

CONTRAT DE MANDAT

N° CL/2006/04

**Montage d'une matrice multimodale 2020 avec le
modèle EMME/2 de l'agglomération Lausanne-
Morges**

**Rapport final
par Jean-Pierre Leyvraz**

TABLE DES MATIÈRES

0	Présentation de l'outil développé	3
0.1	L'outil en général	3
0.2	EMME/2 et sa banque de données	3
0.3	La fonction de transfert actuelle	3
0.4	Hypothèses de l'outil dans son état actuel	3
0.5	Utilisation ou non de toutes les potentialités	4
1	Introduction	5
1.1	Quelques rappels et conventions	6
2	Détermination de la demande motorisée 2020	6
2.1	Objectif et données disponibles	6
2.2	Calcul des générations et attractions 2020	7
2.3	Obtention de la matrice 2020	8
3	Les transferts TIM-TC	10
3.1	Les principes	10
3.2	La méthode de calibrage utilisée	11
3.3	Les variables explicatives prises en compte	11
3.4	La fonction de transfert TIM-TC finalement retenue	13
3.5	Application à l'offre 2005	15
4	Scénarios d'offre future	17
4.1	Offres TC futures	17
4.2	Offre TIM future	17
5	Les répartitions modales obtenues dans le futur	18
5.1	Le cas de Réseau 2008	18
5.1.1	Changement de répartition à demande motorisée constante	18
5.1.2	Changement de répartition dû aux changements dans la demande motorisée	18
5.2	Le cas de Centre 2	20
5.3	Comparaison avec les temps de parcours	21
6	Le champ d'application du modèle	22
	ANNEXE A - La méthode de Furness ou Fratar	25
	ANNEXE B - Les lignes TL dans la variante Centre 2	27
	ANNEXE C - Documents transmis aux utilisateurs du modèle	28
	ANNEXE C - Documents transmis aux utilisateurs du modèle	29
	ANNEXE D - Description du programme EMME/2	30
	ANNEXE E - La banque de données Lausanne-Morges horizon 2020	32
	ANNEXE F - Contrôle sur le passage de la ligne 37 à la 18	36
	ANNEXE G - Un test direct de la fonction de transfert sur Flon-Gare et Flon-Ouchy	38

0 Présentation de l'outil développé

Cette brève présentation a pour but de décrire l'outil développé, les conditions dans lesquelles il peut s'appliquer et la façon la plus adéquate de l'utiliser afin de donner une première idée à d'éventuels utilisateurs.

0.1 L'outil en général

- Composition : une banque de données actionnée par le programme EMME/2 et une fonction pour modéliser les transferts entre voiture et transports en commun.
- But : comparer des variantes de modification des réseaux routiers et de transport en commun (qualité de service, volumes de trafic, part modale des transports en commun, etc.).
- Moyens : simulation du comportement des usagers (détermination de la demande voiture et transport en commun, choix d'itinéraire) pour obtenir les déplacements sur le réseau.

0.2 EMME/2 et sa banque de données

- Banque de données contenant la demande motorisée 2020 et divers scénarios d'offre pour 2008 et 2014.
- Déplacements traités : déplacements en voiture ou en transports en commun (autres modes ou modes combinés pas pris en compte).
- Déplacements traités de façon agrégée dans l'espace (origines et destinations définies par zone) et dans le temps (une tranche horaire, ici l'heure de pointe du matin).

0.3 La fonction de transfert actuelle

- Elle détermine, en fonction de la qualité respective des deux offres, les nombres d'usagers choisissant la voiture ou les transports en commun.
- Elle a été calibrée sur les données disponibles, mais peut être modifiée, notamment si de meilleures données sont disponibles.

0.4 Hypothèses de l'outil dans son état actuel

- Il faut l'utiliser pour comparer des variantes, pas pour obtenir des valeurs absolues (par exemple des nombres de passagers) pour une variante.
- Le modèle peut simuler les transferts modaux entre voiture et transports en commun, mais pas ceux concernant les modes doux, ni la demande induite (nécessiterait une autre étude avec des hypothèses à spécifier ensemble).
- L'utilisation des P+R n'est pas traitable actuellement (nécessiterait une autre étude avec des hypothèses à spécifier ensemble).
- L'effet des actions sur le stationnement n'est pas modélisable (il faudrait construire une autre fonction de transfert et pour ceci avoir les données sur le stationnement).
- Le modèle ne peut pas traiter actuellement de conditions n'existant actuellement nulle part sur le réseau (transport hectométrique, péage, etc.), faute de données expérimentales locales (nécessité d'hypothèses a priori ou de comparaisons avec d'autres villes).

- Le modèle suppose un avenir semblable au présent en ce qui concerne les éléments exogènes (mentalités et comportements, choix politiques, disponibilités énergétiques, etc.).

0.5 Utilisation ou non de toutes les potentialités

L'outil développé ici permet d'obtenir non seulement une demande motorisée 2020, mais également une fonction de transfert modal basée sur des observations faites en 2005, plutôt que sur des suppositions arbitraires. Il fournit ainsi une base utilisable pour des comparaisons d'offre à l'horizon 2020, incluant la possibilité de comparer d'une variante à l'autre les reports de la voiture aux transports en commun.

Toutefois ce modèle peut donner une impression de boîte noire, la fonction de transfert étant peu intuitive pour des décideurs. On peut donc préférer, le cas échéant, des hypothèses plus rustiques, mais plus faciles à expliquer, quitte à essayer plusieurs hypothèses pour en comparer les résultats.

De plus le modèle suppose implicitement un avenir semblable au présent, mis à part les changements d'offre explicitement codés.

Or on peut avoir une politique plus volontariste afin d'agir sur d'autres éléments. On pourrait par exemple se fixer un objectif a priori (par exemple la limitation du trafic automobile à un certain niveau) en considérant qu'on prendra toutes les mesures d'accompagnement nécessaires pour atteindre l'objectif, même si l'on ne peut pas juger d'avance de l'ampleur des mesures à prendre.

Les demandes voiture et transport en commun seraient donc ainsi prédéfinies et on pourrait faire plusieurs choix de valeurs prédéfinies selon le degré de rigueur que l'on se fixe dans les objectifs à atteindre. On pourrait très bien considérer dans la même étude d'une part des demandes prédéfinies pour représenter les choix volontaristes et d'autre part la fonction de transfert modal pour évaluer les résultats si l'on ne fait rien de plus que ce qui est codé.

Par ailleurs, même si l'on désire ne travailler qu'avec la fonction de report modal, il y a certains types de résultats pour lesquels on doit la laisser de côté. Prenons l'exemple de la comparaison entre 2 offres de transport en commun.

Si on veut les comparer au point de vue de la possibilité de transférer sur les transports commun des déplacements qui se faisaient auparavant en voiture, la fonction de report modal est l'outil adéquat.

Si en revanche, on veut comparer le temps moyen que les usagers des transports en commun mettent pour accomplir leur déplacement, la comparaison n'a de sens que si l'on considère dans les 2 cas le même ensemble de personnes. On ne peut donc pas prendre les résultats de la fonction de transfert, différents d'une variante à l'autre. On doit considérer une même demande pour les variantes à comparer, cette demande devant être dans la mesure du possible « neutre » par rapport aux deux variantes.

Comme la même étude peut s'intéresser à ces 2 sortes de résultats, elle peut utiliser les 2 approches correspondantes en matière de demande.

1 Introduction

Dans le cadre d'un mandat d'étude précédent¹, la banque de données EMME/2 de l'agglomération lausannoise avait été mise à jour temporellement (à l'année 2005) et spatialement (en étendant le champ de l'étude et en accroissant la finesse du zonage et de la description de l'offre). Le rapport final de ce mandat décrit à la fois le logiciel EMME/2, la banque de données EMME/2 correspondant au problème traité et la méthode de travail utilisée dans l'étude.

Le gros du travail avait consisté à produire 2 matrices des nombres de déplacements par **paire origine-destination (O-D)** à l'**heure de pointe du matin (HPM)**, l'une contenant les déplacements en **transports en commun (TC)**, l'autre ceux en **transports individuels motorisés (TIM)**. La banque de données produite incluait également les 2 scénarios d'offre TC et TIM correspondant à l'état 2005 à l'HPM, ainsi que les règles d'affectation représentant les choix de ligne(s) TC ou d'itinéraire routier effectués par les personnes en déplacement pour se rendre de leur origine à leur destination.

Dans ces cas, on pouvait travailler de façon **monomodale**. Autrement dit, pour un projet TC (resp. TIM), on pouvait se contenter de prendre en compte l'offre et la demande TC (resp. TIM) sans se préoccuper des conditions de déplacement avec l'autre mode.

Mais la plupart des études en cours ou prévues portent sur un horizon plus lointain, dans les années 2010 à 2020. L'hypothèse d'un volume de demande proche de celui de 2005 ne tient donc pas, vu les augmentations prévues en nombres d'habitants et d'emplois.

De plus, ces études portent sur des sauts qualitatifs significatifs dans l'offre TC (introduction de lignes dans des secteurs mal desservis, passage à des axes lourds). Ceci incite à travailler plutôt de façon **multimodale**, en prenant en compte simultanément l'offre des 2 modes pour définir des demandes TC et TIM différentes selon la qualité respective des 2 offres.

C'est pourquoi le présent mandat avait les objectifs suivants.

- Définir une matrice O-D totalisant déplacements TC et déplacements TIM à l'HPM 2020, en partant de la matrice correspondante pour 2005 et de pronostics d'augmentation des nombres d'habitants et d'emplois entre 2005 et 2020. Cette matrice était censée être la même pour tous les projets testés à l'horizon 2020.
- Définir une fonction permettant de calculer, par paire O-D, la part des déplacements TC (resp. TIM) en fonction d'attributs connus et pertinents des diverses paires O-D.
- Appliquer la fonction sur une offre de base TC et TIM définie pour 2020, en partant de la matrice (TC+TIM) HPM 2020 pour en tirer deux matrices TC et TIM HPM 2020 adaptées au cas de cette offre de base
- Appliquer la fonction sur une offre alternative afin de tester sa sensibilité.

¹ Contrat de mandat CL/2004/02, Mise à jour majeure de la modélisation de l'agglomération Lausanne-Morges.

Le mode de travail avec EMME/2 devait être le même que dans le mandat CL/2004/02 de mise à jour majeure (même zonage, mêmes choix de modélisation de l'offre et des hypothèses d'affectation).

1.1 Quelques rappels et conventions

Pour connaître les principales caractéristiques du programme EMME/2, le lecteur pourra se référer à l'annexe D, reprise du rapport final de l'étude CL/2004/02.

Il convient toutefois de préciser ici que EMME/2 travaille sur un territoire découpé en **zones** et que la demande est **agrégée** sous forme d'une **matrice origine-destination** donnant pour une origine i et une destination j , le nombre de personnes se rendant de i à j . Cette agrégation ne permet pas de distinguer les déplacements de deux personnes se rendant de la même zone i à la même zone j . Leurs points de départ à l'intérieur de la zone i peuvent être très différents, mais elles sont traitées toutes les deux comme si elles partaient d'un même point représentatif de la zone, son **centroïde**. De même elles sont toutes les deux traitées comme si leur destination était le centroïde de la zone j .

Dans toute cette étude, on travaille avec des déplacements à l'HPM. On ne traite, sauf indication contraire, que de déplacements effectués en TC ou en TIM. Dès lors, pour simplifier le langage, on ne parlera plus de matrice de demande (TC + TIM) HPM 2005 (resp. 2020), mais simplement de **demande motorisée 2005** (resp. **2020**). Lorsqu'on voudra considérer seulement la demande TC ou TIM, on parlera de **demande TC 2005** ou de **demande TIM 2005** (resp. **2020**).

2 Détermination de la demande motorisée 2020

2.1 Objectif et données disponibles

Il s'agit de construire une matrice de la demande motorisée 2020 en se basant sur les données suivantes :

- la matrice de demande motorisée 2005
- les populations et nombres d'emplois des diverses zones EMME/2 pour 2005 et 2020.

La matrice de demande 2005 a été calculée dans le cadre du mandat CL/2004/02. Le zonage sur lequel elle repose compte 485 **zones internes** au **champ de l'étude** et 12 **zones externes** ; les zones externes sont grossières ; par exemple Berne, Fribourg, Zurich, Bulle et Palézieux se trouvent dans une même zone au nord-est du champ de l'étude.

