette démarche reste théorique et pas simplement applicable en totalité d'une part, et d'autre part mérite des retours d'expérience et des révisions.

Bibliographie

Ouvrages

- [1] Bureau of Public Roads (BPR), Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000), 2000.
- [2] Leurent F., Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation. Les principes, une méthode et l'exemple de l'affectation bicritère du trafic, Thèse, 1997.
- [3] Caliper, Travel Demand Modelling with TransCAD 4.8, septembre 2005.
- [4] Sétra, Guide d'utilisation des Modules Sétra de TransCAD – version 6.21, mai 2010.
- [5] Sétra, Guide d'utilisation de TransCAD pour la représentation de l'offre et de la demande de transport multimodales, Mise à jour de mai 2010.
- [6] Certu – Sétéc, Modélisation des déplacements urbains de voyageurs - Guide des pratiques, 2003.
- [7] Bonnel P. – LET. Prévoir la demande de transport. Guide de formation à la modélisation des transports, Mise à jour du 15 avril 2002.
- [8] FHWA, Model Validation and Reasonableness Checking Manual, février 1997.
- [9] DREIF – MVA, Recherche bibliographique sur les méthodes de calage, 2008.
- [10] California Department of Transportation, Travel Forecasting Guidelines, novembre 1992.
- [11] Commissariat Général du Plan, Transports : choix des investissements et coût des nuisances - dit rapport "Boiteux II". Rapport du groupe d'experts présidé par Marcel Boiteux, Juin 2001.
- [12] Ortuzar Juan de Dios, Willumsen Luis G., Modelling Transport – Third Edition, Wiley, 2002.
- [13] Pfeffer M.. Toll Demand Forecasting – a Dual-Criteria Assignment Model. Cranfield Center for Logistics & Transportation. MSc Thesis, juillet 2001.
- [14] Leurent F., Les valeurs du temps des automobilistes à Marseille en 1995, RS n°60, 1998.
- [15] Department for Transport (Royaume Uni), TAG Unit 3.10.3. Variable Demand Modelling – Key Processes. Transport Guidance Analysis, septembre 2005.
- [16] Michigan Department of Transport, Minimum Travel Demand Model Calibration and Validation Guidelines for State of Tennessee, 2003.
- [17] DGR, Instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers interurbains, version provisoire du 23 mai 2007.
- [18] Cété du Sud-Ouest. Note sur la fiabilité des enquêtes Origine – Destination, juin 1998.
- [19] Sétra. Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Détermination du coefficient d'équivalence et de la capacité à partir des observations locales, Note non diffusée, août 2001.
- [20] Sétra, Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Détermination des paramètres de la fonction BPR du temps de parcours, Note non diffusée, septembre 2001.

- [21] Sétra, Fonctions temps-débit sur les autoroutes interurbaines – Rénovation des relations entre temps de parcours et débit pour la simulation du trafic, novembre 2001.
- [22] Sétra, Réserve de capacité d'un itinéraire, Méthode de calcul, 2002.
- [23] Verkehr auf Schnellstrassen im Fundamentaldiagramm Strassenverkehrstechnik (traduction libre) de Trafic sur les routes express selon le diagramme fondamental, 2001.
- [24] Sétra, Modélisation de la variation annuelle des trafics routiers – Calcul des facteurs de concentration, Note d'information Série Transports n°4, Référence : 0938w, janvier 2009.
- [25] Leurent F., Comparaison de deux principes d'affectation du trafic, Rapport de convention Sétra-Inrets, décembre 1995.
- [26] Leurent F., Meunier F., Optimal network estimation of origine-destination flow from link data, 88^{ème} Congrès du Transportation Research Board, TRB 09-1885, janvier 2009.
- [27] Cété Nord-Picardie, Modélisation du trafic local, mars 2002.
- [28] Sétra, Enquêtes de circulation - Organisation et déroulement, Guide méthodologique, mars 2010.
- [29] Sétra, Nouvel indice de circulation sur le réseau routier national – Résultats de 2008, Note d'information Série Transports n°3, Référence : 0921w, mai 2009.
- [30] Cété Normandie Centre, Corridor Baie-de-Seine – Île-de-France – Description du modèle de déplacements, Rapport d'étude, 2010.
- [31] Cété Sud-Ouest – Sétra, Le MOdèle NAtional Poids Lourds, Rapport d'études, décembre 2009.
- [32] Sétra, Note sur l'utilisation de la table de typologie Sétra_VDF pour les études de trafic avec TransCAD, Note interne RST, 2008.
- [33] Sétra, Quels paramètres renseigner dans le réseau routier ? Note interne RST, 2007.
- [34] Sétra, Valeur des facteurs de concentration par type de routes, Note non diffusée.
- [35] Cété de l'Est, A31 - courbes débit-vitesse, Analyse de la station Kanfen, décembre 2009.
- [36] DDE du Nord, Calage du modèle de trafic VP lillois à l'aide des relations "temps de parcours - débits" calibrées sur le réseau de l'Île de France : tests de sensibilité, 2003.
- [37] Sétra, Les outils d'évaluation des projets routiers - D'Ariane à TransCAD, Rapport d'études, janvier 2010.
- [38] Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Die Geschwindigkeiten im PW-Verkehr und die Leistungsfähigkeiten von Strassen über den Zeitraum 1950- 2000 (Les vitesses du trafic VL et le niveau de service sur les routes de 1950 à 2000, traduction libre, CETE de l'est), Rapport d'étude, 2004.
- [39] DREIF, Modus v2.1 - Documentation détaillée du modèle de déplacements, mai 2008.
- [40] Sétra, Évaluation des projets d'infrastructures routières – Pilotage des études de trafic, Guide méthodologique, octobre 2007.
- [41] Comité des directeurs transport. Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures., 25 mars 2004 (mise à jour le 27 mai 2005).