Cette matrice contient 3 types de déplacements :

- des déplacements ayant leur **origine et / ou leur destination dans le champ de l'étude**, l'autre extrémité du déplacement étant en Suisse ; ces déplacements constituent l'essentiel de la matrice
- des **déplacements TC** ayant leur origine au sud du lac et concernant essentiellement des **frontaliers** venant travailler en bateau ; on avait dû les ajouter pour obtenir des charges correctes sur les lignes TC passant à Ouchy

- des **déplacements TIM** ayant leur origine et leur destination hors du champ de l'étude ; ils avaient été ajoutés pour charger l'autoroute avec du **trafic de transit**, conformément à la réalité, afin d'y obtenir des temps de parcours réalistes.

Quant aux estimations² des nombres d'habitants et d'emplois par zone, elles ont été fournies par le Service de la mobilité. Pour les zones internes au champ de l'étude, ces estimations n'ont pas posé de problèmes conceptuels. En revanche, pour les zones externes qui peuvent s'étendre très loin, cela n'aurait pas eu de sens de considérer tous les habitants et tous les emplois de la zone puisque seule une partie de celle-ci génère ou attire des déplacements concernant l'agglomération Lausanne-Morges. Par exemple, même si Zurich et Palézieux sont dans la même zone externe, la proportion des déplacements avec origine ou destination dans l'agglomération est nettement plus importante pour Palézieux que pour Zurich.

Dès lors, parmi les habitants d'une zone externe, le Service de la mobilité n'a considéré que ceux habitant sur Vaud ou faisant partie d'un ménage comptant au moins une personne travaillant dans ce canton. Parmi les emplois de la zone externe, il n'a considéré que ceux situés sur territoire vaudois ou occupés par des Vaudois. Ces règles peuvent sembler arbitraires, mais l'essentiel est qu'on ait utilisé les mêmes pour 2005 et 2020.

En se contentant d'extrapoler la demande motorisée 2005 sur la base de pronostics d'accroissement de la population et des emplois, **on renonce**, faute de données, à **faire intervenir** des facteurs comme :

- **l'effet structurant de l'offre** pouvant inciter des habitants ou des activités à se déplacer sur des axes mieux desservis³
- les **changements dans le comportement** pouvant résulter de **modifications** importantes dans les **conditions politiques ou économiques**, ou dans les **mentalités**.

Et surtout, puisque cette matrice est censée être indépendante de l'offre, on renonce à obtenir des demandes motorisées 2020 différentes selon la qualité de l'offre en vigueur à cette date. On **renonce** donc aux possibilités de modéliser de la **demande induite** (déplacements qui n'auraient pas été effectués si l'offre n'avait pas été améliorée) ou des reports modaux entre **modes non motorisés** ou doux (marche à pied, vélo) et modes motorisés.

2.2 Calcul des générations et attractions 2020

Pour les déplacements ayant leur origine et / ou leur destination dans le champ de l'étude, l'autre extrémité du déplacement étant en Suisse, la méthode de calcul des valeurs 2020 comporte 2 étapes : d'abord le calcul des générations et des attractions 2020 et ensuite le calcul des nombres de déplacements par paire O-D. Quant aux autres déplacements (frontaliers et transit autoroutier), leur traitement, plus rudimentaire, est exposé au paragraphe suivant.

² On parle d'estimations non seulement pour 2020, mais aussi pour 2005, car les sources de départ sont le Recensement Fédéral de la Population de 2000 et le Recensement Fédéral des Entreprises de 2001. Cependant les estimations pour 2005 sont assez précises, car on a souvent pu recouper l'information des recensements avec d'autres données disponibles.

³ D'où par exemple une sous-estimation du nombre de passagers empruntant de futures lignes très performantes.

Par **génération** d'une zone (resp. **attraction**), on entend l'ensemble des déplacements qui y ont leur **origine** (resp. leur **destination**). Les générations correspondent donc aux sommes des lignes de la matrice O-D des déplacements et les attractions aux sommes des colonnes.

Pour le calcul des générations et attractions 2020, on est parti de la matrice de demande motorisée 2005 calculée dans le mandat CL/2004/02. On a enlevé à cette matrice les déplacements concernant les frontaliers et le transit autoroutier, ces déplacements étant traités à part, et on a calculé les sommes des lignes et des colonnes de la matrice ainsi modifiée pour obtenir les générations et attractions 2005.

Pour calculer les générations 2020, le principe de base utilisé a été le suivant : **le rapport entre la génération d'une zone et sa population est le même en 2020 qu'en 2005**. En d'autres termes, pour une zone donnée la proportion des gens qui partent de chez eux à l'HPM en utilisant un mode motorisé ne change pas entre 2005 et 2020. La règle n'est évidemment pas utilisable en cas de population nulle en 2005 et elle n'est pas très pertinente en cas de population faible. Par conséquent, pour les zones ne comptant pas plus de 50 habitants en 2005, la génération 2020 a été calculée non pas selon le rapport génération 2005 / population 2005 pour la zone en question, mais selon celui pour la totalité des zones internes ayant plus de 50 habitants en 2005.

Pour calculer les attractions 2020, on a utilisé une **règle symétrique en remplaçant le rapport génération / nombre d'habitants par le rapport attraction / nombre d'emplois**. L'hypothèse d'invariance entre 2005 et 2020 peut paraître plus douteuse pour les attractions que pour les générations. En effet si à l'HPM l'origine des déplacements correspond en général bien au lieu d'habitation des gens, la destination, elle, ne correspond pas forcément à un lieu de travail ; elle peut aussi correspondre à un lieu d'étude. Idéalement, il aurait donc fallu considérer non pas le nombre des postes de travail dans une zone, mais le cumul des nombres de postes de travail et d'étude, mais cette information manquait. Cependant il n'est pas absurde de supposer, faute de mieux, que pour une même zone les nombres de postes de travail et de postes d'étude évoluent de façon parallèle. Par exemple on peut supposer une certaine stabilité par zone dans la relation entre nombre d'emplois et nombre de places d'apprentissage offertes. De même, dans les zones correspondant à une école importante (Gymnase, Haute Ecole, etc.), on peut aussi supposer un rapport constant au cours du temps entre l'effectif du personnel de l'école et celui des étudiants.

Du moment que les règles utilisées pour calculer les générations 2020 étaient indépendantes de celles employées pour les attractions 2020, il n'y avait pas de raison que le total des générations et celui des attractions coïncident à ce stade. Il a donc fallu corriger toutes les générations en les multipliant par un même facteur et toutes les attractions en les multipliant par un même autre facteur afin de faire coïncider ces 2 totaux, le nouveau total étant la moyenne des deux précédents.

2.3 Obtention de la matrice 2020

Considérons d'abord le cas des déplacements ayant leur origine et / ou leur destination dans le champ de l'étude, l'autre extrémité du déplacement étant en Suisse.

Les générations et attractions 2020 ayant été obtenues, il s'agit maintenant, en partant de la matrice de demande 2005, d'arriver à une matrice 2020 dont les sommes de lignes et de

colonnes correspondent à ces générations et attractions, et ceci sans trop bouleverser la distribution des déplacements.

Pour ce faire on a utilisé, avec quelques aménagements, la méthode de Furness, méthode itérative consistant grosso modo à alterner des règles de trois sur la somme des lignes de la matrice avec des règles de trois sur la somme des colonnes. Cette méthode est décrite plus en détail dans l'annexe A.

La demande motorisée 2020 obtenue est comparée à celle de 2005 dans le tableau ci-dessous. La comparaison est faite en considérant 3 grands groupes de zones : celles situées sur la Commune de Lausanne à l'exception des zones foraines (**Ville**), les autres zones internes (**Agglo**) et enfin les zones **externes**.

		Demande motorisée 2005	Demande motorisée 2020	Augmentation %
Ville	Ville	13'581	13'460	-1%
Ville	Agglo	7'386	8'778	19%
Ville	Externe	2'931	3'218	10%
Agglo	Ville	12'168	13'078	7%
Agglo	Agglo	17'867	22'190	24%
Agglo	Externe	5'673	6'815	20%
Externe	Ville	8'061	8'948	11%
Externe	Agglo	9'788	12'752	30%
Total		77'454	89'240	15%

Les chiffres 2005 ne sont pas directement comparables à ceux du mandat CL/2004/02, car ci-dessus **on a éliminé les déplacements internes à une zone** (zone origine identique à la zone destination). En effet, ces déplacements, que l'on n'arrive pas à distinguer de l'immobilité, ne peuvent de toute façon pas être affectés sur le réseau. **Ils n'entreront donc plus en ligne de compte par la suite.**

Reste à obtenir les valeurs pour les 2 autres types de déplacements.

Le nombre total de déplacements TC HPM des frontaliers de 2005 a été extrapolé à 2020 selon un taux d'accroissement de 70 % suggéré par le Service de la mobilité. Les déplacements obtenus ont été ventilés entre les diverses destinations selon les mêmes proportions que dans la matrice de 2005.

Quant aux déplacements TIM de transit sur l'autoroute obtenus pour 2005, ils ont été extrapolés à 2020 selon des pourcentages découlant d'un macro-modèle du Service de la mobilité⁴.

Les valeurs obtenues pour ces 2 types de déplacements sont les suivantes.

⁴ Multiplication par 2.5 pour le transit dans le sens est-ouest, 2.2 pour nord-ouest, 1.2 pour est-nord, pas de modification dans les autres cas

	Demande motorisée 2005	Demande motorisée 2020	Augmentation %
Frontaliers TC	147	250	70%
Transit autoroutier	1'604	2'651	65%

3 Les transferts TIM-TC

3.1 Les principes

Une fois obtenue la matrice de demande 2020, on désire disposer d'une fonction permettant de déterminer, par paire O-D, les parts respectives des déplacements en TC et en TIM. Techniquement, il s'agit d'une fonction de répartition modale, puisqu'elle répartit une demande motorisée en demande TC et TIM.

Mais, comme indiqué plus haut, elle n'effectue la répartition qu'entre ces 2 modes motorisés et en supposant que la demande à répartir reste constante, négligeant ainsi les possibilités de demande induite, ainsi que de transferts concernant les modes non motorisés. Nous parlerons donc, pour éviter des malentendus, de **fonction de transfert TIM-TC**, plutôt que de fonction de répartition modale.

Cette fonction dépendra de variables explicatives liées notamment aux conditions respectives de déplacement en TC et en TIM, ainsi qu'aux caractéristiques des zones d'origine et de destination. Elle devrait permettre, en cas de modification des offres TC et TIM, d'évaluer le report d'un mode de transport sur l'autre.

Ceci ne concerne évidemment pas le transit autoroutier, ni les déplacements TC des frontaliers pour lesquels le mode de déplacement est déjà prédéfini.

Pour que la fonction ne découle pas seulement de pures suppositions de la part des mandataires, il était nécessaire de la calibrer à partir de données découlant directement ou indirectement d'observations.

Même si des modèles de choix modal sont employés dans d'autres régions, il n'était pas possible de transplanter ces fonctions venues d'ailleurs, vu les différences dans la définition des grandeurs utilisées, dans la facilité d'en disposer et surtout dans le contexte général (situation économique, mentalités, type d'urbanisme, choix politiques, etc.).

Dès lors, les mandataires ont choisi de calibrer la fonction de transfert TIM-TC sur la situation 2005 en confrontant les parts modales par paire O-D, connues en vertu du contrat CL/2004/02, aux valeurs prises, pour ces mêmes paires O-D, par des variables explicatives pertinentes. Cette approche repose sur l'**hypothèse** implicite que les **mécanismes expliquant les différences de choix modal entre paires O-D en 2005** peuvent aussi expliquer les **reports modaux en 2020 selon les variantes** de réseaux TC et TIM choisies.

Le choix des **variables explicatives** à utiliser est limité par les données disponibles. En effet ces variables doivent être disponibles non seulement en 2005 pour le calibrage de la fonction, mais aussi en 2020 pour son utilisation.

3.2 La méthode de calibrage utilisée

Le calibrage de la fonction de transfert a été effectué à l'aide du logiciel Biogeme dont le fonctionnement est décrit plus en détail dans <http://www.strc.ch/Paper/bierlaire.pdf>

On travaille avec des fonctions de type **logit**. Autrement dit pour une paire O-D (i, j), les probabilités respectives des 2 choix modaux sont données par

$$\text{Pr ob [TC pour aller de } i \text{ à } j] = \frac{e^{U_{TC,i,j}}}{e^{U_{TC,i,j}} + e^{U_{TIM,i,j}}} \text{ et}$$

$$\text{Pr ob [TIM pour aller de } i \text{ à } j] = \frac{e^{U_{TIM,i,j}}}{e^{U_{TC,i,j}} + e^{U_{TIM,i,j}}}$$

où $U_{TC,i,j}$ et $U_{TIM,i,j}$ sont des **fonctions d'utilité** des modes TC et TIM pour aller de la zone i à la zone j . Ces utilités sont des fonctions linéaires faisant intervenir diverses variables explicatives, prises telles quelles ou transformées, chacune ayant son coefficient de pondération. Les décisions de choix modal sont censées être indépendantes d'un usager à l'autre.

Le problème est de bien choisir les variables explicatives à prendre en compte, de les soumettre le cas échéant à la bonne transformation et de leur attribuer les bons coefficients de pondération.

Le calibrage des coefficients se base sur le principe du maximum de vraisemblance : on cherche le jeu de coefficients qui maximise la probabilité d'obtenir, paire O-D par paire O-D, la répartition modale qui a été effectivement « observée »⁵.

Au cas où, pour une variable explicative, le coefficient obtenu n'est pas significativement différent de zéro, la variable est à écarter puisqu'on n'est pas en mesure de dire dans quel sens elle influence le choix modal.

Il va de soi que la fonction de transfert obtenue n'est applicable que dans des conditions raisonnablement proches de la réalité observée qui a servi à la calibrer. On ne peut pas l'appliquer à des conditions caricaturales, par exemple à des cas de détérioration extrême d'un mode⁶. En effet, dans de tels cas les règles de report d'un mode à l'autre ne jouent plus ; dans la réalité certains déplacements ne se feraient plus ou alors se feraient par d'autres moyens⁷.

La répartition modale par paire O-D se fera par répartition du nombre de déplacements concernés au prorata des probabilités des 2 modes.

3.3 Les variables explicatives prises en compte

Diverses variables explicatives ont été envisagées, appartenant à différentes catégories, notamment les suivantes :

⁵ Dans le cas présent, on prend pour les variables explicatives leurs valeurs de 2005 ; quant à la répartition modale « observée », c'est celle définie par les matrices TC et TIM 2005 calculées dans le mandat CL/2004/02.

⁶ Cf. annexe G.

⁷ On peut faire une analogie avec le cas d'un ressort. On peut trouver des lois sur l'allongement d'un ressort en fonction de la force exercée, mais au-delà de certaines limites, le ressort casse et la loi ne s'applique plus.

- variables liées aux conditions du déplacement origine-destination en TIM : temps de parcours à vide (si on était seul sur le réseau), temps de parcours calculé par EMME/2 dans les conditions de l'HPM, kilomètres à parcourir
- variables liées aux conditions du déplacement origine-destination en TC : temps de parcours en distinguant le temps de marche à pied, le temps d'attente et le temps en véhicule, nombre de transbordements au cours du trajet, kilomètres parcourus.
- variables liées à la zone origine du déplacement : position (en ville, en agglomération ou hors du champ de l'étude), densité de la population et taux de motorisation
- variables liées à la zone de destination du déplacement : position (en ville, en agglomération ou hors du champ de l'étude), densité des emplois, ampleur des problèmes de stationnement, part du motif formation parmi les pendulaires.

Pour les 2 dernières catégories, on parlera de variables **statiques**, en ce sens que leurs valeurs ne sont pas modifiées directement par un changement de l'offre. Elles ne servent donc pas à rendre compte des reports modaux en cas de changements dans l'offre, mais plutôt à rendre compte des différences de choix modal entre paires O-D à égales conditions de concurrence entre TC et TIM.

Parmi toutes les variables explicatives envisagées, beaucoup n'ont pas pu être retenues.

Certaines ont dû être éliminées par manque d'information fiable. Les enquêtes montrent que les personnes disposant à la fois d'une voiture et d'une place assurée à destination utilisent très majoritairement la voiture. Par exemple sur des automobilistes enquêtés dans la région lausannoise par Vincent Kaufmann⁸, la part de ceux utilisant leur véhicule pour se rendre à leur travail était de 94 % en cas de stationnement réservé à destination, mais de 35 % seulement sinon.

Malheureusement les données disponibles sur les taux de motorisation par zone origine ne permettent pas de savoir quel est le pourcentage de personnes disposant d'une voiture pour leurs déplacements. En effet elles ne font pas la différence entre une voiture détenue par un usager susceptible de l'utiliser et une voiture appartenant à un garage, attendant immobile d'être vendue.

Quant aux problèmes de stationnement, ils sont de plusieurs natures. Un automobiliste peut avoir des difficultés à se parquer parce que matériellement les places manquent dans sa zone de destination ou bien parce qu'elles existent, mais sont réservées à d'autres catégories comme les porteurs de macarons ou encore parce qu'elles sont trop chères ou trop éloignées. La difficulté de stationner peut donc s'exprimer par divers critères difficiles à agréger sur lesquels de plus l'information est lacunaire, d'où l'impossibilité de fournir des indicateurs quantitatifs. On aurait pu imaginer qu'un groupe d'experts se réunisse et donne des appréciations qualitatives par zone, mais cela n'a pas été fait dans le cadre de cette étude.

⁸ Vincent Kaufmann, Le report modal de l'automobile vers les transports publics, rapport de recherche No. 126, IREC, EPFL, mars 1995, p. 228.

L'absence du stationnement dans les variables explicatives empêche de modéliser les effets de mesures visant à le restreindre. Il est à noter que beaucoup d'autres mesures de restriction du trafic automobile (péage urbain par exemple) seraient difficiles à modéliser avec les variables à disposition. Or l'enquête citée de Vincent Kaufmann montre que le détenteur d'une automobile n'est guère sensible à la plus ou moins grande qualité de l'offre TC que si les conditions de déplacement en voiture sont mauvaises⁹.

D'autres variables explicatives ont été éliminées parce qu'elles n'étaient pas significatives ou parce qu'elles étaient trop corrélées à d'autres, elles significatives ; par exemple les variables exprimées en distance étaient très corrélées à celles exprimées en temps.

Et enfin une variable potentiellement prometteuse n'a pas été envisagée. Il s'agit de la possibilité ou non, si l'on opte pour les TC, de faire son déplacement entièrement sur des axes ferroviaires. Cette variable aux valeurs faciles à déterminer pourrait être ajoutée dans une étude ultérieure.

On est ainsi confronté à 2 problèmes de qualité des données :

- non prise en compte de certaines variables potentiellement explicatives, souvent par manque d'information disponible et fiable
- manque de données avant/après (toutes les données concernent la même HPM 2005).

A cause de ces 2 problèmes, la fonction de transfert obtenue ne peut reproduire qu'imparfaitement la répartition des déplacements entre voiture et TC.

Ainsi la première fonction de transfert retenue, appliquée à la situation de 2005, reproduisait bien la répartition modale trouvée dans l'étude CL/2004/02 grâce à l'effet des variables statiques, mais en revanche sa sensibilité aux modifications de l'offre était manifestement insuffisante.

Une seconde fonction a alors été calibrée, sans variables statiques. La sensibilité aux modifications de l'offre était nettement plus élevée, mais en revanche les résultats obtenus collaient moins étroitement à la situation de 2005. C'est cette seconde fonction qui a été retenue et qui est présentée ci-dessous.

3.4 La fonction de transfert TIM-TC finalement retenue

Il a fallu distinguer 3 cas, selon qu'on avait affaire à des déplacements à l'intérieur du champ de l'étude, entrant dans ce champ ou en sortant.

Pour comprendre cette nécessité, rappelons que l'agrégation de la demande par zone ne permet pas de distinguer les déplacements de deux personnes se rendant de la même zone i à la même zone j . Elles sont traitées toutes les deux comme si leur point de départ était le centroïde de la zone i et leur point d'arrivée celui de la zone j , alors qu'en réalité elles peuvent avoir des points de départ et d'arrivée assez différents.

⁹ Même ouvrage, pp. 134-135.

Le biais n'est pas trop grave pour les déplacements internes au champ de l'étude, car les zones d'origine et de destination sont relativement petites.

En revanche, il n'en va plus de même quand des zones externes sont en jeu. Prenons la grande zone externe nord-est qui comprend à la fois Zurich, Fribourg, Palézieux et Châtel-Saint-Denis. Les conditions de concurrence entre TIM et TC ne sont manifestement pas les mêmes selon qu'on a comme point de départ (ou d'arrivée) Fribourg ou Châtel-Saint-Denis.

En fin de compte les **fonctions d'utilité** retenues pour les **déplacements à l'intérieur du champ de l'étude** sont les suivantes

$$U_{TC} = 4.9347 - 0.4353 \ln(5.603 + t_{Att1}) - 1.5693 \ln(5.603 + t_{Att2}) - 0.9305 \ln(5.603 + t_{MarDF}) - 0.5751 \ln(5.603 + t_{MarMil}) - 0.0105 t_{Veh}$$

$$U_{TI} = -0.7797 \ln(5.603 + t_{TIM})$$

avec :

- t_{Att1} = temps de la première attente
- t_{Att2} = temps des autres attentes¹⁰
- t_{MarDF} = temps des marches à pied initiale et terminale
- t_{MarMil} = temps des marches à pied intermédiaires (essentiellement lors de transbordements)¹¹
- t_{Veh} = temps passé en véhicule TC
- t_{TIM} = temps TIM dans les conditions HPM sans les opérations initiales et terminales¹²

Tous ces temps sont exprimés en minutes. Il est normal que tous les coefficients soient négatifs (plus ces temps sont longs, plus les déplacements par le mode concerné sont pénalisés). Les poids particulièrement élevés attribués aux attentes TC inévitables sont eux aussi plausibles.

Pour les **déplacements entrant dans le champ de l'étude**, les 2 fonctions sont les suivantes

$$U_{TC} = 4.1853 - 2.2332 \ln(5.603 + t_{Att}) - 1.1471 \ln(5.603 + t_{Mar}) - 0.4817 \ln(5.603 + t_{Veh})$$

$$U_{TIM} = -1.9245 \ln(5.603 + t_{TIM}) + BiAIS_{Or}$$

avec :

- t_{Att} = temps d'attente
- t_{Mar} = temps de marche à pied

¹⁰ La première attente diffère des suivantes en cas de transbordement(s) ; en effet on peut l'éviter en se présentant au bon moment, contrairement aux autres qui découlent des problèmes de correspondance.

¹¹ Les temps de marche liés à des transbordements sont mieux connus que ceux au début et à la fin du déplacement puisqu'on ne connaît pas le vrai début et la vraie fin, mais seulement les centroïdes des zones d'origine et de destination.

¹² Comme on ne connaît pas les conditions de stationnement, on considère une vitesse de 30 km/h à l'intérieur des zones initiale et finale, en négligeant les temps de marche et de recherche de places de parc.

La variable $Biais_{Or}$ a pour but de compenser les biais dus au fait que le centroïde de la zone origine n'est pas forcément représentatif des débuts de déplacement des personnes partant de cette zone. En effet à supposer que le centroïde de la zone externe nord-est soit mis sur Châtel-Saint-Denis et que la majorité des personnes entrant dans le champ de l'étude viennent plutôt de Fribourg, il y aurait un sérieux biais dans la description des conditions de déplacement comparées en TC et en TIM.

Cette variable de biais a évidemment une valeur différente pour chacune des zones externes. En revanche on admet implicitement que pour une zone externe donnée, le biais est en gros le même, quelle que soit la destination du déplacement.

On admet aussi que ce biais sera le même en 2020 qu'en 2005 et qu'il ne dépendra pas de la variante d'offre considérée. Cette hypothèse pourrait être discutable si à l'intérieur de la zone externe considérée avaient lieu d'importantes modifications de l'offre ou de la répartition spatiale des habitants et des activités. Elle est cependant retenue en l'absence d'informations sur ces éléments extérieurs au champ de l'étude.