Sites Internet

- [42] Site Intranet de la DGITM, *Instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers interurbains*, version provisoire du 23 mai 2007 : http://intra.dgitm.i2/article.php3?id_article=5380
- [43] Site des Statistiques du MEEDDM, Nomenclature Statistique de Transports : http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=11
- [44] Site de l'Insee : <http://www.insee.fr/fr/default.asp>
- [45] Calcul d'itinéraires : www.viamichelin.com ; www.mappy.com
- [46] Observatoire des Territoires : http://www.territoires.gouv.fr/indicateurs/portail_fr/index_fr.php
- [47] Comité National Routier : www.CNR.fr
- [48] Site de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) pour l'utilisation du logiciel BIOGEME : <http://transp-or.epfl.ch/page63023.html>
- [49] Comité National Routier : www.CNR.fr
- [50] Projet Simbad (Simuler les MoBilités pour une Agglomération Durable) - Phase d'affectation : mise en forme du réseau de routier sur l'Aire Urbaine de Lyon. Rapport Intermédiaire n°8, décembre 2008. http://simbad.let.fr/documents/Rapports/Simbad_R8_AffectationRéseauRoutier.pdf

Liste des sigles

ASSEDIC : ASSociation pour l'Emploi Dans l'Industrie et le Commerce
BPR : Bureau of Public Roads
Certu : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
Cété : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
DAEI : Direction des Affaires Economiques Internationales
DRE : Direction Régionale de l'Equipement
DREIF : Direction Régionale de l'Equipement d'Ile-de-France
DMRB : Design Manual for Roads and Bridges (document état de l'art Anglais)
DV : Débit Vitesse
EMD : Enquêtes Ménage Déplacements
ENTD : Enquête Nationale Transport et Déplacements
FHWA : Federal Highway Administration
GEH : Statistique appelée ainsi d'après son inventeur : Geoffrey E. Havers
GPS : Global Positioning System
IGN : Institut Géographique National
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
MEEDDM : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
MDOT : Michigan Department Of Transport
MT : Mission Tarification
OD : Origine-Destination
OMPHALE : Outil Méthodologique de Projections d'Habitants d'Actifs, de Logement et d'Elèves
PIB : Produit Intérieur Brut
PL : Poids Lourd
RCEA : Route Centre Europe Atlantique
RMSE : Root Mean Square Error
RRN : Réseau Routier National
RST : Réseau Scientifique et Technique du Ministère
SESP : Service Economique Statistique et Prospective
SÉTRA : Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SIREDO : Système Informatisé de REcueil de DONnées
SIRENE : Système Informatique du Répertoire des ENTreprises et des Etablissements
SIRNET : Site d'Information du Système d'Information Routier
SITRAM : Système d'Information sur le TRANsport de Marchandises
SMO : Service à Maîtrise d'Ouvrage
SNIT : Schéma National des Infrastructures de Transport
TC : Transports en Commun
TFG : Travel Forecasting Guidelines (document établi par l'Etat de Californie)
TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel
TMJO : Trafic Moyen Jours Ouvrés
TRM : Transport Routier de Marchandises
uvp : Unité de Voiture Particulière
VDT : Valeur Du Temps
VL : Véhicule Léger
VP : Voiture Particulière

Glossaire

Avertissement au lecteur : ce glossaire ne se veut pas exhaustif. Il s'agit d'un document volontairement limité et orienté vers les principaux termes nécessaires à la compréhension des notions abordées dans ce guide.

Affectation Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Répartition entre itinéraires concurrents selon des règles prédéfinies (appelées lois d'affectation) de la confrontation de la demande et de l'offre de transport. Il s'agit de la dernière étape d'un modèle séquentiel classique (dit "modèle à 4 étapes").

Agrégation Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Regroupement d'un ensemble de comportements individuels dans des classes homogènes.

En modélisation des transports, on agrège essentiellement des comportements ou des zones géographiques.

Algorithme Source : Le Petit Larousse Illustré (1998)

Ensemble de règles opératoires dont l'application permet de résoudre un problème énoncé au moyen d'un nombre fini d'opérations.

Calage Source : Synthèse Guide Certu - Prévoir la demande de transport, Bonnel 2004

Ensemble de processus d'ajustements de variables d'entrée et de paramètres d'un modèle dans l'objectif de reproduire certains aspects de la réalité en comparant des variables de sortie à des données observées.

Calibrage Source : Synthèse bibliographique GT Calage

(Le calibrage est une étape du calage)

Processus de détermination des paramètres d'un modèle à partir d'un jeu de données observées.

Exemple : calibrage d'une courbe temps-débit BPR où l'on choisit les paramètres α et β .

Chemin Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Suite d'arcs empruntés par un usager qui constitue son itinéraire.

Chevelu Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Carte des itinéraires empruntés entre une origine et une destination

Codage Source : Synthèse Wikipédia + GT Calage

Dans le sens courant, c'est la rédaction du code informatique source d'un logiciel (Wikipédia).

Dans le contexte de la modélisation des transports, il s'agit du renseignement des données d'entrée relatives au réseau.

Cohérence Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Caractéristique d'un modèle ne comportant pas de contradiction interne, par exemple dans les relations de causalité.

Convergence Source : Synthèse Dictionnaires (Larousse et Robert) + GT Calage

Caractéristique d'un processus itératif aboutissant à un état où la variation entre deux itérations successives est négligeable.

Contraire : divergence.

Coupure Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Analyse des trafics interceptés sur tous les arcs rencontrés en traçant une ligne sur une carte. On utilise également le terme "**ligne-écran**" (screenline en anglais), et le terme "**cordon**" lorsqu'il s'agit de tous les arcs entrant/sortant d'une zone.

Données d'entrée Source : GT Calage
Ensemble des paramètres et des variables en entrée du modèle.
Exemples : Matrice OD, réseau, capacités, ...

Données de sortie Source : GT Calage
Ensemble des variables en sortie du modèle.
Exemples : trafic par arc, vitesses en charge, ...

Élasticité Source : Le Petit Larousse Illustré (1998)
Variation relative d'un phénomène par rapport à un autre.
Exemple : détermination de l'élasticité des trafics F par rapport aux coûts C de transport : $-dF/dC$

Équilibre Source : Synthèse bibliographique GT Calage
État stationnaire de dépendance entre l'offre et la demande.

Estimation Source : Synthèse bibliographique GT Calage
Processus mathématique d'optimisation statistique visant à déterminer des paramètres d'une loi mathématique à partir d'un jeu de données observées.

Estimateur Source : Wikipédia
En statistiques inférentielles, un estimateur est une valeur calculée sur un échantillon que l'on espère être une bonne approximation de la valeur que l'on aurait calculée sur la population totale.
On cherche à ce qu'un estimateur soit sans biais (l'espérance de l'estimateur doit être égale à la valeur réelle), convergent (si on augmente la taille de l'échantillon, l'erreur commise doit diminuer), efficace (la variance de l'estimateur doit être minimum) et robuste (absence de sensibilité aux valeurs extrémales et rares).

Ligne-écran Voir : Coupure.

Logiciel Source : Le Nouveau Petit Robert
Ensemble des programmes et des procédures nécessaires au fonctionnement d'un système informatique.

Modèle Source : Synthèse Le Nouveau Petit Robert (1996) + GT Calage
Représentation abstraite, conventionnelle et simplifiée de la réalité observée.
Il existe plusieurs types de modèles de déplacements : statique/dynamique ; marchandises/voyageurs ; 4 étapes/affectation basée sur les activités ; interactions urbanismes/déplacements, ...
A ne pas confondre avec l'outil de modélisation qui fait référence au logiciel support du modèle.

Modélisation Source : Le Nouveau Petit Robert (1996)
Mise en équation d'un phénomène complexe permettant d'en prévoir les évolutions.