Pour les **déplacements sortant du champ de l'étude**, les fonctions sont les suivantes.

$$U_{TC} = 6.5933 - 1.2523 \ln(5.603 + t_{Att}) - 1.6334 \ln(5.603 + t_{Mar}) - 0.5878 \ln(5.603 + t_{Veh}) \text{ et}$$
$$U_{TIM} = -1.16125 \ln(5.603 + t_{TIM}) + Biais_{Des}$$

La variable $Biais_{Des}$ est le pendant de $Biais_{Or}$ pour les déplacements sortant du champ de l'étude puisque cette fois les zones externes sont à la destination des déplacements.

3.5 Application à l'offre 2005

La fonction de transfert calibrée sur l'offre 2005 a été appliquée sur cette même offre. Le tableau suivant compare la répartition qui découlait de l'étude CL/2004/02 à celle reconstituée grâce à la fonction calibrée. De même que dans les autres tableaux qui suivront, on ne tient pas compte ni des frontaliers, ni du transit autoroutier, ni des déplacements internes à une zone.

Origine	Destination	Offre 2005 Demande 2005 Etude 2005 TC	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée TC	Offre 2005 Demande 2005 Etude 2005 % TC	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée % TC	Offre 2005 Demande 2005 Etude 2005 TIM	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée TIM	Offre 2005 Demande 2005 Etude 2005 % TIM	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée % TIM
Ville	Ville	5'885	5'154	43%	38%	7'696	8'427	57%	62%
Ville	Agglo	2'042	1'926	28%	26%	5'344	5'460	72%	74%
Ville	Externe	707	627	24%	21%	2'224	2'304	76%	79%
Agglo	Ville	3'933	3'892	32%	32%	8'235	8'275	68%	68%
Agglo	Agglo	3'044	3'953	17%	22%	14'823	13'914	83%	78%
Agglo	Externe	738	819	13%	14%	4'935	4'853	87%	86%
Externe	Ville	2'825	2'657	35%	33%	5'235	5'404	65%	67%
Externe	Agglo	1'568	1'755	16%	18%	8'219	8'033	84%	82%
Total		20'744	20'784	27%	27%	56'711	56'670	73%	73%

¹³

Comme mentionné plus haut, si la fonction restitue bien globalement la répartition issue de l'étude 2005, les différences locales peuvent être fortes. C'est particulièrement vrai pour 3 destinations importantes : l'UNIL, l'EPFL et le Gymnase du Bugnon. Les parts des TC y sont respectivement de 50%, 51 % et 55% selon l'étude de 2005, mais de 34%, 33% et 35% selon la fonction de transfert.

Ces 3 exemples suggèrent le manque d'une variable explicative identifiant les écoles importantes couvrant un territoire suffisamment grand pour qu'on s'y rende essentiellement par des modes motorisés. En effet, dans les déplacements pour la formation, les TC sont beaucoup plus utilisés que dans ceux pour le travail. Cette évidence est corroborée par les études Rumba sur les déplacements à destination des Hautes Ecoles.

Une autre variable qui pourrait être utile est celle exprimant la possibilité de faire tout son déplacement sur des axes ferroviaires, ce qui est le cas pour de nombreuses personnes se rendant aux Hautes Ecoles. Les TC sont en effet plus visibles et plus attractifs lorsqu'ils roulent sur rail.

Le manque de ces variables explicatives dans la fonction de transfert n'est pas forcément gênant si l'on cherche simplement à comparer des variantes d'offre entre elles, du moins tant que les écoles restent aux mêmes endroits et que les axes ferroviaires restent plus ou moins les mêmes. Sinon, il faudrait ou bien modifier la fonction ou bien prendre en compte le biais lié à l'absence de ces variables.

¹³ La légère différence entre les nombres totaux de déplacements TC dans les 2 cas (20'744 et 20'784) est due à la correction d'une erreur mineure dans la codification de l'offre TC 2005, correction qui est intervenue entre le moment du calibrage de la fonction de répartition et celui de son application.

Par ailleurs on constate que globalement dans les déplacements Ville-Ville la part effective des déplacements TC est plus forte que ce que donne la fonction, alors que dans les déplacements Agglo-Agglo, c'est l'inverse. Une explication pourrait être qu'à qualité de service objectivement égale, l'utilisateur est subjectivement plus conscient de l'existence des TC quand il se trouve en ville, car ils y sont plus visibles qu'en agglomération.

4 Scénarios d'offre future

Il était prévu d'effectuer la répartition modale de la demande motorisée 2020 dans 2 cas différents : selon une offre de base et selon une offre différente afin d'évaluer la sensibilité aux modifications. Ces 2 cas sont décrits ci-dessous.

4.1 Offres TC futures

Les 2 offres prises en compte sont désignées par les noms de code *Réseau 2008* et *Centre 2*.

La première correspond au réseau TL de 2008 et aux lignes CFF, LEB et BAM dans leur état prévu par le Service de la mobilité pour 2010. Quant aux autres lignes du champ de l'étude (lignes de Car Postal et lignes de bus de MBC), on a pris comme hypothèse l'absence de changement par rapport à 2005.

Dans le cadre du Schéma directeur de l'Ouest lausannois (SDOL), une étude a été menée SDOL, chantier 6 transports publics, dès 2005, visant à déterminer les attributs du réseau urbain correspondants. La variante *Centre 2* a été recommandée par le groupe de suivi technique comme image directrice du réseau à l'horizon 2014, car elle se détache des autres variantes en apportant une meilleure réponse à la demande future tout en étant complémentaire avec le réseau RER.

Une description des lignes de *Centre 2* est présentée dans l'annexe B.

4.2 Offre TIM future

Dans les 2 cas d'offre TC, l'offre TIM correspondante prise en compte est la même. Les modifications par rapport à la situation de 2005 sont les suivantes :

- évitement de la Sallaz
- compléments de jonction autoroutière à la Blécherette et à Malley
- nouvelle jonction autoroutière au bord de la Venoge
- nouvelle jonction autoroutière à Chavannes
- aménagements routiers sur Chavannes et Renens découlant de la nouvelle jonction
- suppression des entrecroisements entre la jonction de Crissier et l'échangeur de Villars-Ste-Croix
- 3^{ème} voie autoroutière entre Morges et l'échangeur d'Ecublens
- limitation de vitesse à 80 km/h dans tout le triangle entre Morges, la Maladière et l'échangeur de Villars-Ste-Croix.

5 Les répartitions modales obtenues dans le futur

5.1 Le cas de Réseau 2008

5.1.1 Changement de répartition à demande motorisée constante

Deux calculs de répartition modale ont successivement été effectués. Le premier avait pour but d'évaluer les effets sur la répartition modale calculée du passage de l'offre 2005 à l'offre Réseau 2008. Pour isoler cet effet, dans les deux cas on a pris en compte la demande motorisée 2005 et on a calculé la répartition modale selon la fonction définie plus haut. Les résultats sont les suivants.

Origine	Destination	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Offre 2005 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée
		TC	TC	% TC	% TC	TIM	TIM	% TIM	% TIM
Ville	Ville	5'154	5'306	38%	39%	8'427	8'275	62%	61%
Ville	Agglo	1'926	2'023	26%	27%	5'460	5'363	74%	73%
Ville	Externe	627	688	21%	23%	2'304	2'243	79%	77%
Agglo	Ville	3'892	3'987	32%	33%	8'275	8'181	68%	67%
Agglo	Agglo	3'953	4'124	22%	23%	13'914	13'744	78%	77%
Agglo	Externe	819	887	14%	16%	4'853	4'786	86%	84%
Externe	Ville	2'657	2'773	33%	34%	5'404	5'288	67%	66%
Externe	Agglo	1'755	1'767	18%	18%	8'033	8'021	82%	82%
Total		20'784	21'553	27%	28%	56'670	55'901	73%	72%

Le passage à Réseau 2008 améliore non seulement les TC, mais aussi les TIM avec l'introduction de nouvelles jonctions autoroutières, de nouvelles voies autoroutières, la modification de la jonction de la Blécherette, etc. Ces mesures ont pour effet de diminuer la congestion du réseau routier et donc l'incitation à passer aux TC.

Et pourtant telle est l'amélioration des TC (m2, réseau CFF, etc.) que le modèle donne une augmentation de leur part dans toutes les catégories de déplacements. On peut imaginer qu'il sous-évalue encore l'augmentation puisqu'on n'a pas introduit, dans les variables explicatives, la possibilité ou non de faire tout son déplacement sur des axes ferroviaires. Or l'effet du nouveau métro sera précisément de donner cette possibilité à plus de personnes.

5.1.2 Changement de répartition dû aux changements dans la demande motorisée

Ainsi la situation Réseau 2008 sera plus favorable aux TC, pour autant que la distribution des déplacements reste la même. Mais entre 2005 et 2020 cette distribution est appelée à changer. Ce changement va-t-il amplifier ou atténuer les effets constatés ? Le tableau suivant, qui

compare pour la même offre *Réseau 2008* les répartitions obtenues pour les demandes motorisées 2005 et 2020, répond à la question.

Origine	Destination	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2005 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée
		TC	TC	% TC	% TC	TIM	TIM	% TIM	% TIM
Ville	Ville	5'306	5'275	39%	39%	8'275	8'185	61%	61%
Ville	Agglo	2'023	2'403	27%	27%	5'363	6'375	73%	73%
Ville	Externe	688	844	23%	26%	2'243	2'374	77%	74%
Agglo	Ville	3'987	4'319	33%	33%	8'181	8'759	67%	67%
Agglo	Agglo	4'124	5'151	23%	23%	13'744	17'039	77%	77%
Agglo	Externe	887	1'179	16%	17%	4'786	5'636	84%	83%
Externe	Ville	2'773	3'311	34%	37%	5'288	5'638	66%	63%
Externe	Agglo	1'767	2'576	18%	20%	8'021	10'176	82%	80%
Total		21'553	25'058	28%	28%	55'901	64'181	72%	72%

On constate que les changements sont avant tout des améliorations de la part des TC pour les déplacements ayant leur origine ou leur destination en dehors du champ de l'étude. En effet entre 2005 et 2020, la population et les emplois ont beaucoup plus augmenté dans les zones externes bien desservies par les TC (comme Genève) que dans celles mal reliées (comme Poliez-Pittet). Ainsi le poids des premières a augmenté plus vite que celui des secondes dans les échanges entre zones externes et agglomération lausannoise.

La matrice de demande motorisée 2020 sur laquelle se basent les valeurs obtenues ci-dessus a été construite avec l'hypothèse qu'entre 2005 et 2020 l'augmentation de la demande motorisée découle seulement de celle des nombres d'habitants et d'emplois. Dans la réalité, on peut imaginer que la demande de déplacement en TC sera beaucoup plus importante pour les raisons suivantes.

- Le nouveau métro aura un effet structurant sur la distribution des déplacements. Une plus forte proportion des déplacements s'effectuera le long de cette ligne.
- Des utilisateurs actuels de **modes doux** (marche à pied, vélo) auront tendance à passer à cette nouvelle ligne.
- La ligne engendrera de la **demande induite**, autrement dit des déplacements qui n'auraient pas eu lieu, même pas par un autre mode, si on ne l'avait pas créée.

Il est malaisé d'évaluer l'ampleur du supplément d'augmentation par rapport aux prévisions du modèle, vu l'importance qualitative des changements dans l'offre. La difficulté est d'autant plus grande qu'entre les 2 horizons d'évaluation 15 ans vont s'écouler.

5.2 Le cas de Centre 2

L'effet du passage de *Réseau 2008* à *Centre 2* sur la répartition modale est décrit dans le tableau ci-dessous. Rappelons que l'offre TIM considérée est la même dans les deux cas, tout comme la demande motorisée qui est celle de 2020.

On constate que les augmentations les plus significatives de la part des TC concernent les déplacements ayant leur origine et / ou leur destination en agglomération, ce qui est normal puisque les améliorations des TC ont porté surtout sur l'Ouest Lausannois.