Norme Source : Le Petit Larousse Illustré (1998)
Application d'un espace vectoriel dans l'ensemble des nombres réels positifs qui vérifie les propriétés associées intuitivement à la notion de distance :

- le vecteur nul est le seul à avoir une norme nulle ;
- la norme de la somme de deux vecteurs est inférieure ou égale à la somme de leurs normes (inégalité triangulaire) ;
- la norme du produit d'un vecteur par un nombre est égale au produit de sa norme par la valeur absolue de ce nombre.

Espace vectoriel normé : espace vectoriel muni d'une norme.

Opérationnalité Source : Prévoir la demande de transport, Bonnel 2004
« Un modèle apte à réaliser les performances que l'on attend de lui sera dit opérationnel. L'opérationnalité du modèle constitue donc sa qualité fondamentale » (Bonnafous 1989).
L'opérationnalité d'un modèle ne peut donc pas être définie de manière générale. Elle ne peut être caractérisée qu'à partir d'une définition des objectifs qui sont assignés au modèle.

Opérationnel
Un modèle est opérationnel lorsqu'il est calé et validé.

Paramètre Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Invariant momentané des comportements estimé à partir de phénomènes observés.

Pertinence Source : Prévoir la demande de transport, Bonnel 2004

Capacité du modèle à être conforme à ce que l'on croit savoir de la réalité.

Procédure informatique, ou routine informatique Source : Le Nouveau Petit Robert (1996)

Ensemble de commandes qui effectuent un certain nombre de tâches répétitives.

Robustesse Source : Wikipédia

En statistiques, la robustesse d'un estimateur est sa capacité à ne pas être modifiée par une valeur extrême et rare dans l'échantillon de données.

Un modèle d'affectation est dit robuste lorsque les variables de sortie ne sont pas excessivement sensibles aux paramètres d'entrée.

Sensibilité Source : Checking Manuel FWHA

Réponse à des changements des paramètres ou des variables d'un modèle généralement exprimée sous la forme de l'élasticité.

Spécification Source : Synthèse TFG 92 + F. Leurent

Choix de la structure d'un modèle incluant la définition des variables explicatives et de leurs relations causales formulées par des lois logico-mathématiques.

Validation Source : Synthèse bibliographique GT Calage

Étape finale de construction d'un modèle qui consiste à s'assurer qu'il réagit correctement à des variations des données d'entrée et qu'il est apte à fonctionner en projection.

En pratique, la validation peut consister à vérifier que le modèle fonctionne bien avec un jeu de données non-utilisées lors des étapes de calage ou qu'il réagit bien à des tests de sensibilité.

Variable Source : Wikipédia + GT Calage

En mathématiques comme en informatique, les variables représentent des objets et peuvent prendre des valeurs qui sont des éléments d'un certain ensemble.

Vérification Source : Le Petit Larousse Illustré (1998)

Action de s'assurer de l'exactitude de quelque chose en le confrontant avec ce qui peut servir de preuve.

Annexe 1

Questionnaire pour l'état des pratiques

Questionnaire sur les pratiques de calage dans les équipes modélisation des CETE

Groupe de travail sur le calage animé par le SETRA

Février 2008

Introduction :

Le groupe de travail sur le calage animé par le Sétra réalise actuellement un état des pratiques dans le RST en matière de calage des modèles de trafic. Dans ce but, le questionnaire ci-dessous a été réalisé afin de recueillir les pratiques de chacun en Cété et de faire émerger des méthodes communes, des outils utilisables par tous, ...

Il est souhaitable de renseigner un exemplaire du questionnaire par modélisateur et par modèle développé : c'est le cas par exemple si un même modélisateur a eu l'occasion de développer des modèles très différents (volet multimodal ou pas, réalisation des étapes de génération, distribution des flux ou pas...). Plusieurs exemplaires seront remplis également si plusieurs modélisateurs ont travaillé sur le même modèle.

Pour plus de détails sur les objectifs du groupe de travail, voir la page sur le site coopératif TransCAD, dossier études en cours :

http://www.modelisationdestransports.setra.developpement-durable.gouv.fr/article.php3?id_article=21

Ce questionnaire a été conçu afin d'être auto-administré. Cependant, en cas de nécessité, vous pouvez contacter l'un des membres du groupe de calage, si une question vous pose problème. Vous pouvez aussi indiquer des commentaires [entre crochets] en plus de vos réponses lors du remplissage.

Merci de retourner ce questionnaire sous format informatique de préférence à Mathieu Jacquot et Eric Jeannière, avant le **vendredi 30 mai**. Une présentation sur ce sujet sera faite lors de la prochaine journée TransCAD.

Partie I - La personne interrogée

- Organisme :
- Nom :
- Fonction :
- Coordonnées :
- Mail / Tel:
- Autres personnes de votre service susceptibles de répondre à ces questions :

Partie II - L'outil de modélisation et les bases de données utilisées

- Quel est le modèle interurbain (ou périurbain) sur lequel vous avez effectué des travaux de calage, et sur la base duquel vous remplissez ce questionnaire ? Quels rapports écrits concernant ce modèle ont été (ou vont être) rendus ? *S'il y est renseigné, vous pouvez simplement indiquer le numéro (lettre) du modèle dans l'annuaire des équipes modélisation.*
- Quel est l'outil logiciel utilisé pour la modélisation de l'affectation du trafic routier ?
 - Module Prix-temps Sétra de TransCAD ;
 - TransCAD Standard ;
 - Emme2 ;
 - autre, précisez :
- Quelle est la loi d'affectation ?
 - loi d'Abraham ;
 - tout ou rien ;

- prix-temps Sétra ;
- User Equilibrium ;
- Stochastique User Equilibrium ;
- autre, précisez :
- Comment est constituée l'offre de transport ?
 - bases de données initiales :
 - 30 000 Arcs ;
 - BD Carto ;
 - dessin à la main ;
 - autres, précisez :
- Vérification et correction de la base de données à partir :
 - de reconnaissances terrain ;
 - de photos aériennes ;
 - de cartes,
- Précisez l'échelle utilisée :
- Autres, précisez :
- Des mesures de temps de parcours sont-elles effectuées ?
 - Non ;
 - Si oui, décrire rapidement la méthode employée :
- Quelles méthodes de constitution de la demande de transport utilisez-vous ?
 - Enquêtes O/D ;
 - Enquêtes minéralogiques ;
 - Génération/Distribution/Répartition modale : précisez :
 - Autres :

Partie III - Le calage

- Quelle définition du calage donneriez-vous ? [Question ouverte, réponse en 7 lignes max.]
- Combien de temps de travail à temps plein accordez-vous au calage ?
- Avez-vous une ou plusieurs méthodes de travail systématiques ?
 - Si oui, donner une architecture simple de votre méthode ;
 - Si non, indiquez quelles sont les différentes tâches effectuées, et l'éventuel ordre dans lequel vous les effectuez.
- Utilisez-vous des procédures automatiques d'ajustement ?
 - Non ;
 - Si oui, lesquelles :
- Parmi les variables et paramètres suivants, lesquels utilisez-vous pour le calage ? Indiquez d'une part l'importance dans le processus de calage que vous accordez à chaque variable, d'autre part si vous **calibrez** ces variables avec des éléments de référence (recueils terrain, méthodes statistiques d'estimation, données de référence nationales) ou par une méthode à dire d'expert (heuristique, essai-erreur).

Variable	Importance de la variable				Méthode de modification	
	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
Affinement du zonage						
Affinement de la description du réseau :	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
- types d'arcs						
- pentes						
- consommation de carburant						
- coût fixe (coût d'entretien, dévaluation)						
- péage et/ou péage km						
- malus d'inconfort						
Paramètres de calcul du temps à vide :						
- relief ou rampe						
- % de longueur contraignante (Lcontr)						
- champ pour la sinuosité (VIR)						
- champ pour la visibilité						
- population						
- coefficient d'équivalence PL/VL						
Paramètres de la courbe temps-débits au niveau du réseau :	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
- temps à vide						
- capacité en section courante						
- facteurs de concentration (Phi ou Khi)						
Pénalités aux intersections						
Pénalités aux barrières de péage ou échangeurs						
Ajout ou retrait d'arcs :	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
- description détaillée des points d'échange						
- ajout ou retrait de connecteurs						
- ajout ou retrait d'arcs pour les traversées urbaines						

Ajout de flux locaux (préchargements ponctuels des arcs)						
Préchargement généralisé de tous les arcs						
Vérification de la présence de congestion là où elle est attendue						
Paramètres des courbes temps-débits dans la table de typologie :	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
- vitesse à vide						
- capacité en section courante						
- coefficients d'équivalence						
- facteurs de concentration						
- alpha et gamma						
Paramétrage de la valeur du temps :	Indispensable	Important	Insignifiant	Non utilisé	Calibrage	Dire d'expert
- valeur moyenne						
- écart type						
- valeur par OD						
Vérification et correction de la matrice						
Autres :						

- Vous fixez-vous des bornes pour certains de ces paramètres et variables ?
 - Non ;
 - Si oui, lesquelles :
- Parmi les étapes de travail suivantes, lesquelles font dans vos études partie du calage ?
 - Reproduction des temps de parcours ;
 - Reproduction des itinéraires ;
 - Reproduction des comptages sur arcs ;
 - Reproduction des comptages sur coupures ou cordons ;
 - Reproduction des km parcourus par type de voirie.
- Quelles sont les données utilisées pour réaliser le calage ? (Précisez la source, les unités, etc).
- Comment mesurez-vous l'amélioration de la qualité du modèle au cours du calage ? Indiquez dans chaque cas si vous utilisez une méthode systématique (indicateur d'erreur globale, à préciser) ou si vous privilégiez une vision globale à dire d'expert (cartes de différences,...). Dans les deux cas, précisez la méthode.
 - Bonne reproduction des temps de parcours : Dire d'expert ; Indicateur – Méthode :
 - Bonne reproduction des itinéraires : Dire d'expert ; Indicateur – Méthode :
 - Bonne reproduction des comptages : Dire d'expert ; Indicateur – Méthode :
- Votre méthode est-elle partagée par vos collègues modélisateurs ? Oui ; Non. Si non pourquoi ?
- La méthode utilisée est-elle transposable à un autre outil ? oui ; Non. Pourquoi ?
- Comment déterminez-vous que le modèle est définitivement calé ?

- croisement de différentes cartes et de votre connaissance régionale ;
- à l'aide d'une carte de comparaison des trafics à l'issu d'un délai imparti ;
- à l'aide d'un indicateur et d'une valeur seuil. Lequel ?
- autres :

Partie IV - La validation

- Quelle(s) distinction(s) faites-vous entre calage et validation ?
- Avant leur exploitation (c'est-à-dire leur utilisation en projection), les modèles utilisés sont-ils validés ? Non ; Oui. Si oui comment (par exemple, avec des tests statistiques, tests de sensibilité, à l'aide d'un autre modèle...)?

Partie V - Autre / commentaires

- Avez-vous d'autres remarques sur le calage ou la validation ?
- Avez-vous des attentes particulières sur ce que doit produire le groupe de travail ?
- Pour l'utilisation des Modules Sétra de TransCAD, quels seraient vos besoins particuliers en études réalisées par le Sétra pour faciliter et consolider vos méthodes de calage ?

Annexe 2

Analyses des réponses au questionnaire dans le RST : sur quelles variables doit/peut-on jouer ?

Sur quelles variables peut/doit-on jouer ? Cette question est examinée dans le questionnaire en demandant au modélisateur s'il modifie chacun des paramètres qu'il est possible de changer dans une affectation du type prix-temps des Modules Sétra de TransCAD ou loi d'Abraham du précédent logiciel utilisé pour l'évaluation des projets routiers interurbains ARIANE. Cependant, la plupart de ces paramètres est commune à tous les types d'affectation recensés et il a donc été possible d'interroger l'ensemble des modélisateurs, y compris ceux n'utilisant aucun de ces deux outils.

Deux types de questions étaient posées :

- quelle importance donnez-vous à ce paramètre (indispensable, important, insignifiant, non utilisé) ?
- comment procédez-vous pour modifier ce paramètre au court du calage (dire d'expert ou calibrage) ? Par défaut, on considérera que, s'il n'y a pas de réponse à cet item ou si les deux cases sont cochées, la méthode employée est plutôt du dire d'expert.

On présente ici l'ensemble des résultats pour les différents paramètres regroupés selon les catégories suivantes :

- affinement du zonage ;
- affinement de la description du réseau ;
- paramètres du réseau pour le calcul du temps à vide ;
- courbes débit-vitesse ;
- valeur du temps ;
- préchargements et congestion ;
- matrice ;
- autres/divers.

Le corps du guide (cf. 2.3.3 - Sur quelles variables peut/doit-on jouer ?) propose quant à lui une synthèse des résultats détaillés ici reportés.

Affinement du zonage

La constitution du zonage initial est un compromis entre finesse (donc dans un certain sens précision de l'affectation) et agrégation (facilité de traitement, robustesse des résultats). Or, ce compromis peut amener à des mauvais résultats d'affectation en imposant de "recréer" artificiellement des concurrences qui n'existent pas, car la zone pourrait être décomposée en sous-zones qui empruntent des itinéraires différents.