Origine	Destination	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Centre 2 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Centre 2 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Centre 2 Demande 2020 Rép. Calculée	Res. 2008 Demande 2020 Rép. Calculée	Centre 2 Demande 2020 Rép. Calculée
		TC	TC	% TC	% TC	TIM	TIM	% TIM	% TIM
Ville	Ville	5'275	5'352	39%	40%	8'185	8'108	61%	60%
Ville	Agglo	2'403	2'641	27%	30%	6'375	6'137	73%	70%
Ville	Externe	844	846	26%	26%	2'374	2'372	74%	74%
Agglo	Ville	4'319	4'461	33%	34%	8'759	8'617	67%	66%
Agglo	Agglo	5'151	5'572	23%	25%	17'039	16'618	77%	75%
Agglo	Externe	1'179	1'201	17%	18%	5'636	5'613	83%	82%
Externe	Ville	3'311	3'304	37%	37%	5'638	5'644	63%	63%
Externe	Agglo	2'576	2'678	20%	21%	10'176	10'074	80%	79%
Total		25'058	26'056	28%	29%	64'181	63'183	72%	71%

En faisant passer le nombre de déplacements TC de 25'058 à 26'056, le modèle pronostique une augmentation de 4 %. Il convient de rappeler qu'il se base sur une demande motorisée constante pour l'HPM. Autrement dit l'augmentation ne comprend que les automobilistes qui voyageaient déjà à l'HPM et passent aux TC. Dans la réalité, les TC bénéficieront d'une augmentation des passagers bien plus élevée, car comprenant les transferts à partir des modes doux et la demande induite.¹⁴

Deux tentatives ont été faites pour comparer l'augmentation pronostiquée par le modèle à celle qui pourrait être observée sur le terrain.

Dans la première, on est parti d'estimations faites par des cadres d'entreprises de transport public quant à l'augmentation de la fréquentation des transports publics suite à une amélioration de l'offre. Selon les 2 experts consultés, grosso modo en doublant les places-kilomètres offertes, on peut espérer une augmentation de 50 % à 100 % de l'effectif des passagers. Il s'agit d'une règle grossière découlant de l'expérience et qui n'est applicable que

¹⁴ Voire même les transferts modaux d'automobilistes qui auparavant voyageaient hors de l'HPM pour éviter la congestion.

globalement : pas question de l'utiliser pour estimer le nombre de montées supplémentaires à un arrêt précis !

De cette règle, on a tiré 2 coefficients d'élasticité, l'un plancher et l'autre plafond, et on les a appliqués, après quelques aménagements mineurs¹⁵, au passage de *Réseau 2008* à *Centre 2*.

Les augmentations plancher et plafond obtenues pour les déplacements TC sont respectivement de 9.9 % et 17.5 %, soit 2.5 à 4.4 fois plus fortes que celles données par la fonction de transfert TIM-TC.

Par ailleurs, on a examiné de près un exemple disponible de données avant/après : celui de l'introduction, entre 2004 et 2005, de la ligne 18 Timonet-Flon, jointe à la suppression de la 37 Timonet-Prilly Eglise. Cet examen, détaillé dans l'annexe E, montre une augmentation des déplacements TC presque 4 fois plus forte que celle calculée par la fonction de transfert TIM-TC.

Il paraît donc raisonnable d'admettre qu'en cas d'amélioration de l'offre TC, aux augmentations de fréquentation pronostiquées par le modèle s'ajoutent des augmentations supplémentaires 2 à 3 fois plus fortes dues essentiellement aux transferts à partir des modes doux, ainsi qu'à la demande induite. Mais ce facteur 2 à 3 ne peut être qu'une estimation globale.

5.3 Comparaison avec les temps de parcours

Même une fois admis que le modèle ne pronostique que les reports des TIM sur les TC, ces reports peuvent sembler modestes, comparés à l'ampleur des améliorations. Pour voir si cette modestie est plausible, il convient de comparer les temps TC et TIM de déplacement d'une variante d'offre à l'autre. Il est en effet clair que si les améliorations, même très fortes, ne sont sensibles que pour une faible proportion des déplacements ou si même après l'amélioration les temps TC restent largement supérieurs aux temps TIM, il n'y a pas de raison que les reports soient spectaculaires.

La détermination des durées moyennes des déplacements en TC et en TIM pose certains problèmes conceptuels, car elles dépendent de la matrice de demande à laquelle on se réfère. En effet le temps pour se rendre d'une origine à une destination en TIM dépend de la charge générale du réseau, autrement dit de la demande globale TIM. De plus la durée moyenne des déplacements, que ce soit en TC ou en TIM, se calcule sur la base des temps par paire O-D, dont on tire une moyenne qui est précisément pondérée par le nombre de déplacements sur chaque paire O-D.

Or la demande qui devrait être prise en considération varie d'un cas à l'autre puisque la demande TC (resp. TIM) n'est pas la même dans le cas de *Réseau 2008* que dans celui de *Centre 2*. Comme cela n'a aucun sens de comparer les temps moyens d'une offre à une autre si la moyenne ne porte pas sur les mêmes personnes, il a fallu choisir une matrice de demande « neutre ». On a choisi arbitrairement la matrice de demande motorisée 2005 issue de l'étude CL/2004/02.

¹⁵ La règle était formulée pour toute la journée. On admis qu'elle s'appliquait telle quelle à l'HPM. De plus, par manque de données on a remplacé les places-kilomètres par des véhicules-kilomètres.

La comparaison sur la base de cette matrice entre les offres *Réseau 2008* et *Centre 2*, auxquelles on a adjoint l'offre 2005, donne les temps moyens suivants en minutes¹⁶.

	Temps TC moyen	Temps TIM moyen sans les opérations initiales et finales
Réseau TC 2005, TIM actuel	36.0	13.9
Réseau TC 2008, TIM futur	34.0	13.6
Réseau TC Centre 2, TIM futur	33.0	13.6

Rappelons que si les temps TIM sont donnés sans les opérations initiales et finales, c'est à cause de l'absence d'information sur le stationnement. Toutefois on peut supposer que, même en ajoutant ces temps, la durée moyenne des trajets en TIM resterait largement inférieure à celle des transports en TC, d'où le faible report modal.

Un examen supplémentaire a été fait sur certaines paires O-D pour lesquelles la variante *Centre 2* devrait assurer une bonne desserte TC. Il s'agit des cas où l'origine et la destination peuvent être jointes sans transbordement grâce à l'une des nouvelles lignes de *Centre 2*. Pour les 5'724 déplacements correspondants, les modifications sont indiquées ci-dessous.

	Temps TC moyen en véhicule	Temps TC moyen de marche	Temps TC moyen d'attente	Temps TC moyen total	Temps TIM moyen sans les opérations initiales et finales
Réseau TC 2005	8.8	10.4	5.2	24.3	9.1
Réseau TC 2008	8.4	10.4	4.8	23.6	9.0
Réseau TC Centre 2	8.6	9.1	3.2	20.9	9.0

Les améliorations sont plus faibles que ce que l'on aurait pu imaginer. Il faut dire que beaucoup de ces paires O-D étaient déjà bien desservies auparavant. Les améliorations portent essentiellement sur les temps d'attente et on reste dans la même catégorie de véhicules (pas de nouveaux axes lourds). On comprend donc que globalement il n'y ait pas de bouleversement de la répartition modale, même si pour certaines paires O-D, les améliorations apportées par *Centre 2* peuvent être nettement plus significatives.

6 Le champ d'application du modèle

Un modèle de prévision a pour but de répondre à certains types de questions afin d'aider les décideurs à faire des choix. Pour ce faire, il doit procéder à une abstraction de la réalité afin

¹⁶ On n'a considéré ici que les 51'002 déplacements internes au champ de l'étude afin de présenter des temps crédibles. En effet pour les déplacements avec origine et / ou destination externe, les temps de parcours dépendent beaucoup de l'endroit arbitraire où l'on a placé le centroïde de la zone externe. Notons toutefois que les temps obtenus en considérant l'ensemble des déplacements suivent les mêmes tendances que ci-dessus : respectivement 53.9, 51.9 et 51.1 minutes pour les TC et 17.5, 17.4 et 17.4 minutes pour les TIM.

de dégager les éléments pertinents du point de vue du problème à résoudre. C'est à ce prix que le modèle peut accéder à la simplicité nécessaire pour un traitement efficace.

On ne peut donc pas attendre de lui qu'il représente toute la réalité dans toute sa complexité. On pourrait comparer un modèle à une voiture sous 3 aspects.

- 1) La voiture doit rouler sur des voies de circulation. De même le modèle est soumis à un certain nombre d'hypothèses.
- 2) Le choix d'une voiture dépend du type de déplacements à réaliser. On n'utilise pas la même sur un circuit de compétition ou pour la traversée d'un désert. De même le modèle à choisir dépend des questions à résoudre.
- 3) La voiture a besoin de carburant pour rouler. Le modèle a besoin de données pour fonctionner.

Le modèle EMME/2 précédemment utilisé comportait une demande TC et une demande TIM fixes correspondant à la situation 2005. Il était donc adapté à des comparaisons de variante pour autant que la demande reste proche, dans son volume comme dans sa structure, de celle de 2005 et pour autant que les modifications des réseaux ne soient pas d'une ampleur à provoquer d'importants transferts modaux.

En revanche si l'on cherche à comparer des variantes à l'horizon 2020 et qu'en plus l'objectif des nouveaux projets de réseaux TC est précisément de provoquer un transfert modal des automobilistes, cette modélisation n'est manifestement plus adaptée. Il a donc fallu changer de modèle, tout en se tenant à une règle d'or : se baser au maximum sur des données disponibles plutôt que d'en inventer ou que d'échafauder des hypothèses purement subjectives sur le comportement des gens.

Ainsi, comme on connaissait relativement bien la demande motorisée 2005, mais beaucoup moins bien celle non motorisée, comme on n'avait pas les éléments pour évaluer la demande induite par des améliorations, on a fait l'hypothèse d'une demande motorisée 2020 indépendante des diverses variantes d'offre, calculée en gros par extrapolation selon l'augmentation de la population et des emplois.

Cette indépendance de la matrice motorisée par rapport à la qualité de l'offre empêche de modéliser de la demande induite ou des transferts à partir des modes doux. En revanche elle n'empêche nullement de comparer des variantes quant à leur capacité à transférer de la demande motorisée de la voiture aux TC.

On disposait d'informations abondantes sur l'état 2005 donnant notamment par paire O-D la répartition modale entre TC et TIM, ainsi que les qualités de service selon ces 2 modes. On manquait en revanche de données expérimentales avant/après sur les modifications de la répartition modale par paire O-D suite à une modification des qualités de service. Dès lors la fonction de transfert TIM-TC destinée à modéliser les reports modaux par paire O-D en fonction des modifications de l'offre a dû être calibrée en comparant diverses paires O-D au même moment (à l'heure de pointe du matin en 2005) et non pas en comparant des évolutions avant/après pour une même paire O-D. Cette nécessité de se référer à des données existantes a probablement influencé sur l'ampleur, dans la modélisation obtenue, de la réaction de transfert modal découlant des modifications de l'offre.

Comme le calibrage de la fonction se base sur des données concrètes de 2005, le domaine de validité de cette fonction correspond aux cas raisonnablement proches de situations se présentant en 2005. Cette condition n'est pas gênante puisque les modifications prévues dans les futures variantes consistent essentiellement en des mises à niveau : on assure à des paires O-D actuellement mal desservies par les TC des conditions proches de celles de paires O-D bien desservies en 2005.

En ce qui concerne les variables explicatives du choix modal, l'absence de données liées au stationnement a empêché d'utiliser ce paramètre. Le modèle ne peut donc pas, dans son état, modéliser l'effet de restrictions de stationnement (ni même l'effet d'un maintien tel quel des capacités de stationnement face à un accroissement de la demande), ce qui a pour effet de sous-évaluer l'accroissement des difficultés entre 2005 et 2020 et donc de surévaluer la part modale des TIM en 2020.

En conclusion, le modèle avait pour but de comparer des variantes d'offre, y compris sur leur capacité à provoquer des reports modaux, et ceci afin d'aider au choix entre ces variantes. Il le fait en fournissant des résultats détaillés spatialement, et pas seulement des nombres globaux de déplacements.

Les choix expliqués plus haut ont tendancielle pour effet de sous-évaluer les transferts modaux de la voiture aux TC en cas d'amélioration de l'offre TC, mais surtout de sous-évaluer fortement l'augmentation de la demande TC puisqu'on ne tient compte ni des reports à partir des modes non motorisés, ni de la demande induite. On peut donc s'attendre à ce que les améliorations des TC produisent des augmentations de leur fréquentation 3 à 4 fois plus fortes que ce qui est modélisé.

On peut évidemment se demander si ce biais est neutre ou non par rapport aux variantes d'offre à comparer. Est-on certain par exemple que les variantes les plus attractives pour des automobilistes soient aussi les plus attractives pour des usagers des modes doux et les plus propres à générer de la demande induite ? Cette hypothèse n'est évidemment pas vérifiable, même a posteriori. Cependant en l'absence d'informations contraires, le plus simple et le plus raisonnable est de l'adopter. Le fait que lors de l'examen des variantes de lignes SDOL, les 2 fonctions de transfert testées successivement, quoique très différentes entre elles, aient donné le même classement des variantes selon le nombre de déplacements TC est un indice plutôt rassurant.

Jean-Pierre Leyvraz

ANNEXE A - La méthode de Furness ou Fratar

Le but de cette méthode est de modifier une matrice O-D de façon à ce que les sommes des lignes et des colonnes correspondent à des valeurs prédéfinies. Plus précisément, soient :

- n = nombre de zones considérées
- m_{ij} = nombre de déplacements de i à j dans la matrice initiale ($i, j = 1, \dots, n$)
- G_i = génération de la zone i dans la matrice résultante ($i = 1, \dots, n$)
- A_j = attraction de la zone j dans la matrice résultante ($j = 1, \dots, n$)

On admet que les conditions suivantes soient remplies :

$$\begin{array}{lll} m_{ij} \geq 0 (i, j = 1, \dots, n) & \sum_{j=1}^n m_{ij} > 0 (i = 1, \dots, n) & \sum_{i=1}^n m_{ij} > 0 (j = 1, \dots, n) \\ \sum_{i=1}^n G_i = \sum_{j=1}^n A_j & G_i \geq 0 (i = 1, \dots, n) & A_j \geq 0 (j = 1, \dots, n) \end{array}$$

Le but est de trouver une matrice de termes M_{ij} et 2 vecteurs de coefficients μ_i et ν_j tels que :

$$M_{ij} = \mu_i \nu_j m_{ij} (i, j = 1, \dots, n) \quad \sum_{j=1}^n M_{ij} = G_i (i = 1, \dots, n) \quad \sum_{i=1}^n M_{ij} = A_j (j = 1, \dots, n)$$

L'algorithme utilisé est le suivant.

Etape 0. Initialisation

$$k = 0 \text{ (compteur des itérations)} \quad \mu_i^{(0)} = 1 \quad \nu_j^{(0)} = 1$$

Etape 1. Itération sur les lignes

$$\mu_i^{(k+1)} = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n \nu_j^{(k)} m_{ij}}$$

Etape 2. Itération sur les colonnes

$$\nu_j^{(k+1)} = \frac{A_j}{\sum_{i=1}^n \mu_i^{(k+1)} m_{ij}}$$

Etape 3. Test d'arrêt basé sur un seuil ε ou sur un nombre maximal d'itérations k_{max}

$$\text{Si } \text{Max} \left(\text{Max}_i \frac{\mu_i^{(k+1)} - \mu_i^{(k)}}{\mu_i^{(k+1)}}; \text{Max}_j \frac{\nu_j^{(k+1)} - \nu_j^{(k)}}{\nu_j^{(k+1)}} \right) < \varepsilon \text{ ou } k + 1 = k_{max}$$

alors poser $\mu_i = \mu_i^{(k+1)}$ et $\nu_j = \nu_j^{(k+1)}$ et en déduire les M_{ij} ; le processus est terminé.

Sinon, poser $k = k + 1$ et revenir à l'étape 1.

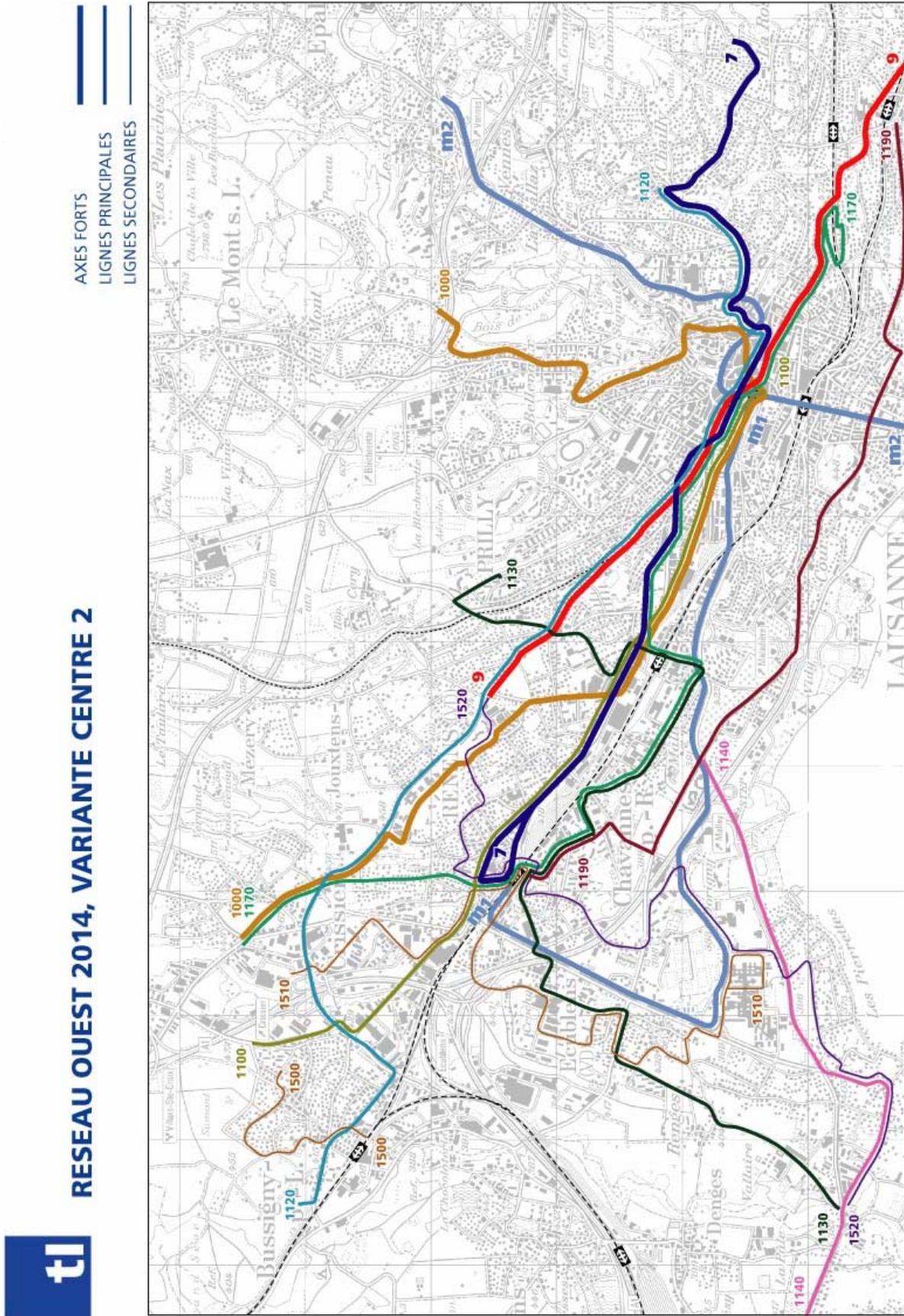
La méthode de Furness a été utilisée dans cette étude pour passer d'une matrice m_{ij} correspondant à la demande 2005 à une matrice M_{ij} pour 2020 en respectant les générations G_i et les attractions A_j prévues pour 2020.

La matrice 2005 ne satisfaisait pas toutes les conditions exigées pour Furness. En effet il y avait des lignes l et des colonnes c telles que $\sum_{j=1}^n m_{lj} = 0$ ou $\sum_{i=1}^n m_{ic} = 0$. Ces lignes et ces colonnes ont été traitées de la façon suivante.

Lorsqu'on avait $\sum_{j=1}^n m_{lj} = 0$ et $G_l > 0$, on a modifié tous les termes m_{lj} pour leur donner la valeur 0.01 au lieu de 0, ce qui a rendu la méthode de Furness applicable. Si en revanche on avait $\sum_{j=1}^n m_{lj} = 0$ et $G_l = 0$, on a exclu la ligne l des itérations, puis tout à la fin du processus on a donné la valeur 0 à tous les termes M_{lj} .

Les colonnes c avec $\sum_{i=1}^n m_{ic} = 0$ ont été traitées de façon analogue.

ANNEXE B - Les lignes TL dans la variante Centre 2



00.000.000.11.01.07

Lignes liées à la variante SDOL

N°	TYPE DE LIGNE	fréq. HP, LU-VE [min]
1x00	axes forts	5
1xx0	lignes principales	10
1xxx	lignes secondaires	20

Lignes R08 inchangées

N°	PARCOURS	fréq. HP, LU-VE [min]	
1	Mal. - Bléch.	6	n.r.
2	Mal. - Désert	7.5	n.r.
4	Coudraie - Pully-CFF	7.5	n.r.
6	Sallaz - Maladière	10	n.r.
7	Renens - Val-Vert	6	
8	Bellevaux - Verrière	7.5	n.r.
9	Prilly - Lutry	7.5	
13	Provence - Verdeil	30	n.r.
16	Montbenon - Vennes	15	n.r.
21	Bléch. - LsCff	6	n.r.
41	Montolieu - Pr. Séch.	7.5	n.r.
42	Sallaz - Foyer	25	n.r.
45	B. Murat - Ch.-à-Gob.	15	n.r.
46	B. Murat - Ballègue	15	n.r.
47	Blessoney - Pully CFF	25	n.r.
48	Daillettes - Pully-CFF	15	n.r.
60	Flon - Froideville	30	n.r.
62	Croisette Moudon	30	n.r.
65	Sallaz - Servion	30	n.r.
64	Croisette - Ch.-à-Gob.	20	n.r.
66	Montebenon - Grandvaux	25	n.r.
68/69	Lutry port - Taillepie	30	n.r.
m1	Flon - Renens	5	
m2	Ouchy - Croisettes	6	
m2 c.	Lausanne CFF - Sallaz	3	

n.r. non représentée

ANNEXE C - Documents transmis aux utilisateurs du modèle

Le cédérom envoyé aux utilisateurs du modèle contient non seulement ce rapport, mais également la banque de données EMME/2 elle-même, un descriptif des particularités de cette application spécifique, divers fichiers aidant à localiser les éléments de cette banque de données, les documents fixant le contexte administratif de l'étude et divers documents de travail intermédiaires. Voici la description du contenu.

emme2ban2020	Banque de données EMME/2
matrices2020.xls	Matrices de demande importantes de la banque de données
rapport2020.pdf	Rapport technique de l'étude
tabelle2020.xls	Tablette des correspondances entre numéros EMME/2 et noms des arrêts TC de la banque de données
PronosticsPopulationEmplois.xls	Valeurs de population et d'emplois du Service de la mobilité pour 2000, 2005 et 2020
emme2_zone_v2.pdf	Plan des zones EMME/2
zone_Emme2_V10.zip	Description Mapinfo des zones EMME/2
callghor.txt	Macro EMME/2 pour calculer les longueurs des liens en distance horizontale en ligne droite
calgalt.txt	Macro EMME/2 pour calculer les longueurs des liens en distance-effort
CalUtTC.txt	Macro EMME/2 pour calculer les utilités TC (au sens de la fonction de transfert TIM-TC) par paire O-D
CalUtTI.txt	Macro EMME/2 pour calculer les utilités TC (au sens de la fonction de transfert TIM-TC) par paire O-D
RepMod.txt	Macro EMME/2 pour la répartition modale par paire O-D
descriptiftechnique2020.pdf	Offre faite par les mandataires
contrat2020.pdf	Contrat signé
archive2020.zip	Divers documents de travail produits au cours de l'étude, permettant de comprendre la méthode utilisée ; certains de ces documents intermédiaires peuvent contenir des erreurs qui ont été corrigées par la suite

Les fichiers décrits en rouge sont ceux qui figuraient déjà, avec le même contenu, dans le cédérom de l'étude CL/2004/02.