Si globalement la majorité des modélisateurs donne une importance significative à l'affinement du zonage, cinq modélisateurs en interurbain sur onze n'y prêtent pas une attention élevée. D'une part, ceci est lié au logiciel puisque deux utilisateurs d'Ariane déclarent ne pas affiner le zonage, mais peuvent par contre décomposer l'OD en deux ou plusieurs relations distinctes, avec par exemple des chemins prédéfinis distincts qui correspondront aux résultats d'enquêtes. D'autre part, la méthode de constitution de la demande de transport, via Géode et un traitement manuel des enquêtes OD, peut dissuader le modélisateur de découper une zone, au vu de la quantité de travail nécessaire pour estimer à nouveau les flux OD, alors que cela s'avère plus simple pour des modèles régionaux ou urbains, via la modélisation à 4 étapes, à condition de disposer des données socio-économiques.

Affinement du zonage	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Indispensable	1			1
Important	5	3	2	10
Insignifiant	2			2
Non utilisé	3	1	1	5

Tableau 1 - Pratiques de calage - affinement du zonage

Par ailleurs, l'ensemble des modélisateurs déclare modifier le zonage à dire d'expert. Ceci souligne également la non-utilisation générale d'outils ou de méthodes permettant de travailler sur le zonage.

Affinement de la description du réseau

En ce qui concerne l'affinement de la description du réseau, on retrouve ce qui avait été supputé en analysant les méthodes de constitution de ce réseau, à savoir qu'une grande attention est apportée à disposer d'un réseau le plus proche possible de la réalité. Ceci traduit cependant des disparités lorsque l'on analyse quels paramètres sont affinés : on note d'une part un certain consensus sur l'importance de déterminer le type de voie réel et le péage effectivement acquitté et sur le caractère non indispensable de la consommation de carburant ainsi que du coût kilométrique et d'autre part une plus grande disparité de comportements vis-à-vis des pentes et du malus. A noter que cet item ne tient pas compte de la capacité, de la vitesse à vide et des facteurs de concentration qui font l'objet d'un type de paramètres distincts.

Affinement de la description du réseau	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Indispensable	6	3	3	12
Important	3	1		4
Pas de réponse	2			2
Total	11	4	3	18

Tableau 2 - Pratiques de calage - description du réseau

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Type d'arc	Indispensable	Calibrage	7			7
		Dire d'expert	2		1	3
	Important	Calibrage			1	1
		Dire d'expert	2	4	1	7
Pentes	Important	Calibrage	1	1		2
		Dire d'expert	3			3
	Insignifiant	Calibrage	3			3
	Non utilisé		4	3	3	10
Consommation	Indispensable	Calibrage		1		1
	Insignifiant	Calibrage	2		1	3
		Dire d'expert		1		1
	Non utilisé		9	2	2	13
Coût/km	Indispensable	Calibrage	1		1	2
	Important	Dire d'expert	2	1		
	Insignifiant	Calibrage	1		1	2
		Dire d'expert		1		1
	Non utilisé		7	2	1	10
Péage	Indispensable	Calibrage	6	2	2	10
	Important	Calibrage	2			2
		Dire d'expert		1		1
	Non utilisé		3	1	1	5
Malus	Indispensable	Calibrage	1			1
		Dire d'expert	1	1	1	3
	Important	Dire d'expert	5			5
	Insignifiant	Dire d'expert	2	1		3
	Non utilisé		2	2	2	6

Tableau 3 - Pratiques de calage - paramètres de description du réseau

Paramètres du réseau pour le calcul du temps à vide

En ce qui concerne ce paramètre, l'analyse des questionnaires conduit à un résultat semblant a priori paradoxal : les modélisateurs s'accordent en majorité sur l'importance de déterminer correctement le temps de parcours à vide, mais, a contrario, aucun des paramètres jouant sur ce temps de parcours à vide tels que définis dans les formules de calcul Sétra (décrites dans la note de présentation de la table de typologie du Sétra [32]) ne paraissent déterminants. Seuls quelques utilisateurs accordent de l'importance au pourcentage de longueur contraignante, à la sinuosité ou au relief. On peut également noter qu'aucun modélisateur interurbain ne cite le coefficient d'équivalence VL/PL. Cependant, cela s'explique par l'impossibilité de le paramétrer dans les Modules Sétra de TransCAD, plus de la moitié des autres modélisateurs travaillant sur ce paramètre. Il semble donc que la pratique de modélisation tende plutôt vers une détermination directe des vitesses à vide par arc en dehors des formules de calcul du Sétra.

Temps à vide	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Indispensable	2		2	4
Important	4	2	1	7
Insignifiant	1			1
Non utilisé	2	1		3
Pas de réponse	2	1		3
Total	11	4	3	18

Tableau 4 - Pratiques de calage - temps à vide

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Relief	Important	Calibrage	1			1
		Dire d'expert	2	1		3
	Insignifiant	Calibrage	2			2
		Dire d'expert	2			2
	Non utilisé		4	3	3	10
% longueur contraignante	Indispensable	Dire d'expert	1		1	2
	Important	Dire d'expert	3			3
	Insignifiant	Dire d'expert	1			1
	Non utilisé		5	4	2	11
	Pas de réponse		1			1
Sinuosité	Important	Dire d'expert	2	1		3
	Insignifiant	Dire d'expert	1			1
	Non utilisé		7	3	3	13
	Pas de réponse		1			1
Visibilité	Insignifiant	Dire d'expert	1			1
	Non utilisé		8	4	3	15
	Pas de réponse		2			2
Population	Important	Dire d'expert		1		1
	Non utilisé		8	3	3	14
	Pas de réponse		3			3
Coefficient d'équivalence VL/PL	Indispensable	Dire d'expert			1	1
	Important	Calibrage			1	1
		Dire d'expert		2		2
	Non utilisé		9	2	1	12
Pas de réponse		2			2	

Tableau 5 - Pratiques de calage - paramètres du temps à vide

Courbes débit-vitesse (CDV)

Les courbes débit-vitesse déterminent la manière dont un arc du réseau réagit en termes de conditions de circulation à la charge de trafic qu'il doit supporter. Chaque type d'arc possède une courbe DV qui le caractérise.

Deux types d'ajustements peuvent être effectués au niveau de :

- chaque arc du réseau pour augmenter ou restreindre l'attractivité d'un (ou d'une série d') arc(s) ;
- chaque type d'arc pour augmenter ou restreindre l'attractivité de tous les arcs d'un même type.

Certains paramètres peuvent être fixés aux deux niveaux, le paramétrage par arc prime sur celui par type d'arc.

Courbes DV au niveau du réseau

Au niveau du réseau, trois paramètres sont considérés comme variables vis-à-vis de la courbe DV : le temps à vide (en relation avec l'item précédent), la capacité et les facteurs de concentration (utiles uniquement pour la modélisation en TMJA). Globalement, deux types de pratiques peuvent être identifiés :

- un ensemble de modélisateurs (les 2/3) donne de l'importance à la modification des courbes DV au niveau du réseau. Pour ceux-ci, la vitesse à vide peut être calibrée, tandis que la capacité est estimée à dire d'expert ;
- un autre ensemble (environ 1/3) n'utilise pas ce paramètre.

Par ailleurs, les facteurs de concentration sont très peu souvent modifiés (seulement dans 2 cas).

Courbe temps-débit - réseau	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Indispensable	4	3	1	8
Important	3		1	4
Insignifiant	1			1
Non utilisé	2	1	1	4
Pas de réponse	1			1

Tableau 6 - Pratiques de calage - courbes temps-débit au niveau du réseau

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Temps à vide	Indispensable	Calibrage	1	2	1	4
		Dire d'expert	3	1		4
	Important	Dire d'expert	2			2
	Insignifiant	Calibrage	1			1
	Non utilisé		4	1	2	7
Capacité	Indispensable	Calibrage		2		2
		Dire d'expert	2	1	2	5
	Important	Dire d'expert	4			4
	Insignifiant	Dire d'expert	1			1
	Non utilisé		4	1	1	6
Facteurs de concentration	Indispensable	Dire d'expert		1		1
	Important	Calibrage	1			1
	Non utilisé		10	3	3	16

Tableau 7 - Pratiques de calage - paramètres de la courbe temps-débit (réseau)

Courbes DV au niveau de la table de typologie

Au niveau de la table de typologie [32], cinq paramètres entrent en compte, les trois précédents, définis par type d'arc (temps à vide, capacité et facteurs de concentration) et deux supplémentaires (coefficient d'équivalence VL/PL, paramètres alpha et gamma de la courbe). Deux types de pratiques sont identifiés :

- la moitié des modélisateurs considère ce paramètre comme important voire indispensable. Les deux éléments à ajuster sont de la même manière que précédemment le temps à vide et la capacité, à ceci près qu'il n'y a quasiment plus d'ajustement par calibrage. A noter que seulement quatre modélisateurs en interurbain, au lieu de sept précédemment, appartiennent à ce groupe ;
- l'autre moitié n'ajuste pas ces paramètres.

Enfin, les trois paramètres spécifiques (coefficient d'équivalence VL/PL, alpha et gamma) ne sont ajustés que pour des modèles plutôt régionaux, notamment celui de la région lilloise.

Courbe temps-débit – typologie	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Indispensable	2	3	1	6
Important	2			2
Insignifiant			1	1
Non utilisé	5	1	1	7
Pas de réponse	2			2

Tableau 8 - Pratiques de calage - courbes temps-débit (table de typologie)

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Temps à vide	Indispensable	Calibrage		1		1
		Dire d'expert	2	2	1	5
	Important	Dire d'expert	4			4
	Insignifiant	Calibrage			1	1
	Non utilisé		5	1	1	7
Capacité	Indispensable	Dire d'expert	1	3	1	5
	Important	Dire d'expert	4			4
	Insignifiant	Dire d'expert	1		1	2
	Non indiqué	Calibrage	1			1
	Non utilisé		4	1	1	6
Facteurs de concentration	Indispensable	Dire d'expert	1	1		2
	Important	Calibrage	1			1
	Non utilisé		8	3	3	14
	Pas de réponse		1			1
Coefficient d'équivalence VL/PL	Indispensable	Dire d'expert		1		1
	Important	Dire d'expert		1		1
	Non utilisé		10	2	2	14
	Pas de réponse		1		1	2
Alpha et gamma	Indispensable	Dire d'expert		2		2
	Non utilisé	Dire d'expert	10	1	2	13
	Pas de réponse		1	1	1	3

Tableau 9 - Pratiques de calage - paramètres des courbes temps-débit (table de typologie)

La valeur du temps servant de base à la construction des modèles est définie par l'instruction relative aux méthodes d'évaluation socio-économique des projets d'investissements d'infrastructures routières interurbaines. Cependant, cette instruction précise qu'il peut être fait appel à des valeurs différentes si le contexte local le justifie. Dans la pratique, plus de la moitié des modélisateurs (dont huit sur onze pour les modèles interurbains soit l'intégralité des modèles TransCAD, les trois autres cas correspondant aux modèles Ariane) modifie les paramètres de la valeur du temps, ce qui permet de reproduire la répartition des flux entre deux types de routes, une bidirectionnelle, l'autre de type autoroute gratuite ou à péage concurrente. On note deux phénomènes :

- d'une part, seuls trois utilisateurs modifient la valeur du temps par OD alors même que l'instruction spécifie une formulation entre la distance du trajet et la valeur du temps moyenne ;
- d'autre part, si des essais de calibrage peuvent être notés, la plupart indique néanmoins conclure sur du dire d'expert.

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Valeur du temps	Indispensable	Dire d'expert	5	1		6
	Important	Dire d'expert	3	1	1	5
	Non utilisé		3	1	2	6
		Dire d'expert		1		1

Moyenne	Indispensable	Calibrage	1		1	2
		Dire d'expert	2	1		3
	Important	Dire d'expert	4	2		6
	Non utilisé		4	1	2	7
Ecart-type	Indispensable	Dire d'expert	3		1	4
	Important	Dire d'expert	5			5
	Non utilisé		3	4	2	9
Valeur par OD	Important	Dire d'expert		1		1
	Insignifiant	Dire d'expert	2			2
	Non utilisé		9	3	3	15

Tableau 10 - Pratiques de calage - valeur du temps

Préchargements et congestion

L'ajout de préchargements sur un ou plusieurs arcs permet de combler les lacunes de la matrice OD pour représenter correctement le niveau de service. Cette pratique était courante lors de l'utilisation d'Ariane (deux modélisateurs sur trois pratiquent le préchargement généralisé sous Ariane), où les OD incluses dans la matrice étaient souvent spécifiques au projet à tester. Cette pratique est restée courante avec l'introduction de TransCAD puisque seulement quatre modélisateurs sur onze en interurbain déclarent ne pas l'employer. Elle n'est par ailleurs pas utilisée pour les modèles urbains ou régionaux où, par construction, la matrice est supposée complète. Quant à la méthode employée pour réaliser ce préchargement, elle n'apparaît pas faire consensus puisque seule une moitié des modélisateurs considère qu'il s'agit d'un calibrage.

En ce qui concerne l'introduction de préchargements ponctuels, elle correspond plutôt à la nécessité de représenter correctement un niveau de service faible là où la matrice est trop incomplète ou au contraire d'avoir un niveau de service qui se dégrade progressivement en entrée d'agglomération là où le zonage n'est pas assez fin (préchargement négatif !). Cette technique est utilisée largement pour les modèles interurbains (huit sur onze, soit 100 % des modélisateurs TransCAD + un modélisateur Ariane), mais également pour deux modèles régionaux sur quatre.