ANNEXE D - Description du programme EMME/2

Ce programme de planification des transports urbains a été développé par INRO, Montréal pour estimer à l'avance les effets de modifications dans les réseaux de transport ou dans la demande. Le programme permet d'évaluer l'impact des modifications en comparant les scénarios avant et après. Il permet de simuler des déplacements réalisés soit en TC (avec évidemment quelques recours à la marche à pied), soit en TIM (auto, moto, etc.).

L'espace est découpé en zones et la demande est agrégée sous forme de matrices origine-destination (O-D) donnant pour chaque paire de zones le nombre de déplacements de la première à la seconde.

Le plan simplifié de la ville est modélisé par un graphe constitué de nœuds, appelés nœuds réguliers, et d'arcs, appelés liens réguliers. Aux nœuds réguliers s'ajoutent les centroïdes, nœuds fictifs représentant l'ensemble d'une zone et aux liens réguliers s'ajoutent les connecteurs, liens fictifs raccordant un centroïde à un nœud régulier voisin ; un centroïde peut être raccordé à plusieurs nœuds réguliers. On peut ainsi représenter le trajet d'une personne de son origine à sa destination par une suite de liens commençant et finissant par un connecteur.

Les nœuds ont des coordonnées permettant une description graphique. Les liens sont dotés de divers attributs, dont leur longueur et la liste des modes d'utilisation permis (ouverts aux usagers des TIM, à ceux des TC et / ou aux piétons). Pour modéliser les déplacements en TIM, on donne également un nombre de voies, ainsi que l'adresse d'une fonction calculant le temps de parcours en fonction du volume de trafic horaire, en tenant compte de ce nombre de voies. Ce temps de parcours est censé être le même pour tous les usagers des TIM dans la tranche de temps considérée. Les fonctions ne sont pas prédéfinies dans EMME/2 : chaque gestionnaire d'application peut implanter les fonctions qui correspondent le mieux à son cas.

La représentation du réseau TIM est parachevée par des indications sur les mouvements permis et interdits dans les carrefours complexes. Pour les mouvements permis, on peut recourir à des fonctions donnant le temps de traversés en fonction du nombre de véhicules à l'heure effectuant le même mouvement.

Pour les déplacements TC, il faut encore donner les lignes, qui circulent sur les liens réguliers ouverts aux TC. On donne le tracé des lignes avec leurs arrêts. Les temps de parcours inter-arrêts peuvent être donnés soit directement, soit sous forme de fonctions dépendant de l'état du trafic. Aux arrêts, on peut définir des temps d'arrêt et indiquer certaines particularités (interdiction de descendre ou de monter). On donne également le type de véhicules utilisés, ainsi que la cadence de la ligne, mais pas son horaire : on indiquera par exemple qu'il y a une course toutes les 10 minutes, mais on ne donnera pas la minute de la première course¹⁷.

On donne également une vitesse de marche à pied pour les usagers des TC dans leurs trajets hors véhicule.

¹⁷ EMME/2 a introduit de nouvelles options permettant de recourir à l'horaire complet des lignes. Mais pour que cela soit utile, il faudrait introduire pour les usagers non seulement leur origine et leur destination, mais également l'heure à laquelle ils désirent partir de leur origine (ou arriver à leur destination). On imagine la difficulté d'obtenir ce type de données.

En plus des attributs explicitement prévus par EMME/2, le gestionnaire d'une application peut doter les nœuds, liens, mouvement de traversés de carrefours, lignes et tronçons de lignes d'attributs sur mesure correspondant aux particularités de son problème.

En ce qui concerne la façon dont les usagers des TIM se rendent à leur destination, les hypothèses d'EMME/2 sont extrêmement simples : chaque conducteur cherche à minimiser la durée totale de son trajet, en additionnant les temps de parcours des liens et les temps de traversée des carrefours. Cela a pour conséquence que deux personnes se rendant de la même origine à la même destination emploient le même temps, mais pas forcément le même itinéraire. En effet un itinéraire de kilométrage faible, mais fortement congestionné peut demander autant de temps qu'un itinéraire moins direct, mais moins sollicité par le trafic.

La représentation du choix des usagers des TC est plus complexe pour 2 raisons.

Premièrement, leur déplacement se compose d'opérations de nature différente (marche à pied, attente, accès à la ligne, trajet en véhicule), certaines de ces opérations étant, à temps égal, plus mal ressenties que d'autres. Par conséquent l'utilisateur est censé chercher à minimiser non pas le temps total du trajet, mais un temps généralisé avec diverses composantes (temps de marche à pied, temps d'attente, pénalité de montée en véhicule et temps passé dans le véhicule), chaque composante étant dotée de son coefficient de pondération propre.

Deuxièmement, puisqu'on ne connaît pas l'horaire des lignes, ni d'ailleurs le moment exact où chacun fait son déplacement, les temps d'attente occasionnés par un choix sont aléatoires. Par conséquent l'utilisateur n'est pas censé savoir d'avance combien de temps il va attendre à un arrêt. A supposer qu'à cet arrêt plusieurs lignes (par exemple des lignes parallèles) puissent entrer en considération compte tenu de sa destination, il est censé monter sur le premier véhicule de l'une d'entre elles qui se présente. Ainsi formellement l'utilisateur des TC ne cherche pas l'itinéraire minimisant son temps de trajet, mais une stratégie minimisant l'espérance mathématique de son temps généralisé de trajet. La stratégie lui fournit, compte tenu de la destination qu'il vise, l'arrêt où il doit monter, l'ensemble des lignes entrant en considération et l'arrêt où descendre selon la ligne empruntée.

Dans son utilisation la plus standard, EMME/2 calcule l'espérance mathématique du temps d'attente d'une ligne en prenant la moitié de sa cadence (par exemple 5 minutes pour une ligne cadencée à 10 minutes). Dans le cas où l'on n'attend pas une ligne bien précise, mais où un ensemble de lignes peuvent faire l'affaire, on utilise une sorte de cadence combinée obtenue en sommant les fréquences de ces lignes ; par exemple en cas de 2 lignes cadencées l'une à 10 minutes (6 véhicules à l'heure) et l'autre à 15 minutes (4 véhicules à l'heure), on considère une cadence combinée de 6 minutes (6 + 4 véhicules à l'heure). Quant à la probabilité d'utiliser l'une ou l'autre de ces lignes, on considère qu'elle est proportionnelle à leur fréquence ; ainsi dans le cas ci-dessus on aurait une probabilité 6/10 de monter sur la première et 4/10 de monter sur la seconde.¹⁸

Cette approche standard peut être légèrement modifiée pour mieux répondre à certaines situations, par exemple en considérant autre chose que la fréquence pour certaines lignes ou tronçons de ligne, ou en prenant autre chose que la moitié de la cadence en certains nœuds.

¹⁸ L'algorithme exprimant cette affectation des usagers des TC est décrit plus en détail dans *Spiess H. and Florian M. (1989) Optimal strategies : A new assignment model for transit networks, Transportation Research, Vol. 23B, pp. 83-102* ou dans le manuel EMME/2.

ANNEXE E - La banque de données Lausanne-Morges horizon 2020

Descriptif

La compréhension de ce descriptif suppose la connaissance du logiciel EMME/2. On représente l'heure de pointe du matin (7 à 8). La banque contient des données 2005 et des données futures.

Scénarios

Les scénarios concernant l'état 2005 sont les suivants.

216	Scénario TIM normal de l'année 2005
5232	Scénario TC normal de l'année 2005

Les scénarios futurs TIM sont au nombre de 2.

217	Scénario TIM 2005 avec seulement aménagement à la Sallaz
2000	Scénario TIM futur considéré dans l'étude CL/2006/04

Les scénarios futurs TC correspondent à l'état 2008 d'une part et à des variantes SDOL échafaudées par les TL.

6000	Réseau TC 2008
6001	Variante Centre 1
6002	Variante Centre 1 bis
6003	Variante Centre 2
6004	Variante Centre 2 bis
6005	Variante Centre 1 +
6007	Variante Gare 2
6008	Variante Gare 2 light

Modes

a	Automobile
b	Transports publics sur route
p	Marche à pied sur les liens réguliers
r	Marche à pied sur connecteurs
t	Transports publics sur rail

Sur les 2 modes de marche à pied, la vitesse est de 4 km/h

Nœuds

Numéro	Type
< 20'000	Nœuds réguliers
Entre 21'000 et 22'000	Centroïdes de Lausanne (hors des zones foraines)

Entre 22'000 et 90'000	Centroïdes des autres zones internes 3 premiers chiffres = 3 derniers chiffres du numéro OFS de la commune
> 90'000	Centroïdes des zones externes

Attribut	Description
x, y	Coordonnées topographiques fédérales en km.
@alt	Altitude en mètres (seulement pour les scénarios TC)

Liens

Attribut	Description
@lghor	Longueur horizontale en ligne droite (km) calculable avec la macro callghor.txt (seulement pour les scénarios TC)
@lgalt	Longueur effort en ligne droite calculable avec la macro @lgalt (100 m. de montée ou 150 m. de descente = 1 km. à plat, traitement particulier des cas d'ascenseurs) (seulement pour les scénarios TC)
len	@lgalt dans les scénarios TC, distance horizontale en ligne droite dans les scénarios TIM

Les types de route et fonctions de temps TIM dans les scénarios TIM

Sortes de route	type	vdf	km/h à vide	cap. horaire / voie
Autoroutes agglomération	21	5	90	1700
Autoroutes agglomération vitesse limitée	11	1	75	1700
Autoroutes extérieur	31	9	110	2000
Routes principales centre	12	2	35	800
Routes principales agglomération	22	6	45	1200
Routes principales extérieur	32	10	60	1500
Routes secondaires centre	13	3	30	600
Routes secondaires agglomération	23	7	35	900
Routes secondaires extérieur	33	11	40	1100
Routes de desserte centre	14	4	25	350
Routes de desserte agglomération	24	8	30	500
Routes de desserte extérieur	34	12	30	700
Connecteurs TIM	10	14	30	∞
Pas accessible au TIM	Divers	Divers		

Lignes TC

ut1	Cadence subjective de la ligne (hdwy si mod = b et $0.6 * hdwy$ si mod = t)
ut3	Type de ligne TC, notamment selon le propriétaire (seulement pour les scénarios TC futurs)
us2	Si tronçon finissant par un arrêt, temps interarrêt depuis l'arrêt précédent, sinon 0
tff	Valeur par défaut 1 pour que les temps interarrêt soient donnés par les us2
dwt	Valeur par défaut +.00 (temps d'arrêts reportés sur les tronçons)

Pour l'attribut ut3, les valeurs sont les suivantes.