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Préchargements ponctuels	Indispensable	Calibrage	4			4
		Dire d'expert	2	1		3
	Important	Calibrage	1			1
		Dire d'expert	1	1		2
	Non utilisé		3	1	3	7
	Pas de réponse				1	1
Préchargements généralisés	Indispensable	Calibrage	2			2
		Dire d'expert	1			1
	Important	Calibrage	2			2
		Dire d'expert	2			2
	Non utilisé		4	2	3	9
	Pas de réponse				2	2

Tableau 11 - Pratiques de calage - préchargement

Il paraît intéressant de corroborer ce travail de préchargement avec les vérifications portant sur la congestion. Cette pratique n'est en fait que moyennement courante, comme le souligne le tableau suivant.

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Vérification de la congestion	Indispensable	Dire d'expert	3		1	4
	Important	Dire d'expert	2	2	1	5
	Non utilisé		6	1	1	8
	Pas de réponse			1		1

Tableau 12 - Pratiques de calage - congestion

Matrice

La matrice OD constitue, avec le réseau, la base de l'affectation, avec cette différence que l'on aura tendance à l'examiner plutôt en deuxième recours en interurbain, après s'être assuré de la qualité du réseau (cf. paragraphe 3.2). En interurbain, les méthodes actuelles de constitution des matrices, de manière entièrement manuelle, sont très fastidieuses. Aussi peut-on constater une certaine réticence à modifier ce paramètre et la quasi-absence de méthode de calibrage, la seule ayant pu être vraiment identifiée correspondant plutôt à un algorithme de prise de décision : identification des surcharges de trafic, analyse des OD passant par ces arcs, vérification de la pertinence de ces OD et corrections éventuelles.

A contrario, en ce qui concerne les modèles urbains et régionaux, une portion importante de la matrice est constituée à partir de données socio-économiques, de ratios de mobilité, et de niveaux de service pour chaque OD. Une fois la chaîne de modélisation mise en place, il suffit donc de modifier quelques données (par exemple les vitesses à vide du réseau) pour obtenir une déformation de la matrice. Il en résulte donc une pratique très courante de la correction et de la vérification de la matrice, mais plutôt à dire d'expert, car les données comportementales et socio-économiques les plus fines ont déjà été utilisées pour construire la première matrice. L'on dispose rarement de ces données pour affiner cette matrice par calibrage.

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Vérification et correction de la matrice OD	Indispensable	Calibrage	2	1		3
		Dire d'expert	2	1	2	5
	Important	Dire d'expert	1	2		3
	Non utilisé		5		1	6
	Pas de réponse		1			1

Tableau 13 - Pratiques de calage - matrice OD

Autres/divers

Les résultats concernant les différents paramètres restants qui figurent dans le questionnaire sont présentés dans le tableau ci-dessous. On note :

- pénalité aux intersections : paramètre très peu utilisé, les modélisateurs préférant sans doute modifier la capacité ;
- pénalité aux barrières de péage : également peu utilisée, mais peut s'avérer très intéressante pour limiter des phénomènes d'entrée/sortie de l'autoroute sur une courte distance ;
- ajout ou retrait d'arcs : pratique courante, qui était plus difficile à mettre en oeuvre dans Ariane et donc moins employée ;
- description des points d'échanges : pratique moyennement courante qui peut s'avérer pertinente en cas de bouchons sur une bretelle ou de mouvements difficiles à effectuer voire impossibles ;
- ajout ou retrait de connecteurs : méthode plus légère en travail que l'éclatement de zones, elle est couramment utilisée, à l'exception des modélisateurs d'Ariane ;
- ajout ou retrait d'arcs pour les traversées urbaines : utilisation courante permettant de pénaliser un itinéraire ou au contraire d'éviter un passage en agglomération lorsqu'un contournement existe.

Paramètre	Caractère	Méthode	Interurbain	Régional	Urbain	Total
Pénalité aux intersections	Indispensable	Calibrage			1	1
		Dire d'expert		1		1
	Important	Dire d'expert		1		1
	Insignifiant		1	1		2
	Non utilisé		10		1	11
	Pas de réponse			1	1	2
Pénalité aux barrières de péage	Important	Calibrage		1		1
		Dire d'expert		1		1
	Insignifiant	Dire d'expert	1	1		2
	Non utilisé		10	1	2	13
	Pas de réponse				1	1
Ajout ou retrait d'arcs	Indispensable		3	2	1	6
	Important		6	2	2	10
	Non utilisé		1			1
	Pas de réponse		1			1
Description des points d'échange	Indispensable	Calibrage			1	1
		Dire d'expert	1	1		2
	Important	Calibrage	2	1		3
		Dire d'expert	3	1	1	5
	Insignifiant	Dire d'expert	2	1		3
Non utilisé		3		1	4	
Ajout ou retrait de connecteurs	Indispensable	Dire d'expert	1	1		2
	Important	Calibrage		1		1
		Dire d'expert	6	1	3	10
	Insignifiant	Dire d'expert	1	1		2
	Non utilisé		3			3
Ajout ou retrait d'arcs pour les traversées urbaines	Indispensable	Dire d'expert	4	2		6
	Important	Calibrage	1			1
		Dire d'expert	5	2	1	8
	Non utilisé		1		2	3

Tableau 14 - Pratiques de calage – divers

Annexe 3

Exemple de facteurs de concentration calculés

Le tableau ci-dessous rend compte de la sensibilité du facteur de concentration Khi_VL en présentant des facteurs de concentration VL par sens calculés à partir des comptages horaires de différentes stations sur le RRN. Les valeurs retenues pour Khi_PL sont celles préconisées par le Sétara dans la table SETRA_VDF [4].

Lieu	Route	Type SETRA VDF	TMJA	PLJA	%PL	Khi_VL sens 1	Khi_VL sens 2	E	Khi_PL
Viaduc de Longwy	RN52	3	19199	3250	17%	1,87	1,99	3	1,4
Chatel	RN 12	3	7300	1400	19%	1,87	1,81	3	1,4
Montélimar-Bollène	A7	8	61600	9055	15%	2,56	2,56	2,5	1,32
Pont Lévêque	A 13	8	37000	4500	12%	2,40	2,51	2,5	1,1
Pertuis-St Paul	A51	8	17900	1199	7%	2,69	2,69	2,5	1,32
Aubignosc-Sisteron Sud	A51	8	12500	875	7%	3,35	3,35	2,5	1,32
Brignoles-St Maximin	A8	8				2,65	2,65	2,5	1,32
Vendargues-Lunel	A9	9	83300	14161	17%	1,90	1,90	2,5	1,32
barrière d'Antibes	A8	9	82900	7047	9%	1,87	1,87	2,5	1,32
Nîmes-Gallargues	A9	9	75900	13662	18%	2,04	2,04	2,5	1,32
Bollène-Orange Nd	A7	9	70900	13258	19%	2,35	2,35	2,5	1,32
Vandœuvre	A 330	10	61790	2406	4%	2,02	2,01	2,5	1,1
Borny	RN431	10	33120	4059	12%	2,63	2,62	2,5	1,1
Carcagny	RN 13	10	25600	1600	6%	2,03	1,97	2,5	1,1
Pouxoux	RN 57	10	25374	4174	16%	2,15	2,14	2,5	1,1
Déviation Epinal	RN 57	10	24579	3686	15%	2,21	2,11	2,5	1,1
Heudreville	RN 154	10	22000	3100	14%	2,33	2,47	2,5	1,1
St Joseph	RN 13	10	21300	900	4%	1,85	2,06	2,5	1,1
Charmes	RN 57	10	20960	3375	16%	2,15	2,19	2,5	1,1
Aumetz	RN 52	10	18709	2720	15%	2,40	2,12	2,5	1,1
Gueron	RN 13	10	18000	1200	7%	2,03	2,09	2,5	1,1
St Come	RN 13	10	16900	1100	7%	2,04	1,99	2,5	1,1
St Hilaire	RN 13	10	15800	1350	9%	2,10	2,10	2,5	1,1
Prey	RN 154	10	14000	2850	20%	2,15	2,15	2,5	1,1
Longueville	RN 13	10	13300	900	7%	2,06	2,14	2,5	1,1
Guénange	A31	13	72839	10415	14%	1,80	1,97	2,5	1,1
Bouzières	A31	13	65168	10296	16%	2,05	2,02	2,5	1,1
Kanfen	A31	13	60056	8600	14%	2,18	2,50	2,5	1,1
Fey	A31	13	54062	10304	19%	2,05	2,09	2,5	1,1
Augny	A31	13	49512	9889	20%	2,06	2,12	2,5	1,1
Fléville	A33	13	48024	7638	16%	2,43	2,44	2,5	1,1
Valcourt	A31	13	43877	11086	25%	2,04	2,12	2,5	1,1
Rosbruck	A320	13	41565	4701	11%	1,94	2,00	2,5	1,1
Tunnel_A30	A30	13	17791	2829	16%	2,27	2,15	2,5	1,1
Maizières	A31	14	93118	15342	16%	2,09	2,22	2,5	1,1
St Rémy	A31	14	85928	10003	12%	2,05	2,02	2,5	1,1

Tableau 15 - Exemple de facteurs de concentration VL calculés

Annexe 4

Tableur d'aide au calage

L'annexe 4 est constituée du tableur Tests_Situations_Calage.xls fourni en pièce jointe au présent guide.

Cette feuille de calcul Excel a pour but d'aider le modélisateur à la recherche de paramètres de calage pour la distribution des valeurs du temps et pour les malus. Il doit entrer dans le tableur les caractéristiques des itinéraires possibles pour une OD (ou un groupe d'OD d'affectation homogène), ainsi que les paramètres initiaux pour la valeur du temps (valeur moyenne et écart-type). L'outil calcule alors les parts théoriques de chaque itinéraire selon une affectation bi-critère prix-temps avec une distribution log-normale de la valeur du temps et sans recherche de l'équilibre de Wardrop. Une seule itération est ainsi calculée, les paramètres de capacité ne sont pas pris en compte. Le modélisateur peut ensuite, selon un processus d'essai-erreur, chercher à modifier les valeurs du temps et de malus permettant d'obtenir la répartition sur les itinéraires souhaitée.

Attention, le temps en charge n'est pas recalculé par la macro, elle doit être estimée et renseignée par le modélisateur. En outre, le résultat présenté dans le tableur n'est pas le résultat d'un équilibrage itératif et ne donne donc pas exactement les mêmes résultats que le modèle d'affectation prix-temps des Modules Sétra. En particulier, alors que les modules Sétra sélectionnent à chaque itinéraire les chemins efficaces et répartissent le trafic, la macro se contente d'affecter les trafics uniquement sur les itinéraires efficaces à l'équivalent de la première itération avec l'utilisation des temps en charge indiqués.

Voici le mode d'emploi de l'utilitaire :

- cliquer sur le bouton **Mise à zéro des données d'entrée** : cela efface les données inscrites dans les lignes 6 à 9 ;
- entrer les nouvelles données dans les lignes 6 à 9. Chaque colonne correspond à un itinéraire, avec 3 éléments à renseigner : coût, valeur du malus (facultatif, mais sert de référence pour vérifier que les modifications faites à la valeur du malus sont pertinentes) et temps de parcours (préférentiellement le temps en charge) ;
- entrer également la moyenne et l'écart-type des valeurs du temps de l'OD examinée dans les cellules B17 et B18 (VDT avant calage), ainsi que dans les cellules C17 et C18 (VDT après calage) ;
- cliquer sur le bouton **Recalculer les parts** : cela donne une idée a priori de la répartition des flux sur les différents itinéraires (ligne 26 : part avant calage) ;
- entrer les valeurs de malus supplémentaires à affecter aux différents itinéraires (ligne 14) et/ou modifier la moyenne et l'écart-type de la valeur du temps après calage (cellules C17 et C18) ;
- cliquer sur le bouton **Recalculer les parts** : la répartition des flux sur les différents itinéraires avec les paramètres avant calage est donnée à la ligne 26, celle avec les paramètres de malus et de valeur du temps modifiés est donnée à la ligne 34 (part après calage). La différence entre les deux résultats est donnée à la ligne 35 (Transferts) ;
- continuer à modifier les malus et les VDT après calage jusqu'à obtenir une répartition sur les itinéraires satisfaisante.

Le guide sur le calage et la validation des modèles de trafic est un ouvrage destiné aux chargés d'études en modélisation des déplacements au sein des Cété et des bureaux d'études privés.

Il introduit dans un premier chapitre le calage dans le processus de construction d'un modèle de trafic. Ensuite, il propose une synthèse bibliographique de la littérature et une analyse des pratiques de calage des modèles au sein du Ministère pour mettre en évidence les points à améliorer. Enfin, il émet un ensemble de recommandations pratiques pour guider les chargés d'études lors du calage de leurs modèles en décrivant un algorithme de calage et des techniques à mettre en œuvre pour le cas particulier de la modélisation en milieu interurbain avec les modules Sétra de TransCAD utilisés par le Réseau Scientifique et Technique du Ministère.

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

46, avenue Aristide Briand – BP 100 – 92225 Bagneux Cedex – France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 31 – télécopie : 33 (0)1 46 11 31 69

Document consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.developpement-durable.gouv.fr>
- I2 (Réseau intranet du Ministère) : <http://intra.setra.i2>

Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable du Sétra devra être demandé.

Crédit photo couverture : DREIF/GAUTHIER

© 2010 Sétra – Référence : 1020w – ISRN : EQ-SETRA--10-ED11--FR

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique du
MEEDDM