1	Lignes TL existant déjà dans le scénario <i>Réseau 2008</i>
2	Lignes TL n'apparaissant que dans les variantes SDOL
3	Lignes CFF
4	Lignes de bus autres que TL
5	Ligne LEB
6	Ligne BAM

Carrefours

Deux cas envisagés : mouvement permis ou interdit

Matrices

Les matrices suivantes contiennent les informations de départ sur la demande

mf16	Demande TC 2005
mf34	Demande TIM 2005
mf38	Demande 2020

Les matrices suivantes ont été élaborées à partir de celles de ci-dessus. Elles sont là pour le confort de l'utilisateur, mais pourraient facilement être reconstituées. Rappelons que comme point de départ de la répartition modale on utilise des matrices (TC + TIM) sans termes diagonaux.

mf20	Demande TC 2005 sans termes diagonaux
mf21	Demande TIM 2005 sans termes diagonaux
mf26	Demande 2005 sans termes diagonaux
mf39	Demande 2020 sans termes diagonaux

Les matrices suivantes sont utilisées, avec les valeurs qu'elles contiennent, par les macros calculant la répartition modale.

mf03	Indices des fonctions pour la demande auto variable
mf37	Matrice avec seulement des valeurs 1

Les matrices suivantes sont utilisées pour stocker des résultats intermédiaires dans les calculs de répartition modale. Il faut qu'elles existent et qu'on ait le droit de modifier leur contenu, mais au départ, peu importe les valeurs qu'elles contiennent.

mf04	Matrice intermédiaire pour la demande variable
mf05	Matrice intermédiaire pour la demande variable
mf06	Matrice intermédiaire pour la demande variable
mf22	Temps en vehicule
mf23	Temps de marche
mf24	Temps d'attente
mf25	Temps de 1ere attente
mf27	Temps de marche sans les connecteurs
mf45	Stockage de l'utilité TC
mf46	Stockage de l'utilité TIM

Les matrices suivantes contiennent des matrices TC et TIM obtenues à partir de matrices (TC + TIM) en utilisant la fonction de transfert TIM-TC. Elles pourraient être reconstituées.

mf51	Demande TC reseau 2008 (sur la base de la demande TC + TIM 2020)
mf52	Demande TIM reseau 2008 (sur la base de la demande TC + TIM 2020)
mf57	Demande TC Centre 2 (sur la base de la demande TC + TIM 2020)
mf58	Demande TIM Centre 2 (sur la base de la demande TC + TIM 2020)
mf63	Demande TC offre 2005 calculée par la fonction de répartition modale
mf64	Demande TIM offre 2005 calculée par la fonction de répartition modale
mf65	Demande TC reseau 2008 (sur la base de la demande TC + TIM 2005)
mf66	Demande TIM reseau 2008 (sur la base de la demande TC + TIM 2005)

Regroupements de zones

ga01	Lausanne (hors zones foraines)
ga02	Autres zones internes
ga03	Zones externes

Fonctions de temps de parcours

Le paramètre el3 peut servir à mettre du trafic « de fond » (trafic de transit ou au contraire trafic purement local en plus du trafic affecté par la matrice).

Paramètres de l'affectation TIM

Max. number of iterations	50
Stopping criterion for relative gap	0
Stopping criterion for normalized gap	0

Paramètres de l'affectation TC

Source for effective headways	3
Line attribute containing effective headways	ut1
Source for boarding times	1
Boarding times (mins)	1
Source for wait time factors	1
Wait time factor	0.5
Wait time weight	2
Auxiliary wait time weight	2
Boarding time weight	2

Fonctions pour la demande auto variable

fa1	Fonction pour les déplacements internes au champ de l'étude
fa2	Fonction pour les déplacements entrant dans le champ de l'étude (sauf frontaliers TC)
fa3	Fonction pour les déplacements sortant du champ de l'étude
fa4	Fonction pour le transit autoroutier
fa5	Fonction pour les déplacements de frontaliers du sud du lac (tous en TC)

ANNEXE F - Contrôle sur le passage de la ligne 37 à la 18

En 2004, une ligne TL de rabattement, la 37, reliait Crissier à Prilly Eglise. En 2005, elle a été remplacée par la ligne 18 reliant Crissier au Flon. Comme on dispose de comptages avant/après, il était tentant de s'en servir pour confronter ces données expérimentales aux résultats de la fonction de transfert TIM-TC.

La comparaison a été faite sur le tronçon en aval de l'arrêt Bré (sortie de Crissier) en direction de Prilly.

Un scénario TC 2004 a été construit en remontant le temps à partir du scénario 2005 résultant de l'étude CL/2004/02 (on a introduit la 37 et supprimé la 18). Pour les TIM, on n'a rien changé. La fonction de transfert a été utilisée pour calculer la demande TC 2004 en partant de la demande motorisée 2005 et de l'offre 2004. Elle a également été utilisée pour calculer la demande TC 2005 à partir de la demande motorisée 2005 et de l'offre 2005. La matrice de demande TC 2004 a ensuite été affectée sur les réseaux TC 2004 et 2005, puis la matrice de demande TC 2005 l'a été sur le réseau TC 2005.

Les valeurs obtenues par affectation sont affichées dans le tableau ci-dessous et comparées aux comptages effectués.

Tronçon	Comptage 2004	Comptage 2005	Réseau 2004 Demande 2004	Réseau 2005 Demande 2004	Réseau 2005 Demande 2005
Bré-Palettes (37)	44		64		
Bré-Bois Genoud (18)		88		89	99
Ecran Bré	44	88	64	89	99

S'il y a plus de passagers sur la 18 en 2005 que sur la 37 en 2004, cela peut être dû à 2 raisons :

- des usagers des TC qui auparavant ne passaient pas dans ce secteur ont modifié leur itinéraire¹⁹
- l'amélioration de l'offre a incité de nouveaux usagers à emprunter les TC.

Les affectations réalisées permettent de distinguer ces 2 effets. Le passage de 64 à 89 (+ 39 %) correspond aux changements d'itinéraires, celui de 89 à 99 (+ 11 %) aux nouveaux usagers.

Les comptages, eux, ne permettent pas la distinction. On peut toutefois essayer de la réaliser par analogie avec l'affectation. Si l'on augmente de 39 % le volume de 44 passagers observé en 2004, on en obtient 61. On peut donc faire l'hypothèse que le passage de 44 à 61 correspond aux changements d'itinéraires et celui de 61 à 88 (+ 44 %) aux nouveaux passagers.

Ce résultat laisse supposer que l'augmentation du nombre de déplacements TC a été 4 fois plus importante dans la réalité que dans la modélisation utilisant la fonction de transfert TIM-

¹⁹ Par exemple, des personnes se rendant de Crissier à Perrelet peuvent avoir intérêt à utiliser la 18, tandis qu'auparavant le plus naturel était la 32 jusqu'à Renens, puis la 7.

TC. La différence est probablement due principalement aux transferts à partir de modes doux et à la demande induite, éléments non pris en compte dans la modélisation.

Il convient toutefois de faire 2 remarques.

- Entre 2004 et 2005, une année s'est écoulée pendant laquelle a eu lieu une augmentation naturelle du nombre d'usagers. Cette augmentation n'a pas été prise en compte dans la modélisation, puisque pour le calcul de la demande TC 2004 on est parti de la demande motorisée 2005.
- En 2005, la communauté tarifaire est née avec pour conséquence l'augmentation du prix des abonnements, mais aussi et surtout l'extension de leur validité aux CFF. Cela a pu avoir un effet sur les achats d'abonnement et, par voie de conséquence, sur l'utilisation des TC. Cet effet n'a pas été pris en compte dans la modélisation où l'on a fait comme si la communauté tarifaire existait déjà en 2004.

De façon plus générale, pour comparer l'augmentation effective des passagers aux résultats de la modélisation, il serait bon de se baser sur des exemples plus nombreux.

ANNEXE G – Un test direct de la fonction de transfert sur Flon-Gare et Flon-Ouchy

En 2006, les métros reliant la Gare et Ouchy au Flon ont été supprimés et remplacés par le métrobus. Celui-ci n'a récupéré qu'une très faible partie de la clientèle des métros (28 % seulement entre le Flon et la Gare).

Les clients non récupérés ont pu passer à d'autres lignes TC, à la marche à pied, à d'autres modes de déplacement ou renoncer à leur déplacement. Une étude du type de celle sur la 37 et la 18 aurait aidé à déterminer les proportions respectives de ces diverses réactions et aurait fourni un contrôle a posteriori des effets de la fonction de transfert, comparés à la réalité observée.

Mais on a préféré utiliser cet événement différemment, comme illustration pour une application directe de la fonction de transfert, sans passer par la codification au moyen du programme EMME/2.

Dans cet exemple simplifié, on a considéré une seule paire O-D : Centre-Gare. On n'a pris en compte que les 3 choix suivants :

- utiliser la voiture
- utiliser les métros Flon-Gare dans une variante et le métrobus dans l'autre.

Les options d'aller à pied ou d'utiliser d'autres lignes n'ont pas été prises en considération. La méthode de calcul des temps de marche et d'attente est conforme aux spécifications indiquées dans l'annexe E.

Déplacement en métro

- Somme des temps de marche initiaux et finaux : 6 minutes, le temps de parcourir 200 mètres-effort au début et la même chose à la fin, à la vitesse de 4 km/h.
- Temps d'attente : 1.2 minutes (30 % de la cadence combinée des 2 métros).
- Temps en métro : 1 minute.

Déplacement en métrobus

- Somme des temps de marche initiaux et finaux : 7 minutes, une de plus que pour le métro, Montbenon étant plus à l'écart que le Flon par rapport au centre.
- Temps d'attente : 3.5 minutes (50 % de la cadence).
- Temps en métrobus : 6.5 minutes.

Déplacement en voiture

- Temps sans les opérations initiales et finales : 6.5 minutes, comme le métrobus qui n'effectue pas d'arrêt intermédiaire sur ce tronçon.

L'application de la fonction de transfert donne 51 % de déplacements en TC dans le cas des métros et 45 % dans celui du métrobus. La baisse peut paraître ridiculement faible par rapport

à la réalité observée. Mais du moment qu'on a fait comme si la seule alternative au métrobus était la voiture (excluant ainsi les autres lignes, la marche à pied et la renonciation au déplacement), le résultat paraît nettement plus plausible : sur 51 personnes utilisant le métro, est-ce que vraiment beaucoup plus de 6 passeraient à la voiture face à un choix de ce genre dans cette partie de la ville ?

Quelques études de sensibilité ont été opérées, dont voici les résultats.

Solutions testées pour Centre - Gare CFF	% TC variante métro	% TC variante métrobus
Solutions de départ	51%	45%
Augmentation de 5 min. du temps de marche	43%	37%
Augmentation de 15 min. du temps d'attente	39%	35%
Augmentation de 30 min. du temps en TC	44%	37%

Dans des cas réalistes²⁰ (augmentation de 5 minutes du temps de marche ou d'un quart d'heure du temps d'attente), les réactions du modèle paraissent plausibles.

Si en revanche on prétend augmenter d'une demi-heure le temps de parcours en TC, on arrive dans des cas invraisemblables (6.5 minutes en voiture, plus d'une demi-heure par une ligne TC pourtant directe !). L'invraisemblance est encore accentuée par la bonne fréquence attribuée à la ligne : une bonne fréquence demande une ligne rapide pour des raisons de coût. Des cas de ce genre n'existent donc nulle part dans les données 2005 utilisées pour le calibrage de la fonction. Il est donc compréhensible que celle-ci donne des résultats inadéquats.

Le même test a été effectué sur les déplacements du Flon à Ouchy. Là encore on n'a comparé que la voiture d'une part et le métro ou le métrobus d'autre part. On n'a donc pas pris en compte la marche à pied, probablement marginale, il est vrai, ni la possibilité d'utiliser une autre ligne (essentiellement la 2).

On a considéré les mêmes temps de marche initiaux et finaux que dans l'exemple précédent, le même temps d'attente pour le métrobus. Pour le métro on a pris un temps d'attente de 2.4 minutes (30 % de la cadence) et une durée de parcours de 6 minutes. Quant au temps au métrobus et au temps en voiture sans les opérations initiales et terminales, on les a tous les deux posés égaux à 11.5 minutes.

Les résultats obtenus sont les suivants.

²⁰ Quand nous considérons comme réaliste l'augmentation d'un quart d'heure du temps d'attente, nous ne voulons pas dire qu'il serait raisonnable de le faire à cet endroit du réseau ; nous voulons seulement dire que des cas de temps d'attente de plus d'une demi-heure existent sur le réseau (à d'autres endroits) et que la fonction de répartition a donc pu les utiliser pour son calibrage.

Solutions testées pour Centre - Ouchy	% TC variante métro	% TC variante métrobus
Solutions de départ	55%	50%
Augmentation de 5 min. du temps de marche	47%	43%
Augmentation de 15 min. du temps d'attente	44%	40%
Augmentation de 30 min. du temps en TC	47%	43%

Là encore on note une réaction plausible aux 2 premières modifications et totalement irréaliste pour les deux dernières.

Ces exemples intéressants incitent à prendre certaines précautions. On voit que si une fonction de transfert est calibrée à partir de données existantes et non pas inventée de toutes pièces, on ne peut pas lui demander de fournir des prédictions valables sur des cas fondamentalement différents de ceux sur lesquels on l'a calibrée.

Cette remarque pourrait aussi s'appliquer à de très fortes améliorations (fréquence extrêmement forte, voire passage à des lignes hectométriques).